

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

Šime Grbić
Dino Jelenić
Filip Vlahović

MEHATRONIČKI SUSTAVI S PNEUMATSKIM
POGONOM

Zagreb, 2019.

Ovaj rad izrađen je na Katedri za strojarsku automatiku, Zavoda za robotiku i automatizaciju proizvodnih sustava pod vodstvom prof. dr. sc. Željka Šituma i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2018./2019.

SADRŽAJ

POPIS SLIKA.....	III
POPIS OZNAKA.....	V
1. UVOD.....	1
2. AUTOMATIZIRANI PNEUMATSKI MANIPULATOR	2
2.1. Manipulatori u robotici.....	2
2.2. Projektiranje pneumatskog manipulatora	2
2.3. Izrada konstrukcije pneumatskog manipulatora	3
2.3.1. Rezanje crnog lima laserom, savijanje i plastifikacija.....	3
2.3.2. 3D printanje	5
2.4. Pneumatski aktuatori korišteni za ostvarenje dva stupnja slobode gibanja.....	6
2.5. Upravljanje automatiziranog pneumatskog manipulatora	9
2.5.1. Pneumatski ventili	9
2.5.2. Mikrokontroler.....	10
2.5.3. Induktivni senzor	11
2.5.4. Relejni modul	12
2.5.5. Tiskana pločica	13
2.6. Rad manipulatora.....	15
3. AUTONOMNO VOZILO POKRETANO PNEUMATSKIM MIŠIĆIMA.....	16
3.1. Projektiranje i izrada mehaničkih dijelova autonomnog vozila.....	17
3.1.1. Projektiranje koljenastog vratila	17
3.1.2. Projektiranje sustava za skretanje	20
3.1.3. Konstruiranje šasijske vozila.....	23
3.1.4. Izrada konstrukcije.....	24
3.1.5. Model vozila	27
3.2. Pogonski sustav.....	28
3.2.1. Odabir aktuatora	28
3.2.2. Odabir ostalih komponenti sustava	30
3.3. Upravljački sustav.....	33
3.3.1. Odabir upravljačkih komponenata.....	33
3.3.2. Opis rada upravljačkog sustava	36

3.4.	Opis rada vozila pogonjenog stlačenim zrakom	37
4.	REGULACIJA KUTA ZAKRETA KORMILA BRODA	39
4.1.	Projektiranje i odabir komponenti	39
4.2.	Izrada makete	43
4.2.1.	Izrada drvenog dijela makete	43
4.2.2.	Izrada upravljačkog dijela	48
4.3.	Opis rada makete	49
	ZAKLJUČAK	50
	Zahvala	51
	Literatura	52
	Sažetak	54
	Summary	56
	Životopis	58

POPIS SLIKA

Slika 2.1.	3D model pneumatskog manipulatora sa stupnjevima slobode gibanja	3
Slika 2.2.	Laser za rezanje lima.....	4
Slika 2.3.	Hidraulička savijačica [4]	4
Slika 2.4.	Izrezani, savijeni i plastificirani dijelovi.....	5
Slika 2.5.	Izrezani, savijeni i plastificirani dijelovi.....	5
Slika 2.6.	Dijelovi izrađeni aditivnom tehnologijom 3D ispisa	6
Slika 2.7.	Aktuator MGPM50 – 250 [8].....	7
Slika 2.8.	Aktuator C95SB50 – 100 [9]	7
Slika 2.9.	Aktuator CDQSKB16 – 10DM.....	8
Slika 2.10.	Aktuator C85N20 – 40* - XB6.....	8
Slika 2.11.	Ventilski otok SMC SS5Y3–10–2259OHV	9
Slika 2.12.	Arduino Mega2560	10
Slika 2.13.	Winston LM18-3005PN.....	11
Slika 2.14.	Relejni modul.....	12
Slika 2.15.	Električna shema PCB pločice.....	13
Slika 2.16.	Postupak razvijanja	14
Slika 2.17.	Postupak jetkanja	14
Slika 2.18.	Automatizirani pneumatski manipulator.....	15
Slika 3.1.	Shema pneumatskog vozila iz izvornog patenta [16]	16
Slika 3.2.	Graf kontrakcije i sile pneumatskih mišića [17]	18
Slika 3.3.	Konačan izgled koljenastog vratila.....	19
Slika 3.4.	Shema geometrije rack and pinion skretanja [21].....	20
Slika 3.5.	Kotirana geometrija skretanja [22]	21
Slika 3.6.	Geometrija prilikom skretanja [22].....	21
Slika 3.7.	Konačna izvedba sustava za skretanje	23
Slika 3.8.	Izgled šasije.....	23
Slika 3.9.	Izrađene pločice koljenastog vratila.....	24
Slika 3.10.	Izrađen rukavac koljenastog vratila	24
Slika 3.11.	Izrađena šasija vozila.....	25
Slika 3.12.	Kotač vozila izrađen na 3D printeru	26
Slika 3.13.	Izgled dovršenog pneumatskog linearnog koračnog motora	26
Slika 3.14.	Model vozila na stlačeni zrak	27
Slika 3.15.	Model izgleda vozila na stlačeni zrak.....	27
Slika 3.16.	Pneumatski mišić tvrtke FESTO korišten u projektu [17].....	28
Slika 3.17.	Primjer rada pneumatskog linearnog koračnog motora T-63 [23]	29
Slika 3.18.	Pogled na sve dijelove pneumatskog linearnog motora T-63 [23].....	30
Slika 3.19.	Ventilski blok.....	30
Slika 3.20.	Pripremna grupa.....	31
Slika 3.21.	Spremnik zraka	31
Slika 3.22.	Prigušno nepovratni ventil.....	32
Slika 3.23.	Kompresor	32
Slika 3.24.	Tlačna sklopka	33
Slika 3.25.	Arduino Mega 2560.....	34
Slika 3.26.	Pločica za upravljanje ventilima.....	34

Slika 3.27. Ultrazvučni senzor HC-SR04	36
Slika 3.28. Pneumatska shema za jedan aktuator vozila.....	37
Slika 3.29. Autonomno vozilo pokretano pneumatskim mišićima	38
Slika 4.1. Pneumatski cilindar	39
Slika 4.2. Elektropneumatski ventil	40
Slika 4.3. Arduino Uno modul	40
Slika 4.4. Pločica s relejnim sklopnicima	41
Slika 4.5. Pretvarač napona i sklopnik	41
Slika 4.6. Stabilizator napona 12V	42
Slika 4.7. Kutni enkoder.....	42
Slika 4.8. Rebra postavljena na kobilicu broda.....	43
Slika 4.9. Postavljena paluba.....	44
Slika 4.10. Izrada oplate.....	44
Slika 4.11. Nanošenje akrilnog kita	45
Slika 4.12. Bojanje bijelih dijelova broda.....	45
Slika 4.13. Obojana maketa	46
Slika 4.14. Kormilo broda.....	46
Slika 4.15. Vanjski izgled makete.....	47
Slika 4.16. Unutarnji dio makete s montiranim komponentama	47
Slika 4.17. Shema PID regulatora	48
Slika 4.18. Programiranje makete.....	49

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
B	mm	Udaljenost uležištenja prednjih kotača vozila
d	mm	Udaljenost od centra rotacije prednjih kotača do zubne letve
d_{min}	mm	Minimalni promjer
L	mm	Međuosovinski razmak vozila
F	N	Sila
p	mm	Dužina zubne letve
$R_{p\ 0,2}$	$\frac{N}{mm^2}$	Granica tečenja
q	mm	Duljina puta zubne letve
r	mm	Duljina spoja na zubnu letvu
T	Nm	Torzijski moment
x	mm	Duljina ručice za upravljanje
y	mm	Duljina spojne šipke
τ_{tdop}	$\frac{N}{mm^2}$	Dopušteno torzijsko naprezanje
β	rad	Acermanov kut
δ_i	rad	Kut zakreta unutarnjeg kotača
δ_0	rad	Kut zakreta vanjskog kotača

1. UVOD

Razvojem proizvoda i njihovom integracijom u suvremeni tehnološki svijet ili spajanjem na internet nije više jednostavno odrediti gdje određeni proizvod prestaje biti mehanički uređaj i postaje elektronički. Mehatronika je interdisciplinarna znanost koja objedinjuje strojarstvo i elektrotehniku, ali je tijekom razvoja pod svoje okrilje svrstala i robotiku, elektroniku, upravljanje i regulaciju te programiranje. Upotrebom alata iz svih ovih područja inženjeri mehatronike stvaraju sustave koji su prilagođeni suvremenom čovjeku. Današnji svijet nezamisliv je bez takvih sustava, pa su tako neki primjeri mehatroničkih sustava: roboti, CNC alatni strojevi, autonomna vozila, automati u tvornicama ili bilo kakav uređaj u kojem elektronika i mehanika djeluju u međusobnoj sinergiji. Ovakve sustave odlikuje i upotreba senzora koji služe za prepoznavanje unutarnjih i vanjskih vrijednosti sustava te određena autonomija sustava, gdje on može donositi odluke o svojem daljnjem postupanju na temelju implementiranog koda. Mehatronički sustavi su jednostavniji, ekonomičniji i pouzdaniji od sustava koje zamjenjuju.

Za pogon mehatroničkih sustava opisanih u ovom radu koristi se stlačeni zrak, odnosno pneumatika. Pneumatika se često koristi u industriji, prvenstveno zbog svoje robusnosti i neosjetljivosti na elektromagnetske smetnje ili nečistoće, a sve više pronalazi i svoju primjenu u mobilnoj robotici i transportu. Pogon pomoću stlačenog zraka odnosno pneumatski pogon s lakoćom se može uklopiti u mehatronički sustav, a ima brojne prednosti. Glavna prednost mu je korištenje komprimiranog zraka kao pogonskog sredstva jer je zrak lako dobavljiv, odnosno okružuje nas i jer je ekološki prihvatljiv. Zrak štedi i mehaničke komponente uređaja jer zbog svoje stlačivosti prigušuje udare. Također omogućava i jednostavno upravljanje pomoću dvopoložajnih ili proporcionalnih ventila.

Ovaj rad pokriva više smjerova razvoja mehatronike, ali i polja zanimanja brojnih inženjera i znanstvenika objedinjujući industrijske manipulatore, autonomna vozila te sustave za upravljanje skretanjem. Interdisciplinarnost mehatronike očituje se i u ovim mehatroničkim sustavima koji su prije svega konstruirani kao mehanički strojevi, upravljani su mikrokontrolerima, odnosno različitim elektroničkim komponentama poput tranzistora i releja te za pogon koriste stlačeni zrak umjesto klasičnih električnih pogona.

2. AUTOMATIZIRANI PNEUMATSKI MANIPULATOR

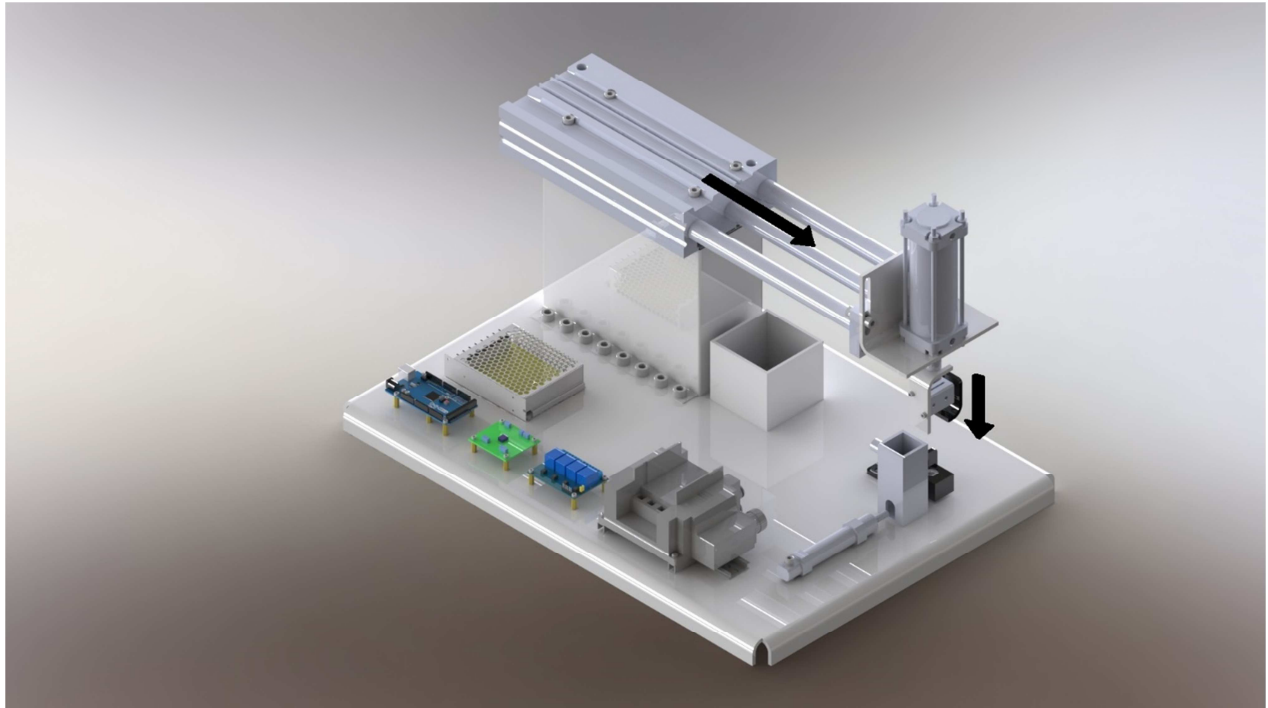
2.1. Manipulatori u robotici

Manipulatori se u robotici koriste za rad s opasnim tvarima te premještanje i sortiranje teških i velikih obradaka, koji su preveliki da bi ljudi rukovali njima. Mehaničkim manipulatorima direktno upravljaju ljudi, putem posebno prilagođenih upravljačkih panela i sučelja. Vrste pogona koje se koriste kod manipulatora su pneumatski, hidraulički ili električni pogoni [1]. Struktura manipulatora jednostavne izvedbe koji služe za premještanje obradaka izvedena je uglavnom s dva, tri ili četiri stupnja slobode gibanja.

Uvođenjem automatiziranih manipulatora u proizvodnju, oni se počinju koristiti i za premještanje, rukovanje i montažu manjih predmeta te za obavljanje operacija koje su ljudima monotone tijekom rada.

2.2. Projektiranje pneumatskog manipulatora

U okviru ovog rada izrađen je automatizirani pneumatski manipulator s dva stupnja slobode gibanja, koji simulira kontinuirano dodavanje i premještanje obradaka u proizvodnji. Projektiranje pneumatskog manipulatora uvelike je ovisilo o njegovoj namjeni, ali i o potrebi za komponentama bez kojih sustav ne može funkcionirati. Kako bi se izradio što jednostavniji i investicijski povoljniji manipulator, koji ima zadaću premještanja predmeta s jednog na drugo mjesto (engl. Pick & Place), korišteni su pneumatski aktuatori pokretani ventilskim otokom, koji je posredno, preko relejnog modula upravljan Arduino Mega2560 mikrokontrolerom. Automatizacija pneumatskog manipulatora postignuta je dodavanjem induktivnog senzora u radni prostor manipulatora. Induktivni senzor služi za prepoznavanje prisutnosti metalnih obradaka te za slanje signala mikrokontroleru, koji na temelju tih signala vrši upravljanje pneumatskog manipulatora. Induktivni senzor mikrokontroleru šalje povratne signale napona 24 V. Mikrokontroler radi s naponima 7-12 V, što znači da je ulazni signal s induktivnog senzora previsok. Kako bi se spriječilo oštećenje mikrokontrolera izrađena je tiskana pločica koja ulazni signal od 24 V snizuje na zadovoljavajućih 7-12 V.



Slika 2.1. 3D model pneumatskog manipulatora sa stupnjevima slobode gibanja

2.3. Izrada konstrukcije pneumatskog manipulatora

Kako bi se smanjio trošak izrade konstrukcije manipulatora, noseća konstrukcija te gotovo svi dijelovi koji služe za međusobno povezivanje pneumatskih aktuatora i za prihvat obradaka izrađeni su od crnog lima te kasnije plastificirani, kako bi se zaštitili od korozije. Ostatak dijelova izrađen je aditivnom tehnologijom 3D ispisa.

2.3.1. Rezanje crnog lima laserom, savijanje i plastifikacija

Lasersko rezanje je tehnologija koja koristi laser pri rezanju materijala. U principu se koristi u industriji, no sve češće pronalazi primjenu kod manjih obrtnika, u školama i kod hobista. Laseri za rezanje su numerički upravljani strojevi koji svoju funkciju obavljaju usmjeravanjem snopa svjetlosti, velike snage, najčešće kroz optiku u materijal koji se reže. Prednosti su im visoka preciznost i dobra ponovljivost, kao i visoka kvaliteta obrađene površine. Glavna mana im je visoka potrošnja električne energije [2].



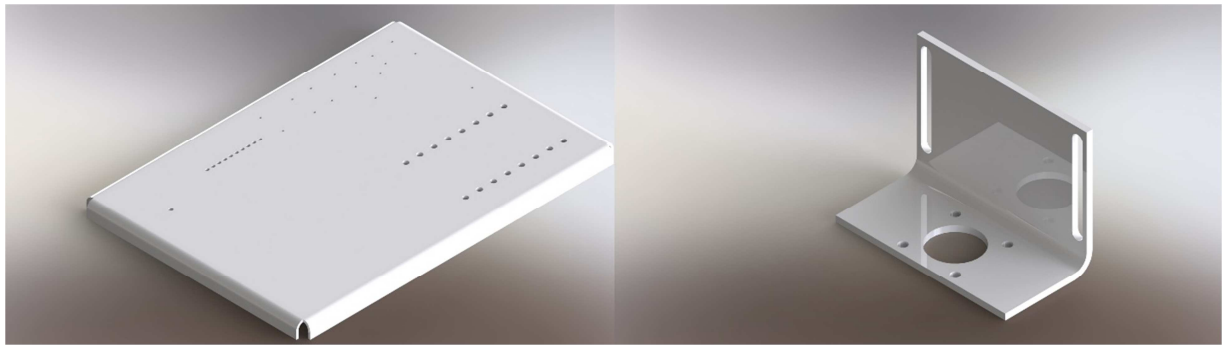
Slika 2.2. Laser za rezanje lima

Kako bi se komadi lima, izrezani na laseru oblikovali u upotrebljive dijelove konstrukcije pneumatskog manipulatora, savijeni su na hidrauličkoj savijačici. Savijanje na hidrauličkoj savijačici je postupak obrade metala bez odvajanja čestica, kod kojeg se u poprečnom presjeku unutrašnji dio skraćuje i opterećen je na tlak, a vanjski dio se produljuje i opterećen je na vlak [3].

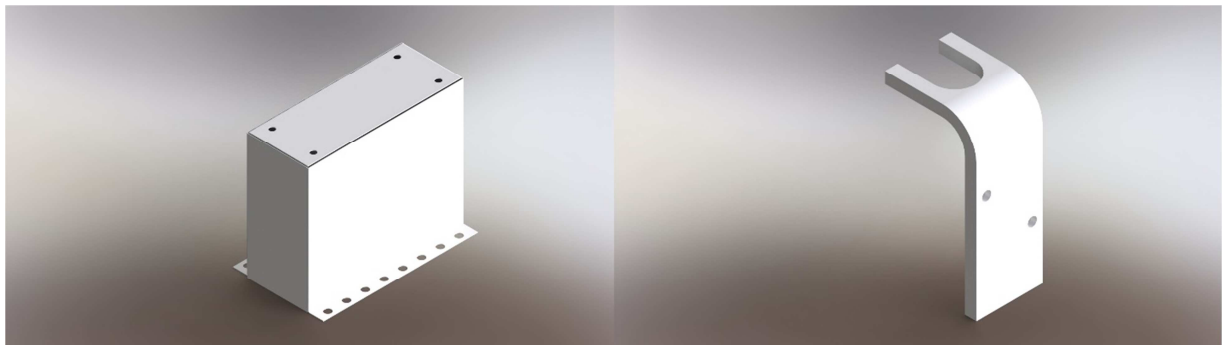


Slika 2.3. Hidraulička savijačica [4]

Kao antikoroziivna zaštita izrezanih i savijenih komada lima korištena je plastifikacija. Plastifikacija je metoda površinske zaštite metala od korozije koja se zasniva na površinskom nanošenju praha te polimerizaciji praha na određenoj temperaturi. Plastificirani sloj, osim što je odlična zaštita od korozije, otporan je na toplinu i abraziju [5].



Slika 2.4. Izrezani, savijeni i plastificirani dijelovi



Slika 2.5. Izrezani, savijeni i plastificirani dijelovi

2.3.2. 3D printanje

3D printanje ili aditivna proizvodnja je proces stvaranja trodimenzionalnih obradaka korištenjem aditivnih tehnologija. Proizvodnja obradaka postignuta je polaganjem tankih slojeva materijala, jednog na drugi sve dok obradak nije završen. 3D printanje je obrnut postupak proizvodnje obradaka u odnosu na obradu odvajanjem čestica. Prednosti su jeftina i jednostavna proizvodnja, dok je jedna od glavnih mana sporost procesa [6].

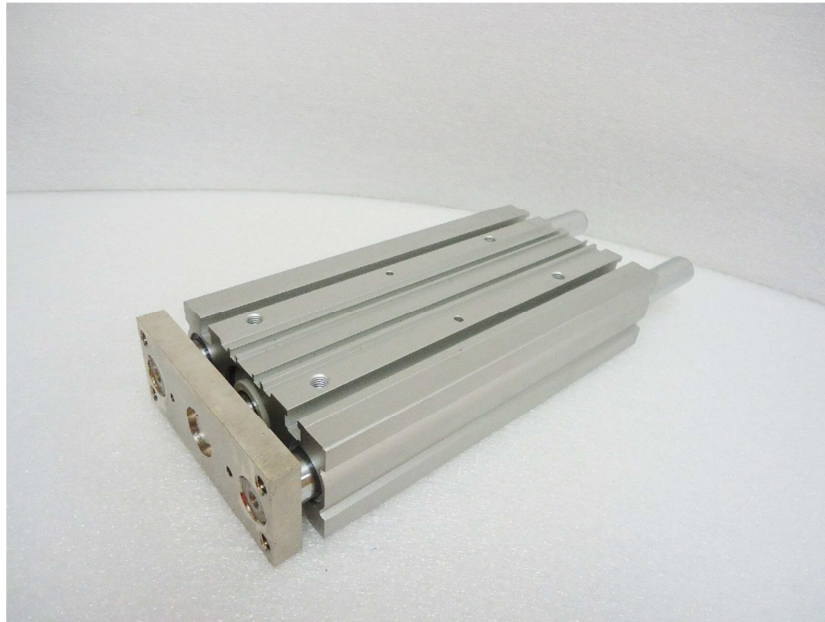


Slika 2.6. Dijelovi izradeni aditivnom tehnologijom 3D ispisa

2.4. Pneumatski aktuatori korišteni za ostvarenje dva stupnja slobode gibanja

Za ostvarivanje linearnog gibanja u pneumatskim sustavima najčešće se koriste pneumatski cilindri. To su mehanički uređaji koji koriste energiju pohranjenu u stlačenom zraku kako bi osigurali linearno gibanje klipa. Veoma su jednostavne izvedbe i visoke pouzdanosti te se radi toga koriste kao izvršni elementi u robotici i industrijskim postrojenjima. Na tržištu postoji velik broj različitih izvedbi pneumatskih cilindara, koje ovise o primjeni, dimenzijama, teretu koji moraju prenijeti, brzini gibanja te uvjetima u kojima moraju raditi. Radni tlak pneumatskih cilindara je do 10 bara. Prednosti korištenja pneumatskih cilindara nad hidrauličkim su tiši i čišći rad, ne zahtijevaju puno prostora za spremnike fluida te ako dođe do curenja fluida, on neće kontaminirati cijeli manipulator i njegovu okolinu. Zrak kao medij je čist i ekološki prihvatljiv, što upotrebu pneumatskih aktuatora čini još poželjnijom [7].

Za ostvarivanje prvog stupnja slobode gibanja korišten je pneumatski aktuator oznake SMC MGPM50 – 250. Ovaj aktuator je standardni kompaktni cilindar s vođenjem, robusne izrade, radnog hoda klipa cilindra od 250 mm i velike nosivosti. Na njegovu klipnjaču je spojen cilindar pomoću kojeg je ostvaren drugi stupanj slobode gibanja te prihvatnica, stoga je radi nošenja ukupnog tereta upravo ovaj cilindar odabran za ostvarivanje prvog stupnja slobode gibanja.



Slika 2.7. Aktuator MGPM50 – 250 [8]

Drugi stupanj slobode gibanja ostvaren je korištenjem pneumatskog aktuatora oznake SMC C95SB50 – 100. Ovo je aktuator bez vođenja, s radnim hodom klipa cilindra iznpsa 100 mm. Manje je robusan od cilindra MGPM50 – 250 i ima manju nosivost, no i dalje dovoljnu kako bi mogao nositi prihvatnicu i obradak.



Slika 2.8. Aktuator C95SB50 – 100 [9]

Kako bi se izradila prihvatnica korišten je aktuator oznake SMC CDQSKB16 – 10DM. Budući da je obradak kojeg treba prenijeti isprintan na 3D printeru i lagan, na prihvatnici nije potrebna velika sila stezanja, pa tu svoju primjenu pronalazi ovaj mali pneumatski aktuator, kompaktne izvedbe s radnim hodom klipa cilindra od svega 10 mm. Klipnjača mu je šesterokutnog oblika što sprječava kutne pomake.



Slika 2.9. Aktuator CDQSKB16 – 10DM

Kontinuirani dotok materijala manipulatoru ostvaren je pomoću cilindra oznake SMC C85N20 – 40* - XB6 ISO okruglim aktuatorom s klipnjačom. Radni hod klipa cilindra je 40 mm te je proizveden za rad pri visokoj temperaturi. Zbog jednostavnosti zadatka na njega nisu montirane nikakve dodatne prihvatnice i pričvršćen je za konstrukciju samo jednim vijkom.



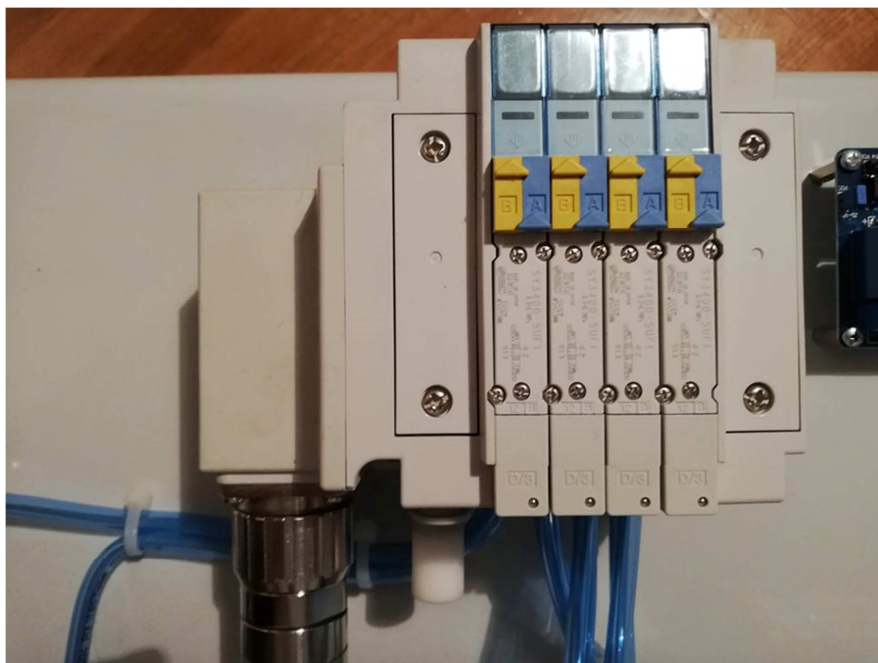
Slika 2.10. Aktuator C85N20 – 40* - XB6

2.5. Upravljanje automatiziranog pneumatskog manipulatora

2.5.1. Pneumatski ventili

U svrhu regulacije dotoka zraka u pneumatske aktuatora koriste se pneumatski elektromagnetski ventili. Pneumatski elektromagnetski ventili mogu se podijeliti u dvije kategorije: digitalni (on/off) i proporcionalni ventili. Digitalni ventili kombiniraju svoje otvoreno i zatvoreno stanje s električnim upravljanjem. Otvaranje i zatvaranje dovoda zraka temelji se na pomicanju središnje jezgre elektromagneta ugrađenog u ventil, koji se prilikom dovoda električne energije uključi ili isključi. Proporcionalni ventili kombiniraju svoju određenu poziciju, s naponskim ili strujnim upravljanjem. Evolucija tehnologije vodi do razvoja novih tehnika upravljanja protokom, koje omogućavaju upotrebu digitalnih komponenti umjesto proporcionalnih. Takve tehnike su: PWM (Pulse Width Modulation), PFM (Pulse Frequency Modulation), PNM (Pulse Number Modulation) i PCM (Pulse Code Modulation) [10].

Za izradu automatiziranog pneumatskog manipulatora korišten je SMC SS5Y3-10-2259OHV ventilski otok s 4 integrirana 4/5 ventila. Ventilski otok ima jedan ulaz i jedan izlaz te četiri ventila, koje je moguće kontrolirati neovisno jedan o drugome. Radni napon pneumatskih elektromagnetskih ventila je 24 V.



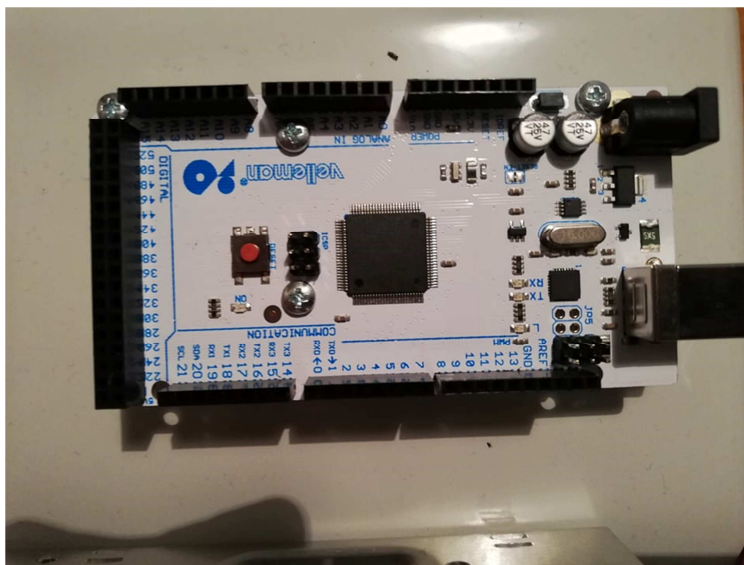
Slika 2.11. Ventilski otok SMC SS5Y3-10-2259OHV

2.5.2. Mikrokontroler

Kako bi se ostvarilo upravljanje elektromagnetima unutar ventilskog otoka te samim time i dovodom zraka u pneumatske aktuatore potrebno je u manipulator implementirati upravljačku jedinicu. Kao upravljačka jedinica korišten je mikrokontroler Arduino Mega2560, koji je baziran na Atmelovom Atmega2560 mikroprocesoru. Mikrokontroler sadrži sve potrebne dijelove kako bi mogao raditi neovisno o dodatnim vanjskim upravljačkim jedinicama. Zbog visoke pouzdanosti, niske cijene te malih dimenzija često se koristi u niskobudžetnim sustavima upravljanja i regulacije. Mikrokontroler se programira pomoću Arduino softverskog alata baziranog na C++ programskom jeziku [11].

Karakteristike mikrokontrolera:

- Mikroprocesor: Atmega2560
- USB V2.0 komunikacija
- Radni napon: 5 V
- Ulazni napon: 7-12 V
- 54 digitalna ulaza/izlaza
- 16 analognih ulaza
- Maksimalna struja po ulazno/izlaznom pinu: 40 mA
- SRAM memorija 8 KB, EEPROM memorija 4KB, flash memorija 256 KB.



Slika 2.12. Arduino Mega2560

2.5.3. Induktivni senzor

Induktivni senzori su elektroničke komponente koje služe za detekciju prisutnosti predmeta od feromagnetskih materijala (željezo, nikal i kobalt). Princip rada induktivnih senzora temelji se na zakonu elektromagnetske indukcije. Zavojnica unutar senzora spojena je na vanjski izvor napajanja. Kada se predmet od feromagnetskog materijala približi zavojnici dolazi do promjene impedancije zavojnice što uzrokuje pojavu signala na izlazu iz senzora. Glavne prednosti induktivnih senzora su neosjetljivost na vibracije, vlagu i prašinu, stoga imaju široko područje primjene. [12]

Pri izradi manipulatora, za prepoznavanje pristunosti obradaka korišten je induktivni senzor. U slučaju kada obradak dođe ispred induktivnog senzora, on to prepoznaje te šalje signal upravljačkoj jedinici, na temelju kojeg ona vrši upravljanje ostatka manipulatora. Korišten je induktivni senzor Winston LM18-3005PN. Radni napon korištenog senzora je 10 – 36 V, a iznos struje signala koje senzor šalje je 200 mA. Kako bi se senzor zaštitio od uništenja prilikom pogrešnog spajanja ugrađena mu je prenaponska zaštita.

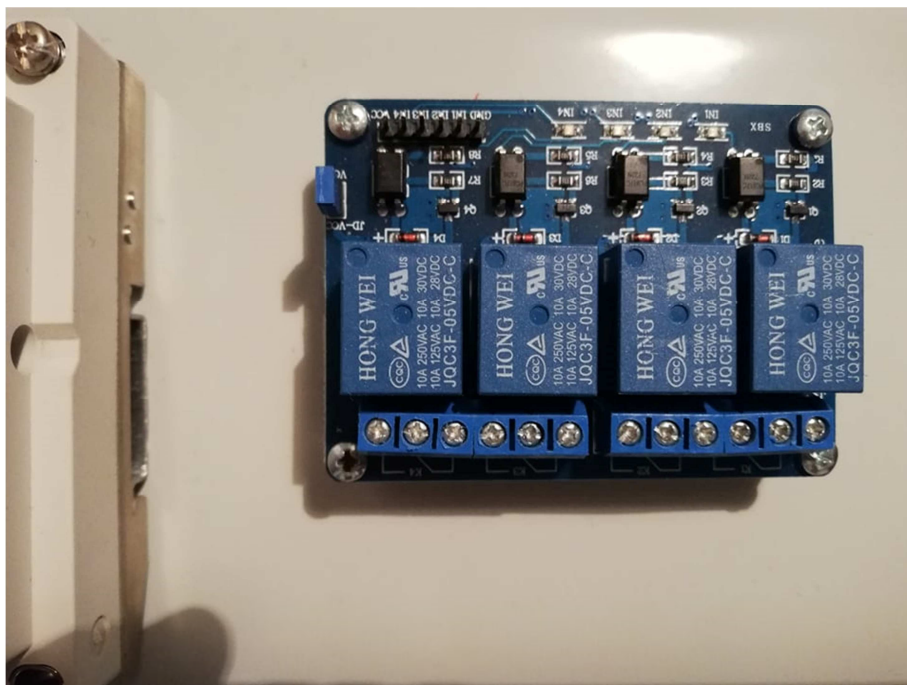


Slika 2.13. Winston LM18-3005PN

2.5.4. Relejni modul

Releji su prekidači koji elektromehanički ili elektronički otvaraju i zatvaraju strujne krugove. Releji upravljaju jednim električnim krugom otvaranjem i zatvaranjem kontakata u drugom krugu. Kada je relejni kontakt normalno otvoren (NO), postoji otvoreni kontakt što znači da relej nije pod naponom. Kada je relejni kontakt normalno zatvoren (NC), postoji zatvoreni kontakt, dok je relej u nepobuđenom stanju. U oba slučaja, dovođenjem električne energije na kontakte releja doći će do promjene njihova stanja. Releji se općenito koriste kao prekidači u strujnim krugovima kojima prolazi struja male vrijednosti i obično ne kontroliraju uređaje koji troše energiju [13].

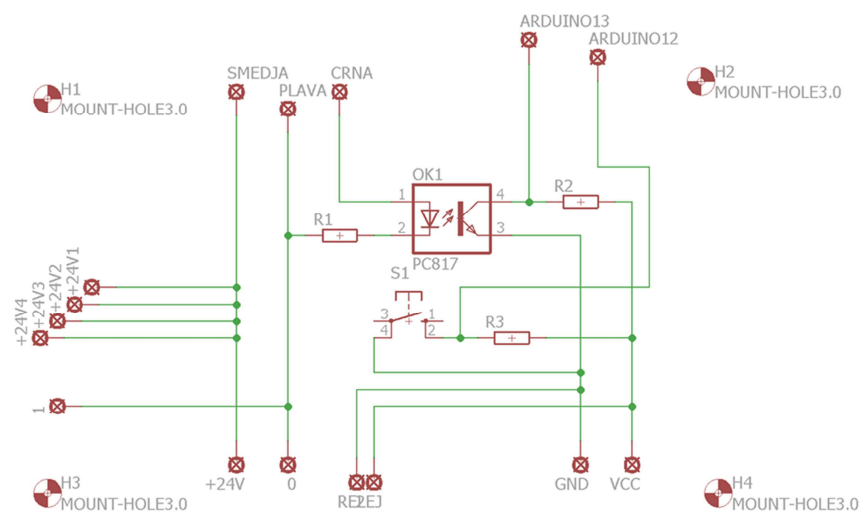
Za okidanje zavojnica u pneumatskim ventilima potreban je napon od 24 V. Arduino Mega2560 upravlja okidanjem zavojnica, no njegov napon na izlaznim pinovima nije dovoljno visok kako bi ih okinuo. Za postizanje dovoljno visokog napona korišten je relejni modul s 4 releja. Relejni modul sastoji se od dva strujna kruga povezana optokaplerom. Jednim strujnim krugom prolaze signali iz Arduina, koji pobude optokupler svojim dolaskom do njega. Pobuđeni optokapler zatim okine relej, koji potom iz vanjskog izvora električne energije propusti struju napona 24 V kroz zavojnice ventilskog otoka te time otvori ili zatvori pneumatski ventil.



Slika 2.14. Relejni modul

2.5.5. Tiskana pločica

Induktivni senzor Arduino šalje signal napona 24 V, što je prevelik napon za Arduino. Kako ne bi došlo do uništenja Arduina potrebno je prilagoditi izlazni napon induktivnog senzora ulaznim pinovima Arduina. Prilagodba napona odrađena je izradom tiskane pločice koja radi na sličan način kao i relejni modul. Dva strujna kruga odvojena su optokaplerom. Jednim strujnim krugom prolazi signal iz induktivnog senzora koji pobuđuje optokapler. Pobuđeni optokapler zatim zatvori drugi strujni krug kojim poteče struja napona 5 V i potom pobudi ulazni pin Arduina.



Slika 2.15. Električna shema PCB pločice

Tiskana pločica izrađena je foto postupkom. Za izradu tiskane pločice fotopostupkom potrebno je kupiti pločicu vitroplasta ili pertinaksa na koju su prethodno nanoseni slojevi bakra i fotoosjetljivog laka. Predložak isprintan na grafoskopskoj foliji zatim se lijepi na pločicu te osvjetljava UV žaruljom oko dvije minute. Fotopostupak štiti dio fotoosjetljivog laka prekriven vodovima iscrtanim na predlošku. Sljedeći korak u izradi tiskane pločice je razvijanje. Za razvijanje se koristi otopina natrijevog hidroksida i vode, koja se sastavlja u omjeru 0.5 l vode i 4 – 5 g natrijeva hidroksida. Razvijanjem se skida nezaštićeni dio fotoosjetljivog laka. Pločica se uranja u razvijач i sam postupak razvijanja traje 1-3 minute. Nakon razvijanja pločicu treba oprati u vodi kako bi bila spremna za jetkanje.



Slika 2.16. Postupak razvijanja

Jetkanje je proces nagrivanja nezaštićenog bakra u otopini vode, solne kiseline i vodikova peroksida. Otopina se sastavlja u omjeru 350 ml vode, 135 ml solne kiseline koncentracije 37% i 15 ml vodikova peroksida koncentracije 30%. Jetkanje traje nekoliko minuta, odnosno sve dok ne vidimo da je otopina izgrizla sav višak bakra.

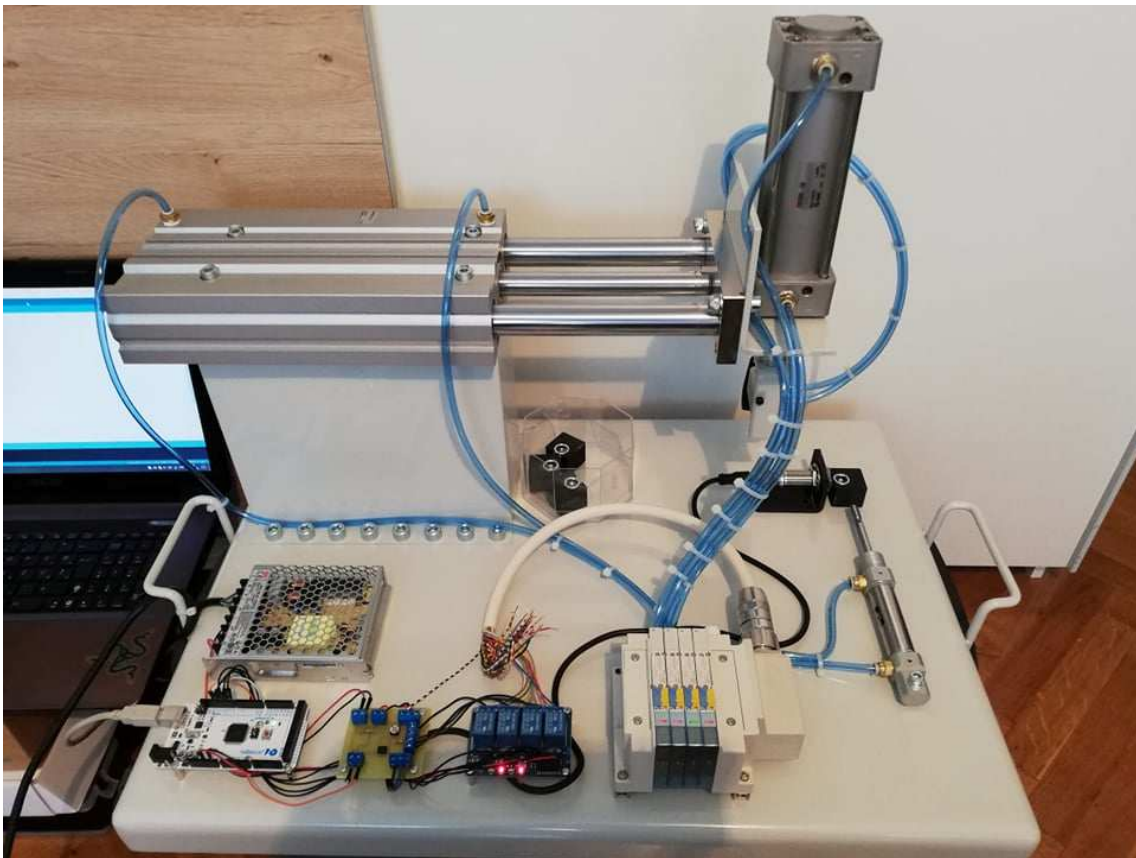


Slika 2.17. Postupak jetkanja

2.6. Rad manipulatora

Nakon izrade i nabave svih dijelova najjednostavniji zadatak bio je njihovo povezivanje sve u funkcionalnu cjelinu i testiranje rada manipulatora. Na ulaz u ventilski otok spojeno je crijevo iz kompresora koji je u trenutku testiranja na manometru pokazivao tlak zraka od 3 bara. Senzor i ventilski otok spojeni su na istosmjerni izvor napajanja, koji je namješten na konstantnih 24 V. Arduino je preko USB sučelja spojen na računalo i sve je spremno za testiranje rada sustava.

Manipulator je pušten u rad i obavljao je zadaću prepoznavanja i premještanja obradaka sve dok je imao dostupne obratke nad kojima su izvođene operacije. Nakon što su premješteni svi obratci manipulator prekida s radom. Rezultati rada su zadovoljavajući te su jednaki idejnom rješenju manipulatora. Na taj način je projektiran, izrađen i ispitan rad automatiziranog pneumatskog manipulatora s prigradenim sustavom za dopremu radnih predmeta, a konačan izgled manipulatora prikazuje slika 2.18. manipulatori slične izvedbe mogu se koristiti u industriji za premještanje predmeta i povećavanje stupnja automatizacije proizvodnje.

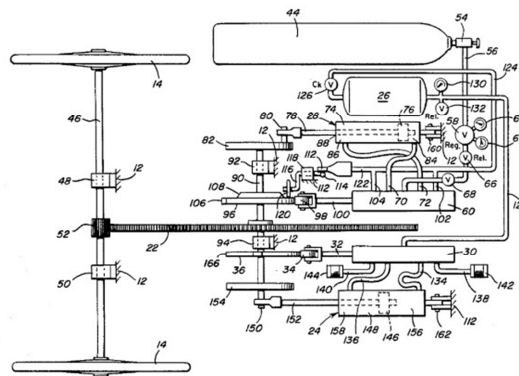


Slika 2.18. Automatizirani pneumatski manipulator

3. AUTONOMNO VOZILO POKRETANO PNEUMATSKIM MIŠIĆIMA

Autonomna vozila predstavljaju suvremene izvedbe vozila sposobna za prilagodbu okolini i vožnju jako malo ili u potpunosti bez ljudskog upravljanja. Kako bi mogli ispuniti takve zahtjeve koriste mnogobrojne senzore od kojih su najznačajniji: radar, sonar, ultrazvučni senzori, vizijski sustavi, IMU (eng. *Internal Measurement unit*). Preko tih senzora vozilo odlučuje o svojoj putanji odnosno odlučuje hoće li nastaviti vožnju, zaobići prepreku ili se zaustaviti. Ovakva vozila imaju brojne prednosti poput povećane sigurnosti ili povećane mobilnosti ljudi s invaliditetom. Autonomna vozila povećavaju i protočnost prometa te smanjuju umor vozača. Unatoč tomu, postoje i druge prednosti koje ne smijemo previdjeti, a one se većinom odnose na ekološki aspekt autonomnih vozila. Ovakva vozila su okrenuta smanjenju emisije stakleničkih plinova te povećanju iskoristivosti energije, zato su autonomna vozila većinom ili hibridna ili potpuno električna vozila.

Pneumatski pogon vozila može biti izveden kao isključivi pogon ili kao dio hibridnog pogona vozila i služiti kao nadopuna električnom motoru ili motoru s unutarnjim izgaranjem. Pogon na ovakvim vozilima sastoji se od spremnika za zrak u kojem se nalazi zrak stlačen na preko 300 bara te od pneumatskih cilindara koji se uvlače odnosno izvlače kad se dovede zrak iz spremnika u njih te tako okreću koljenasto vratilo koje omogućava gibanje [14, 15]. Ovaj princip, sličan onom kod parnog stroja predložen je u patentu iz 1983. godine [16].



Slika 3.1. Shema pneumatskog vozila iz izvornog patenta [16]

Očigledna prednost ovakvog pogona je apsolutna ekološka prihvatljivost zbog korištenja zraka kao medija za pokretanje vozila te činjenice da u potpunosti iz upotrebe eliminira fosilna goriva ili štetne elemente koji se koriste u baterijama.

3.1. Projektiranje i izrada mehaničkih dijelova autonomnog vozila

Pravilno proračunavanje, projektiranje i izrada mehaničkog dijela autonomnog vozila od kritične je važnosti. Konstrukcija nosi sve komponente, pa je potrebno da bude dovoljno čvrsta da može držati masu cijelog vozila te da podnese sva dinamička opterećenja koja se javljaju prilikom kretanja vozila. Također treba moći podnijeti i vibracije nastale radom kompresora. Stoga je potrebno dobro proučiti i razraditi svaki dio vozila te razmisliti o dimenzijskim i instalacijskim zahtjevima pojedinih komponenata. Ovakav pristup zahtjeva mnogo vremena i truda, ali je zapravo i jedini mogući način da se pristupi ovome složenom problemu jer bi inače došlo do značajnih poteškoća pri projektiranju ostatka vozila i pri njegovoj montaži.

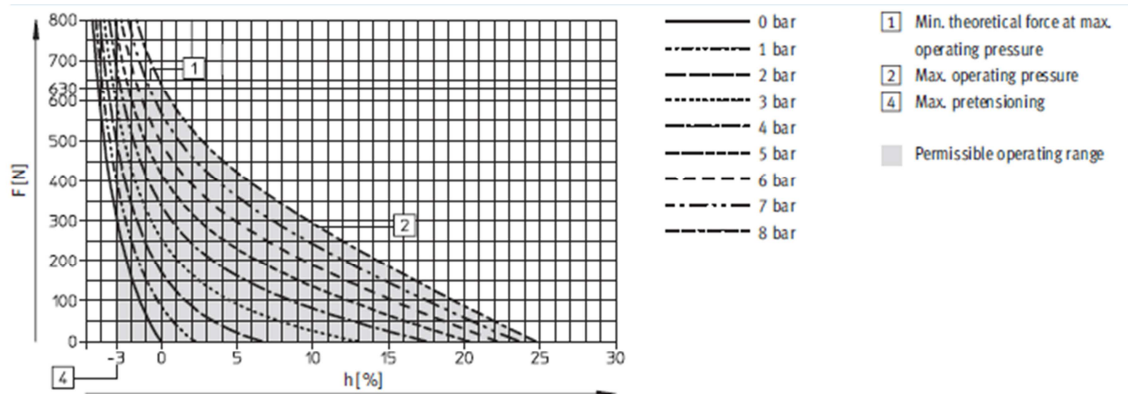
Projektiranje vozila podijeljeno je na 3 glavna dijela koja i čine sastavne dijelove vozila. To su projektiranje koljenastog vratila pomoću kojeg se vozilo pokreće, projektiranje sustava za skretanje te projektiranje šasije vozila. Na ovaj način osigurala se cjelovitost mehaničkih podsustava koji se moraju međusobno uskladiti.

3.1.1. Projektiranje koljenastog vratila

U početku izrade ovog rada planirali smo kupiti vratilo manjeg motocikla, ali nismo pronašli vratilo koje bi odgovaralo našim potrebama te smo se zato odlučili na projektiranje vlastitog koljenastog vratila. Prvo je bilo potrebno odrediti broj mišića koji će pokretati vozilo. Odlučili smo se za korištenje *tri* mišića te je prema tome svako koljeno vratila moralo biti zakrenuto u odnosu na prethodno koljeno za 120° . Svaki pneumatski mišić zakreće koljenasto vratilo, a time i pogonske kotače za 120° pri svakom svojem aktiviranju. Takav raspored koljena omogućio nam je da opišemo puni krug korištenjem samo 3 pneumatska mišića. Koljenasto vratilo uležišteno je na 4 mjesta, jer je zbog ovakve konfiguracije nesimetrično opterećeno na savijanje u pojedinim dijelovima svog zakreta.

Zbog jednostavnosti izrade odabrana je segmentna izvedba vratila gdje su posebno konstruirani dijelovi vratila koji dolaze u uležištenja, oni koji su u spoju s pneumatskim mišićima te spojevi između njih. Također je i izračunata visina koljena, a to je određeno prema kontrakciji mišića pri tlaku od 4 bara koji je i minimalni radni tlak ovog sustava. Iz Festovog kataloga za pneumatske mišiće [17] očitano je da kontrakcija iznosi 17,5 % za tlak od 4 bara, što za mišiće nominalne duljine 150 mm iznosi 26,25 mm te je polovica te duljine visina koljena, točnije uzeta

je visina koljena od 13 mm. Iz istog grafa je vidljiva i maksimalna sila koja iznosi 630 N pri 8 bara.



Slika 3.2. Graf kontrakcije i sile pneumatskih mišića [17]

Proračun koljenastog vratila

Koristio se približni proračun jer će vratila zbog konstrukcijskih zahtjeva biti predimenzionirana. Prvo su proračunati dijelovi koji se nalaze u uležištenjima i to na uvijanje jer oni prenose torzijski moment za pogon vozila.

Približni proračun na torziju prema [10] iznosi:

$$d_{min} = \sqrt[3]{\frac{T}{0,2 \tau_{tdop}}} \quad (1)$$

$$T = F * l = 630 * 0,013 = 8,19 \text{ Nm} \quad (2)$$

Kako je korišten nehrđajući čelik A4 koji prema [19] ima granicu tečenja iznosa:

$$R_{p0,2} = 450 \text{ N/mm}^2$$

Prema [20] uz $S_{potr} = 2$ vrijedi:

$$\tau_{tdop} = \frac{R_{p0,2}}{\sqrt{3} * S_{potr}} = 129,9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (3)$$

Te se iz (1) dobije minimalni promjer vratila $d_{min} = 0,68 \text{ mm}$

Nakon toga proračunati su na savijanje i rukavci na koje se spajaju pneumatski mišići.

Približni proračun na savijanje prema [18] može se provesti na sljedeći način:

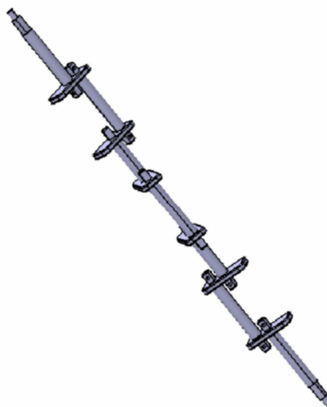
$$d_{min} = \sqrt[3]{\frac{M_x}{0,1 \sigma_{dop}}} \quad (4)$$

$$F_m = \frac{F}{2} = 315 \text{ N} \quad (5)$$

$$M_x = F_m * \frac{l}{2} = 17,325 \text{ N} \quad (6)$$

$$\sigma_{dop} = \frac{R_{p\ 0,2}}{S_{potr}} = 225 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (7)$$

Vratilo nije jako opterećeno, zato je na mjestima gdje je vratilo uležišteno odabran promjer vratila od 10 mm, a na mjestima gdje se spajaju vratilo i pneumatski mišić odabran je promjer od 8 mm kako bi se mogli koristiti originalni prihvatni pneumatskih mišića. Za prijenos okretnog momenta izabrano je poligonsko vratilo s temeljnom stranicom od 6 mm. Poligonsko vratilo je odabrano zbog jednostavnosti montaže.

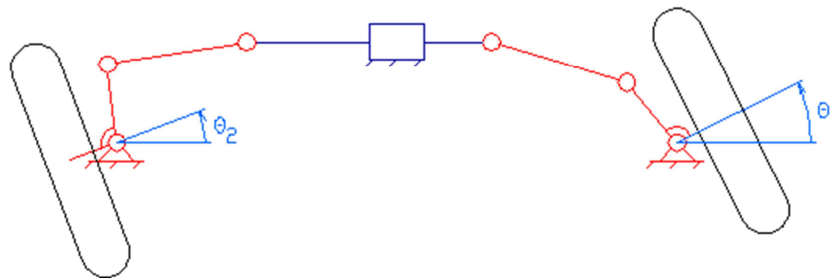


Slika 3.3. Konačan izgled koljenastog vratila

3.1.2. Projektiranje sustava za skretanje

Prvotno smo za skretanje planirali koristiti pneumatski cilindar sa proporcionalnim ventilom ali ovakva izvedba je zahtijevala značajna financijska sredstva zbog visoke cijene proporcionalnog ventila, složene mehaničke izvedbe sustava te potrebe za dodavanjem dodatnog mjernog sustava. Stoga smo se odlučili za novu vrstu aktuatora, a to je linearni pneumatski koračni motor, koji omogućava pozicioniranje bez povratne veze a uz to je također znatno jeftiniji budući da koristi obične elektromagnetske 5/3 ventile.

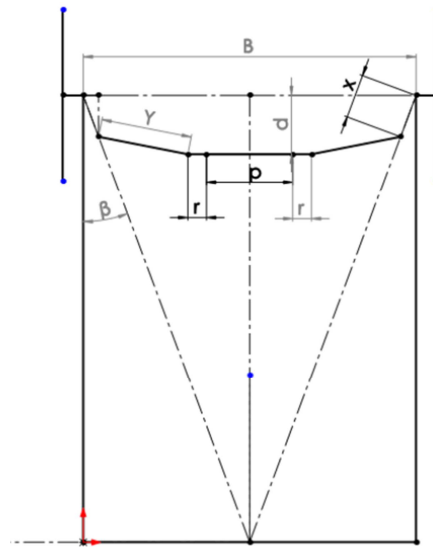
Izbor ovog aktuatora za skretanje omogućio nam je da koristimo geometriju skretanja tzv. 'rack and pinion' koja osigurava da se unutarnji i vanjski kotač pri skretanju zakrenu za različite kutove i na taj način osiguraju dobro prijanjanje u zavoju. Ova geometrija skretanja koristi se u većini modernih automobila [21]. Karakterizira ga zubna letva koja je pomoću skretnice spojena na osovinu na koju se spaja kotač vozila. U originalu zubnu letvu pokreće zupčanik dok će u ovoj izvedbi taj zadatak odrađivati linearni pneumatski koračni motor.



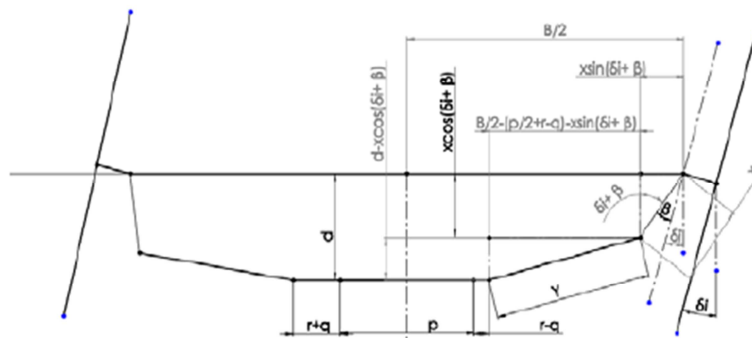
Slika 3.4. Shema geometrije rack and pinion skretanja [21]

Izračun dimenzija sustava za skretanje

Izračun se vrši prema matematičkom modelu za izračun geometrije skretanja *rack and pinion* [22]. Na slikama 3.5. i 3.6. kotirani su dijelovi geometrije prilikom skretanja vozila.



Slika 3.5. Kotirana geometrija skretanja [22]



Slika 3.6. Geometrija prilikom skretanja [22]

Da bi dobili dimenzije geometrije skretanja potrebno je riješiti sustav od 3 jednačbe s 3 nepoznanice, te jednačbe glase:

$$y^2 = \left(\frac{B - (p + 2r)}{2} - x \sin \beta \right)^2 + (d - x \cos \beta)^2 \quad (8)$$

$$y^2 = \left(\frac{B}{2} - \left(\frac{p}{2} + r - q \right) - x \sin(\delta_i + \beta) \right)^2 + (d - x \cos(\delta_i + \beta))^2 \quad (9)$$

$$y^2 = \left(\frac{B}{2} - \left(\frac{p}{2} + r + q \right) + x \sin(\delta_0 - \beta) \right)^2 + (d - x \cos(\delta_0 - \beta))^2 \quad (10)$$

Iz geometrije vozila nam poznate su sljedeće izmjere:

$$L = 850 \text{ mm}$$

$$B = 303 \text{ mm}$$

$$p = 84 \text{ mm}$$

$$r = 54 \text{ mm}$$

$$x = 70 \text{ mm}$$

$$\delta_i = 35^\circ$$

A iz geometrijskih odnosa dobijemo:

$$\beta = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{\beta/2}{L} \right) = 10.106^\circ \quad (11)$$

Iz Ackermanovog uvjeta za skretanje sa dva kotača slijedi [22]:

$$\delta_0 = \operatorname{tg}^{-1} \left(\operatorname{tg} \delta_i + \frac{L}{B} \right) = 46.579^\circ \quad (12)$$

Uvrštavanjem dobivenih veličina u (8), (9) i (10) te rješavanjem jednadžbi dobiju se sljedeći rezultati:

$$y = 50,758 \text{ mm (duljina spojne šipke)}$$

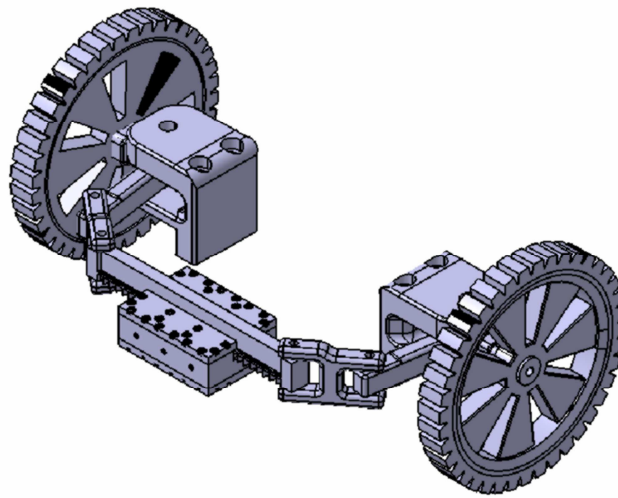
$$d = 89.722 \text{ mm (udaljenost od cetra rotacije prednjih kotača do zubne letve)}$$

$$q = 139,896 \text{ mm (duljina puta zubne letve).}$$

Konačana izvedba sustava za skretanje

Nakon izračuna duljina pojedinih dijelova geometrijskog modela, pristupilo se i njihovom konstrukcijskom oblikovanju. Određeno je da će se vijcima spojiti pojedini dijelovi sustava skretanja kako bi se oko njih mogla dobiti slobodna rotacija. Nosači se pričvršćuju za šasiju vijcima M8. Maksimalni zakret unutarnjeg kotača prilikom skretanja je 32° . Što je u skladu sa zakretima unutarnjih kotača kod modernih vozila koji također imaju zakret od otprilike

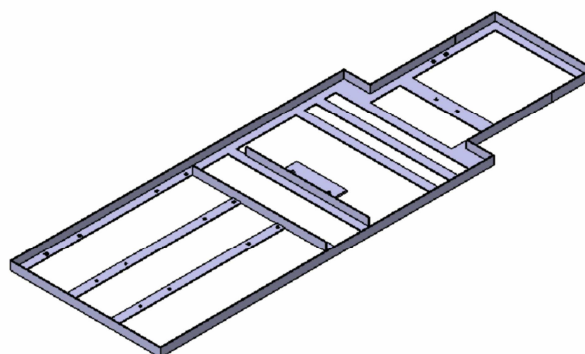
30°.



Slika 3.7. Konačna izvedba sustava za skretanje

3.1.3. Konstruiranje šasije vozila

Kod konstruiranja šasije glavni kriterij je bio projektirati čvrstu šasiju na koju se mogu bez većih problema vijcima instalirati sve potrebne komponente. Drugi kriterij je bio jednostavnost izrade. Zato je kao glavni gradivni element šasije izabran L profil 20x20x2 koji je lako dostupan te nudi smanjenje mase bez većeg gubitka krutosti i čvrstoće konstrukcije. Između L profila se prostiru trake širine 20 mm i debljine 2 mm, samo je na mjestu gdje se spaja spremnik za zrak postavljena čelična pločica debljine 4 mm, te na mjestu gdje se pričvršćuje kompresor su trake zamjenjene L profilima kako bi se ojačala konstrukcija na tome mjestu. Gabaritne dimenzije šasije su 1100x360 mm.



Slika 3.8. Izgled šasije

3.1.4. Izrada konstrukcije

Nakon projektiranja pristupilo se izradi konstrukcije. Prilikom izrade koristile su se različite tehnologije: od obrade odvajanjem čestica preko zavarivanja i naposljetku tehnologija 3D printanja. Pristup 3D printeru uvelike je olakšao izradu ovog rada, jer je omogućio da nekritične dijelove konstrukcije proizvedemo u plastici i time smanjimo masu vozila, ali isto tako nam je omogućio da imamo vlastiti proces izrade većine dijelova, ali i da izradimo neke geometrije koje bez aditivnog načina proizvodnje ne bi bile moguće.

Izrada vratila

Vratilo je izrađeno u segmentima primjenom tehnologije obrade odvajanjem čestica i to točnije glodanjem i tokarenjem. Samo se vratilo sastoji od 5 različitih dijelova i 13 dijelova ukupno. Za glodanje poligonskih vratila na rukavcima koljenastog vratila bilo je potrebno izraditi poseban alat kako bi se postigla zadovoljavajuća paralelnost.



Slika 3.9. Izradene pločice koljenastog vratila



Slika 3.10. Izraden rukavac koljenastog vratila

Izrada šasije

Izrada šasije je započeta rezanjem L profila i čeličnih traka na točne dimenzije. Nakon toga su probušene rupe za montažu ostalih komponenata na šasiju, koristeći stupnu bušilicu.

Potom se pristupilo zavarivanju šasije te su zavari pobrušeni kako bi šasija izgledala što bolje. Naposljetku je šasija ofarbana u crnu boju zbog zaštite od korozije, ali i zbog ljepšeg izgleda.



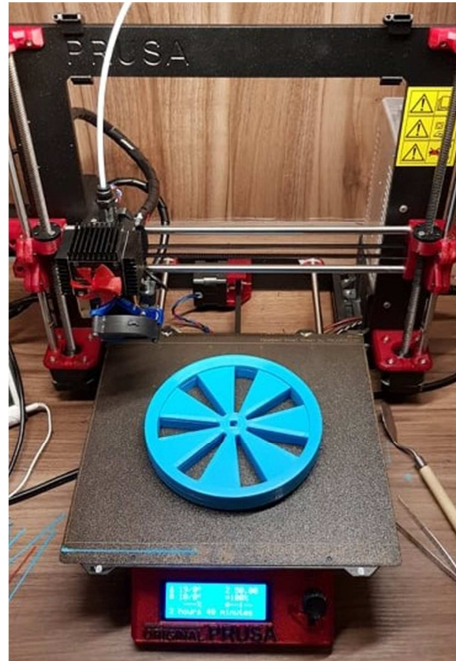
Slika 3.11. Izrađena šasija vozila

Izrada pneumatskog koračnog motora i ostalih dijelova konstrukcije

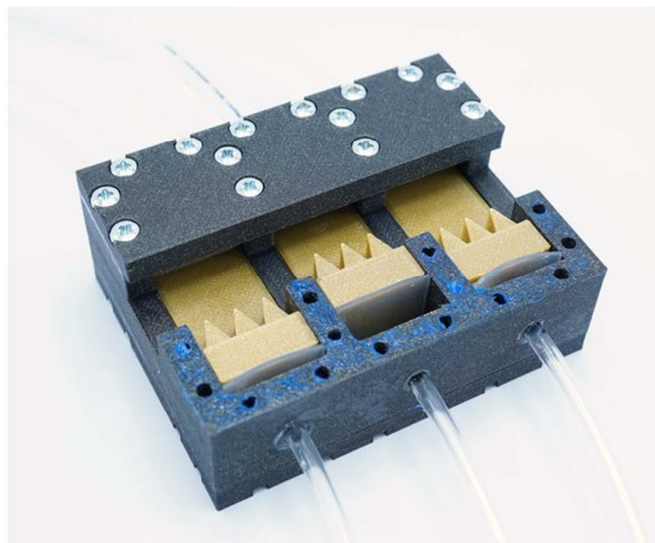
Ostali dijelovi konstrukcije i pneumatski linearni koračni motor izrađeni su FDM (*Fused Deposition Modeling*) aditivnom tehnologijom. Odabrani polimer za 3D printanje je PETG (Poly (ethylene terephthalate-co-1, 4-cyclohexylenedimethylene terephthalate)). Karakteristike odabranog materijala:

- izdržljiv
- lako se printa
- povišena temperaturna otpornost
- povoljna cijena

Pneumatski linearni koračni motor bilo je potrebno još doraditi nakon printanja pa su zato cilindri pobrušeni i namazani s petrolejskim gelom kako bi se nesmetano kretali. Također su na cilindre dodane silikonske brtve debljine 1 mm Shoreve tvrdoće 65A. Na kraju je između poklopca i kućišta postavljen silikon kako bi se osiguralo da ne dolazi do propuštanja zraka i poklopac je vijcima pričvršćen za kućište. Moguća opcija je narezivanje navoja M5 u kućište motora kako bi se mogli postaviti utični priključci i na taj način olakšati spajanje motora na dovod zraka.



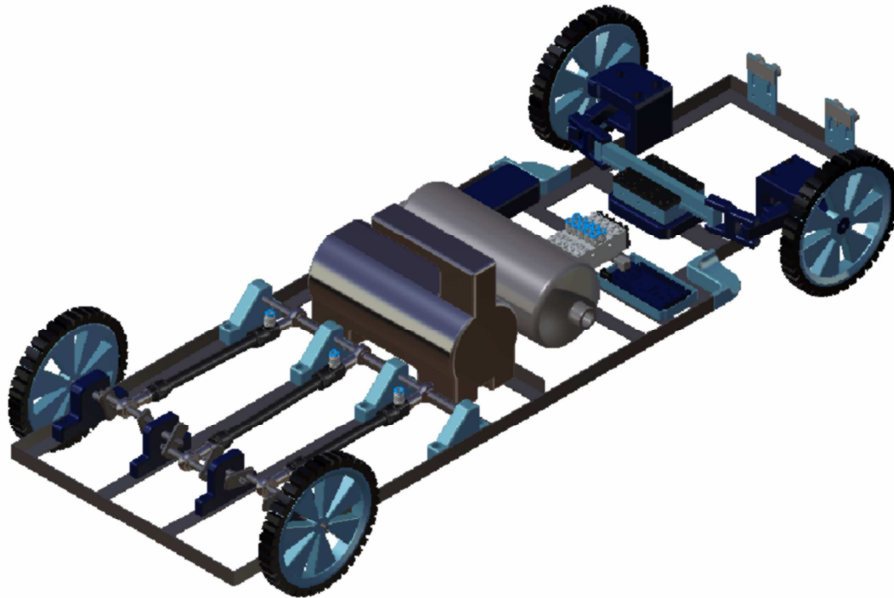
Slika 3.12. Kotač vozila izraden na 3D printeru



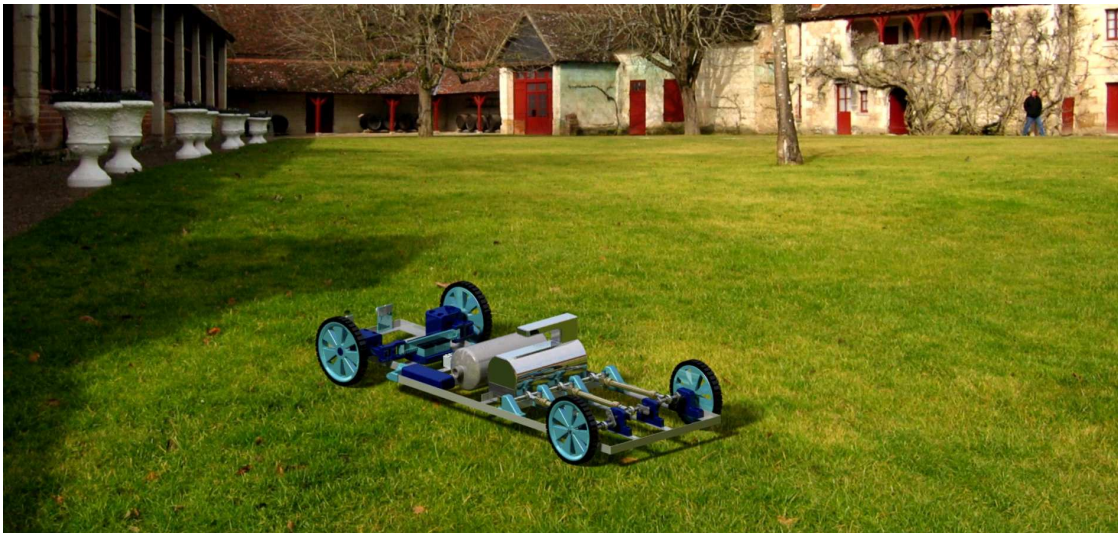
Slika 3.13. Izgled dovršenog pneumatskog linearnog koračnog motora

3.1.5. Model vozila

Nakon konačnog spajanja i povezivanja svih dijelova vozila ono bi trebalo izgledati kao model na slici 3.14.



Slika 3.14. Model vozila na stlačeni zrak



Slika 3.15 Model izgleda vozila na stlačeni zrak

3.2. Pogonski sustav

Za pogon autonomnog vozila odabran je stlačeni zrak. Ovim radom se htjela dati još jedna alternativa klasičnim pogonskim sustavima i to s ciljem poboljšanja suvremenih tehnoloških rješenja.

3.2.1. Odabir aktuatora

Pneumatski mišić

Pneumatski mišić je odabran za pokretanje vozila. Umjetni pneumatski mišići su sve popularniji pneumatski aktuatori. Do porasta popularnosti je došlo zbog niza vrlo povoljnih svojstava poput male mase, koja omogućuje montiranje izravno na konstrukciju koju pogone, lakog održavanja, ali i većih sila u odnosu na pneumatske cilindre istih dimenzija i pri istom tlaku.

Umjetni pneumatski mišići stezljivi su pneumatski aktuatori linearnog gibanja pokretani tlakom zraka. Ključan element mišića je tanka i fleksibilna membrana učvršćena na oba kraja mišića koja ovisno o izvedbi može biti izradena od silikonske gume, lateksa, najlonskih vlakana, itd. Dovođenjem zraka pod tlakom u mišić puni se membrana mišića te se on počne radijalno širiti što rezultira aksijalnim stezanjem pri čemu nastaje vučna sila na krajevima mišića. Stezanjem mišića kao posljedica nastaju sila i gibanje koji su jednosmjerni.

Jedan nedostatak kod pneumatskih mišića je to što mogu davati samo vlačnu silu za razliku od pneumatskih cilindara koji mogu dati ostvariti silu u oba smjera. Zato ako želimo ostvariti dvosmjerni rad s pneumatskim mišićima potrebna su nam najmanje dva mišića.

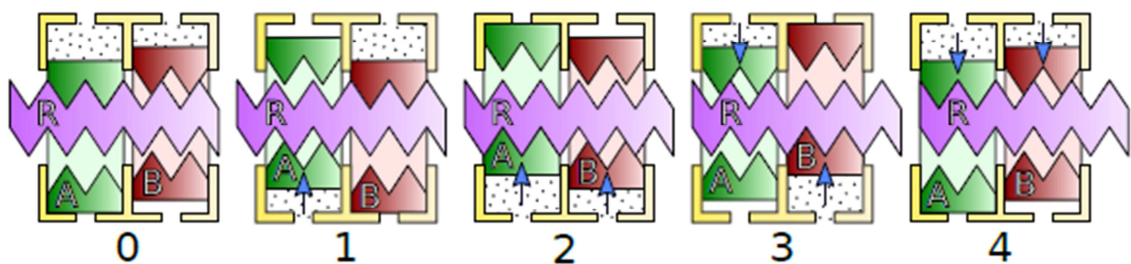


Slika 3.16. Pneumatski mišić tvrtke FESTO korišten u projektu [17]

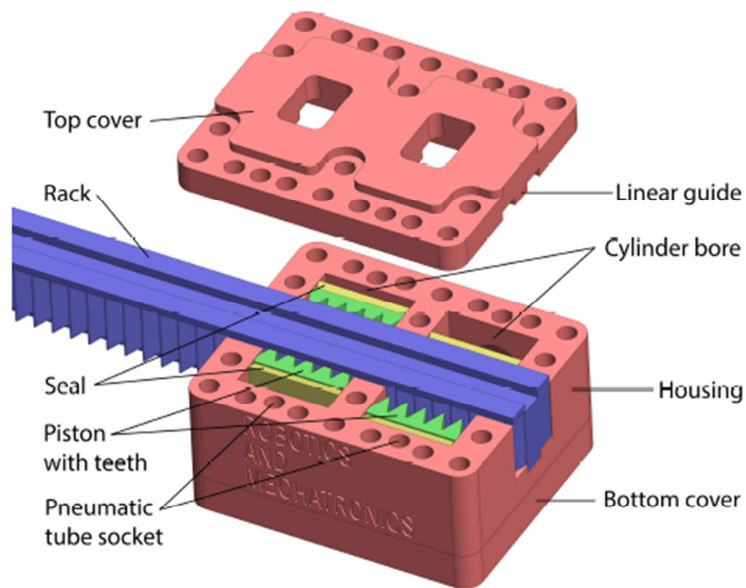
Pneumatski linearni koračni motor

Pneumatski linearni koračni motor odabran je za skretanje vozila. Pneumatski linearni koračni motor je nova vrsta pneumatskog aktuatora čiji je razvoj je potaknut razvojem 3D printera. Predložili su ih u svome radu profesori sa studija robotike i mehatronike sveučilišta u Twentu u Nizozemskoj. Oni su također javno objavili nacрте za izradu i to pod *Creative Commons - Attribution - Non-Commercial - Share Alike* licencom. Ovakvi aktuatori omogućavaju pozicioniranje korištenjem pneumatike, ali bez potrebe za proporcionalnim ventilima ili mjernim sustavom.

Princip rada ovog aktuatora je prilično jednostavan. Sastoji se od nazubljene letve te 3 cilindra koji imaju nazubljena čela. Cilindri su međusobno pomaknuti u fazi te pojedinačnim aktiviranjem cilindara se ostvaruje pomak zubne letve. Svaki cilindar u jednom aktiviranju pomakne zubnu letvu za 1/3 koraka te se na taj način može dobiti relativno precizno pozicioniranje. Veličina koraka ovisi o geometriji i veličini zubi. Također su moguće verzije koje imaju letvu nazubljenu s obe strane (model T-63) i modeli koji imaju letvu ozubljenu samo s jedne strane (model T-84) [23,24]. U ovom radu korišten je model T-84 za čiji rad su potrebna 3 ventila 5/2, odnosno za svaki cilindar potreban je jedan ventil.



Slika 3.17. Primjer rada pneumatskog linearnog koračnog motora T-63 [23]

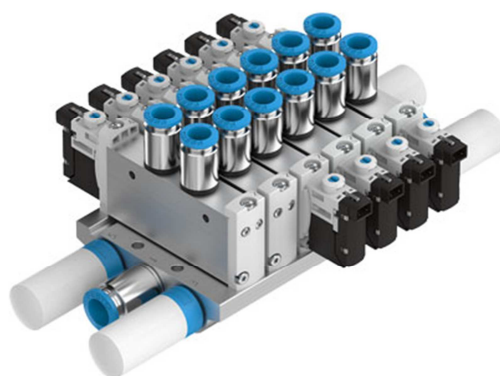


Slika 3.18. Pogled na sve dijelove pneumatskog linearnog motora T-63 [23]

3.2.2. Odabir ostalih komponenti sustava

Ventilski blok

Odabran je ventilski blok oznake VTUG-10-SH2-S1T-Q6 koji se sastoji od 3 ventila 5/2 te 3 ventila 3/2 elektromagnetski upravljivih putem mikroprocesora ili računala. Povezivanje s računalom ili mikrokontrolerom obavlja se posebno za svaki ventil.



Slika 3.19. Ventilski blok

Filter i regulator tlaka

Pripremna grupa oznake MSB4-1/4:C3:J1-WP sastoji se od filtera zraka i regulatora tlaka. Filter zraka uklanja čestice prašine i nečistoća iz stlačenog zraka prije njegovog ulaska u ventilski blok. Regulator tlaka osigurava stabilan željeni radni tlak potreban za rad mišića čime se usporava pražnjenje zraka iz spremnika i produljuje vrijeme rada vozila.



Slika 3.20. Pripremna grupa

Spremnik zraka

Kao spremnik zraka odabran je model CRZVS-2 koji ima kapacitet od 2 litre zraka komprimiranog u rasponu od 0 do maksimalnih 16 bara. Spremnik ima dva bočna otvora koji se koriste za dovod zraka iz kompresora te odvod zraka prema mišićima.



Slika 3.21. Spremnik zraka

Prigušno-nepovratni ventil

Prigušno nepovratni ventil oznake GR-M5-B služi za upravljanje protokom 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.



Slika 3.22. Prigušno nepovratni ventil

Kompresor

Kompresor služi kao glavni dovod zraka u spremnik za vrijeme rada vozila čime se omogućuje autonomni rad vozila. Zahtijeva napajanje od 12 V.



Slika 3.23. Kompresor

Tlačna sklopka

Koristi se za uključivanje kompresora ako tlak padne ispod predodređenog iznosa koji se može podesiti na samoj sklopki. Također ima manometar na sebi te se tako može kontrolirati tlak u spremniku. Spaja se na izlazu zraka iz spremnika.



Slika 3.24. Tlačna sklopka

Cijevi i utični spojevi

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

3.3. Upravljački sustav

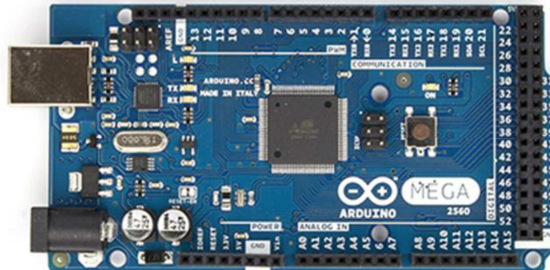
Cilj ovog projekta bio je konstruirati vozilo na stlačen zrak koji ima autonomiju u pogledu odluka o zaobilaženju prepreka, zaustavljanja vozila i kretanju vozila unatrag ako je potrebno.

3.3.1. Odabir upravljačkih komponenata

Mikrokontroler

Namjena mikrokontrolera je upravljanje uređajima i procesima. Odabrani mikrokontroler je Arduino MEGA2560. Razlog odabira je mogućnost programiranja pomoću softverskog paketa Arduino te velik broj ulazno/izlaznih pinova koji se planiraju iskoristiti za spajanje senzora i daljnje nadograđivanje vozila. Arduino MEGA2560 ima 54 digitalnih ulaza/izlaza, od kojih 15

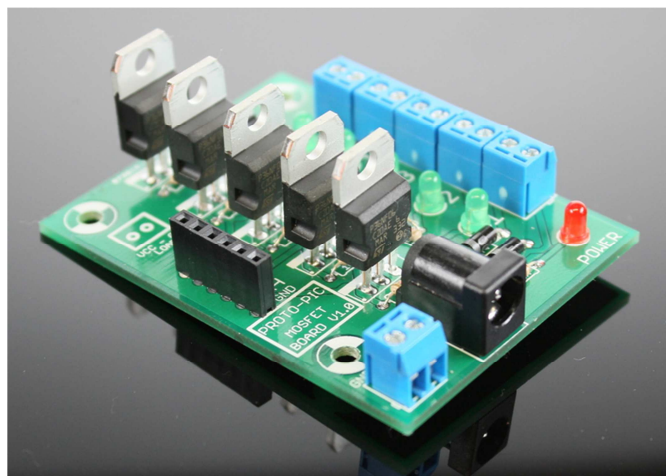
možu biti korišteni kao izlazi za pulsno širinsku modulaciju, 16 analognih ulaza, 4 serijska porta, 16 Mhz kristalni oscilator, USB komunikaciju sa računalom itd.



Slika 3.25. Arduino Mega 2560

Upravljanje ventilima

Za upravljanje ventilima koristi se razvojna pločica na kojoj je glavna komponenta N-kanalni MOSFET tranzistor oznake RFP30N06LE koji na naredbu mikrokontrolera propušta napon od 24 V prema ventilima. Također, pločica na sebi ima LED diode koje služe kao odličan indikator da li se upravljački sustav nalazi pod naponom ili ne. Na pločici se nalazi 5 tranzistora te su potrebne dvije pločice jer imamo 6 ventila koje koristimo za rad. Veći broj tranzistora od traženog nije problem, jer je u skladu sa budućim planovima razvoja vozila.



Slika 3.26. Pločica za upravljanje ventilima

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.

Napajanje

Na vozilu se nalaze dva izvora napajanja. Prvi izvor se koristi za pokretanje kompresora i radi na 12 V koliko zahtijeva kompresor. Ovaj izvor može davati 2A struje ili do 300A maksimalne struje i zbog toga je pogodan za kompresor koji je velik potrošač energije. Drugi izvor daje napon od 24 V ventilskom bloku koji je malen potrošač električne energije. Za ovu primjenu je odabrana Turnigy 6S punjiva baterija kapaciteta 3000 mAh, nazivnog napona 22.2 V. Za dva izvora napajanja smo se odlučili kako bi produžili autonomiju vozila. Naime, ako bi se kompresor i ventilski blok spojili na isto napajanje vozilo bi stalo čim bi kompresor, koji je puno veći potrošač energije od ventilskeg bloka, potrošio bateriju do kraja, jer se ventili više ne bi mogli aktivirati. Na ovaj način vozilo se može nastaviti voziti i nakon što se kompresor ugasi jer se ventili i dalje mogu otvarati i zatvarati te mogu nastaviti rad dok se ne potroši zrak u spremniku. Nadalje, ovakvom izvedbom eliminira se potreba za pretvaračem napona.

Ultrazvučni senzori

Ultrazvučni senzor oznake HC-SR04 emitira ultrazvučne signale te čeka njihov povrat koji tada detektira i šalje mikrokontroleru. Mikrokontroler iz tih podataka, koristeći poznatu brzinu zvuka, može dobiti udaljenost i brzinu predmeta. Ovi senzori imaju široko radno područje od 2 cm, pa sve do 4 m, ali za udaljenosti veće od 1 m postaju relativno nepouzdana. Isto se događa i unutar 2 cm jer tada se zvučni signali prebrzo vraćaju na senzor i on ih ne uspijeva najbolje detektirati. Ovo radno područje sasvim je dovoljno za naše potrebe. Na izrađenom vozilu ovi senzori se koriste za detekciju prepreka na putu vozilu.



Slika 3.27. Ultrazvučni senzor HC-SR04

3.3.2. Opis rada upravljačkog sustava

Vozilo 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. Vozilo je autonomno tako da nema potrebe za vanjskim upravljanjem.

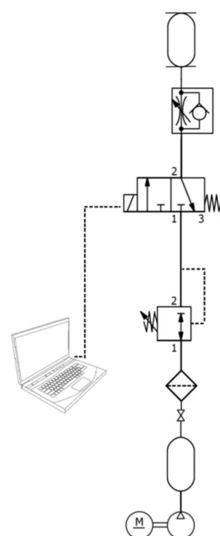
Mikrokontroler na početku inicijalizira sve potrebne varijable te postavlja vrijednost registara potrebnih za prekid. Zatim se potrebnim pinovima dodjeljuje svojstvo ulaznih odnosno izlaznih pinova. Mikrokontroler tada ulazi u beskonačnu petlju u kojoj cijelo vrijeme pregledava vrijednosti varijabli i ovisno o njihovim vrijednostima određuje svoje postupke u sljedećim koracima svojeg rada.

Nakon što se obavi stavljanje programa na mikrokontroler i inicijalizacija vozila kreće se sa izvršavanjem programa. Za početak, zamišljeno je da se implementira jednostavan program gdje bi se vozilo kretalo do nailaska na prepreku koju se detektira ultrazvučnim senzorima. Ako bi prepreka bila samo sa jedne strane vozilo bi skrenulo u suprotnu stranu, zaobišlo prepreku i vratilo se natrag na programiranu putanju. Ako bi se prepreka prostirala cijelom dužinom ispred

vozila, vozilo bi prvo stalo te pokušalo odrediti da li se prepreka kreće prema njemu. U slučaju da se prepreka kreće prema vozilu ono bi započelo vožnju unatrag kako bi se udaljilo od prepreke. Kad se udalji od prepreke pokušao bi nastaviti kretanje prema naprijed.

3.4. Opis rada vozila pogonjenog stlačenim zrakom

Spremnik zraka puni se zrakom do tlaka od 13 bara iz većeg posebnog kompresora ili pomoću kompresora koji se nalazi na robotu. Spremnik je preko ručnog kugličnog ventila spojen na filter zraka i regulator tlaka koji ograničava tlak u sustavu na radni tlak mišića. Kuglični ventil je postavljen kako bi se mogao hitno prekinuti rad zatvaranjem dovoda zraka iz spremnika te kako bi se zaštitile komponente prije puštanja vozila u pogon. Regulator tlaka se pomoću vodova izravno spaja na ventilski blok. Ventilskim blokom upravlja se preko mikrokontrolera koji u memoriji sadrži upravljački kod. Uključivanjem pojedinog ventila zrak se preko prigušno nepovratnog ventila propušta prema pripadnom mišiću odnosno prema pripadnom cilindru pneumatskog linearnog koračnog motora. Prigušni ventil određuje brzinu stezanja mišića odnosno brzinu aktiviranja cilindra motora za skretanje. Ulaskom zraka u mišić on se steže te ostvaruje silu povlačenja koje omogućuje okretanje vratila a time i pogon vozila. Na vratilu se nalaze tri mišića i svaki zakreće vratilo za 120° kako bi se dobio puni krug nakon aktiviranja svakog mišića. Također kad tlak u spremniku padne ispod namještenog tlaka kompresor će se uključiti preko tlačne sklopke. Sa ventilima koji pokreću pneumatske mišiće upravlja mikrokontroler preko modula. Glavna komponenta modula je MOSFET tranzistor.



Slika 3.28. Pneumatska shema za jedan aktuator vozila

Na slici 3.29 prikazano je autonomno vozilo pokretano pneumatskim mišićima, koje ima mogućnost detektiranja i zaobilaznja prepreka.



Slika 3.29 Autonomno vozilo pokretano pneumatskim mišićima

4. REGULACIJA KUTA ZAKRETA KORMILA BRODA

4.1 Projektiranje i odabir komponenti

Tema ovog dijela rada je prezentacija „kormila stroja“ broda, odnosno dijela brodskog pogona zaduženog za kormilarenje (skretanje) brodom. Kormilo stroja je najčešće hidraulički pogon smješten u krmi većih brodova. Takav sustav sastoji se od: aktuatora (izvršnog dijela) najčešće su to hidraulički cilindri, upravljačkog dijela koji čine elektrohidraulički ventili i agregata što su hidrauličke pumpe najčešće pogonjene elektromotorima ili motorima s unutarnjim izgaranjem.

Ovaj praktični studentski rad vjerno će prikazati takav ogroman sustav na maloj drvenoj maketi krme broda. Zbog jednostavnosti umjesto hidrauličkog pogona odlučeno je koristiti pneumatski pogon zbog izostajanja velikih sila koje u realnom okruženju stvara propulzija propelera na list kormila broda.

Maketa se sastoji od: drvenog dijela koji prikazuje krmu broda, aktuatora u obliku pneumatskog cilindra, lista kormila broda, polužnog sistema za otklon kuta zakreta lista kormila, elektropneumatskih ventila, senzora za mjerenje kutova zakreta, drvenog kormila za unošenje željenog otklona lista kormila te mikroprocesora koji upravlja sustavom.

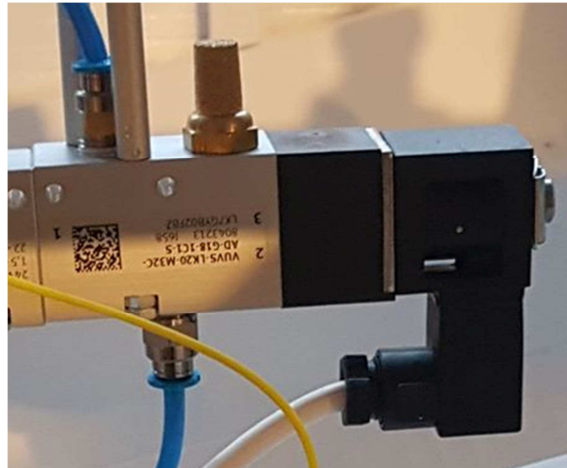
Odabir komponenti

Početak projektiranja započinje s odabirom aktuatora. Za aktuator odabran je pneumatski cilindar oznake C95SDB160-100 koji je donirala tvrtka SMC industrijska automatika. Cilindar je predviđen za rad s tlakovima do 10 bara, a hod klipnjače cilindra iznosi 100mm [25].



Slika 4.1. Pneumatski cilindar

Nakon odabranog aktuatora potrebno je odabrati elektropneumatske ventile koji će puštati zrak u komore cilindra. Zbog manje cijene odabrani su elektromagnetski on/off ventili oznake VUVS-LK20-M32C tvrtke FESTO. To su elektropneumatski ventili koji imaju samo dva stanja otvoreno „on“ i zatvoreno „off“ stanje. Upravljeni su digitalnim naponskim signalom amplitude 24 V. Budući da aktuator ima dvije komore potrebna su dva ovakva ventila [26].



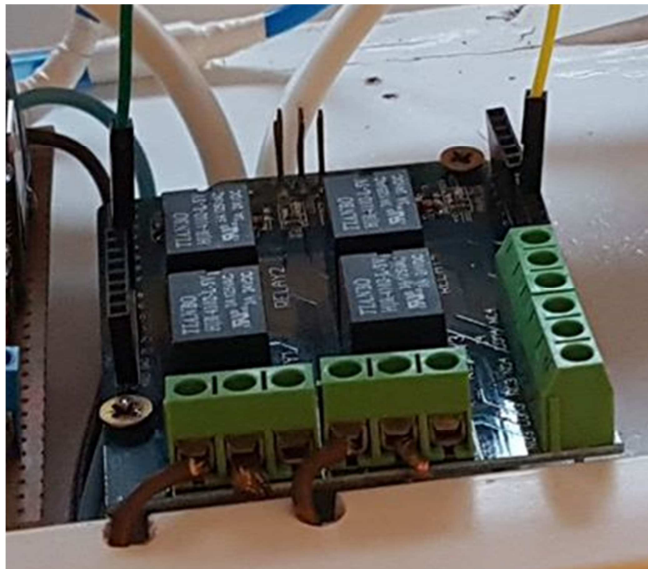
Slika 4. 2. Elektropneumatski ventil

Potom se odabire način upravljanja sustava. Više je mogućih načina upravljanja ovakvog sustava, ali jedan se nameće po svojoj jednostavnosti i niskoj cijeni, a to je upravljanje pomoću „Arduino Uno“ modula koji se temelji na ATmega328P mikrokontroleru. Ima 14 digitalnih ulazno-izlaznih priključaka, 6 analognih ulazno-izlaznih priključaka, 16 MHz kvarcni kristal, USB vezu, priključak za napajanje, ICSP programator i reset tipkalo. Osim modula, upravljački sustav čini upravljački program (eng. *Software*) [27].



Slika 4.3. Arduino Uno modul

Budući da ovakav modul na svoje digitalne izlaze može dati samo naponski signal amplitude 5V, a ventilima je potrebno dovoditi signal od 24V potrebna je i pločica s relejnim sklopnicima koji po primitku signala od 5V puštaju 24V na ventile. Ovakva pločica posjeduje 4 sklopnika od kojih će se koristiti samo 2, po jedan za svaki ventil [28].



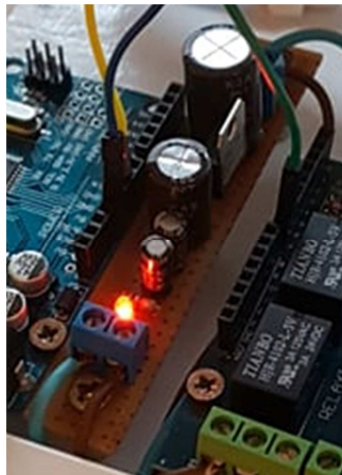
Slika 4.4. Pločica s relejnim sklopnicima

Kako je spomenuto ventilima je potreban napon od 24V kojeg je najlakše dobiti spuštanjem s napona mreže od 220V. Za to je odabran pretvarač napona oznake MDR-60-24 koji omogućuje struju do 2.5 A. Na slici može se vidjeti i sklopnik koji se koristi za uključivanje i isključivanje napajanja makete [29].



Slika 4.5. Pretvarač napona i sklopnik

Ovim pretvaračem riješeno je napajanje za ventile, potrebno je još osigurati napajanje za Arduino modul koji zahtjeva napon od 12 V. To je najlakše napraviti spuštanjem napona sa postojećih 24V. Za to je odlučeno samostalno izraditi stabilizator napona na 12V što je bila najpovoljnija opcija.



Slika 4.6. Stabilizator napona 12V

Još jedna komponenta bez koje ovakav sustav ne bi mogao funkcionirati je senzor. Sensori su potrebni za mjerenje kuta kormila koje okreće korisnik te kuta zakreta lista kormila. Za to su odabrani kutni enkoderi (*eng. Rotary encoder*), odabrani enkoderi procesoru šalju 600 digitalnih pulseva po okretaju odnosno otprilike malo manje od dva pulsa po stupnju zakreta što je više nego dovoljno za ovu primjenu [30].



Slika 4.7. Kutni enkoder

Zadnja, ali ne manje važna komponenta je napajanje makete stlačenim zrakom. Za to se koristi kompresor zraka koji tlači zrak do 10 bara. Zbog visoke cijene ova maketa to ne posjeduje već je predviđeno spajanje same makete na kompresor u laboratoriju. Ostale komponente su električni vodovi u obliku bakrenih žica te pneumatski vodovi u obliku gumenih cijevi.

4.2. Izrada makete

4.2.1. Izrada drvenog dijela makete

Drveni dio makete izrađen je od drvene ploče debljine 15 mm koja je poslužila za izradu rebara broda te drvenih letvica debljine 1 mm i širine 6 mm koje su poslužile za izradu oplata broda.

Gabaritne mjere konstrukcije određene su prema mjerama cilindra te hodu cilindra. Nakon što su izračunate mjere, konstruirana su rebra broda te postavljena na kobilicu broda.



Slika 4.8. Rebra postavljena na kobilicu broda

Zatim sljedi postavljanje palube broda na previđena ležajna mjesta na rebrima.



Slika 4.9. Postavljena paluba

Nakon postavljanja palube počinje zatvaranje oplate broda pomoću tankih drvenih letvica.



Slika 4.10. Izrada oplate

Nakon što je oplata potpuno završena nanešen je sloj akrilnog kita da se dobije finija površina oplate.



Slika 4.11. Nanošenje akrilnog kita

Kad je drveni dio završen dolazi do finije faze izrade makete. Nakon isprašivanja pomoću kompresora slijedi bojenje makete.



Slika 4.12. Bojanje bijelih dijelova broda

Zatim bojenje oplata te podvodnog dijela broda.



Slika 4.13. Obojana maketa

Vrijeme potrebno za sušenje makete iskorišteno je za izradu kormila (volana) za upravljanje maketom također od drveta.



Slika 4.14. Kormilo broda

Nakon izrade svih dijelova slijedi montaža postolja te montaža svih potrebnih komponenti u unutrašnjost makete.



Slika 4.15. Vanjski izgled makete

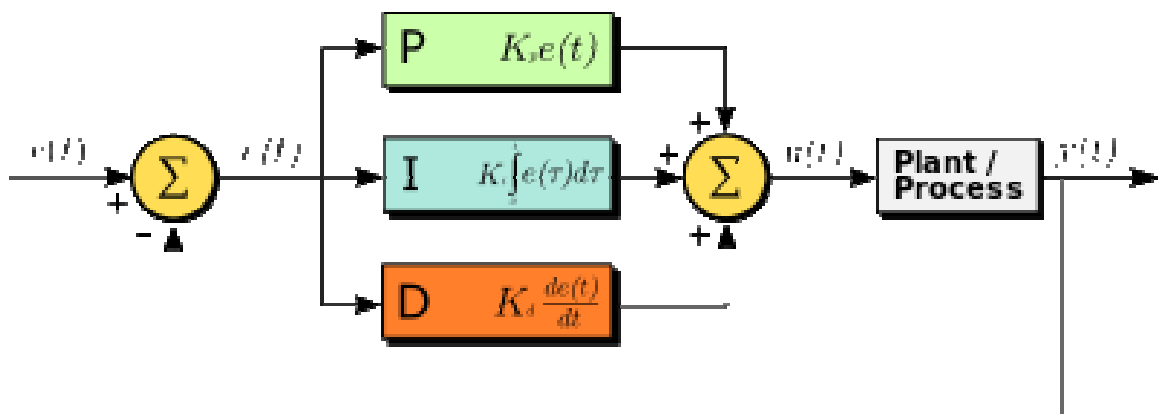


Slika 4.16. Unutarnji dio makete s montiranim komponentama

4.2.2. Izrada upravljačkog dijela

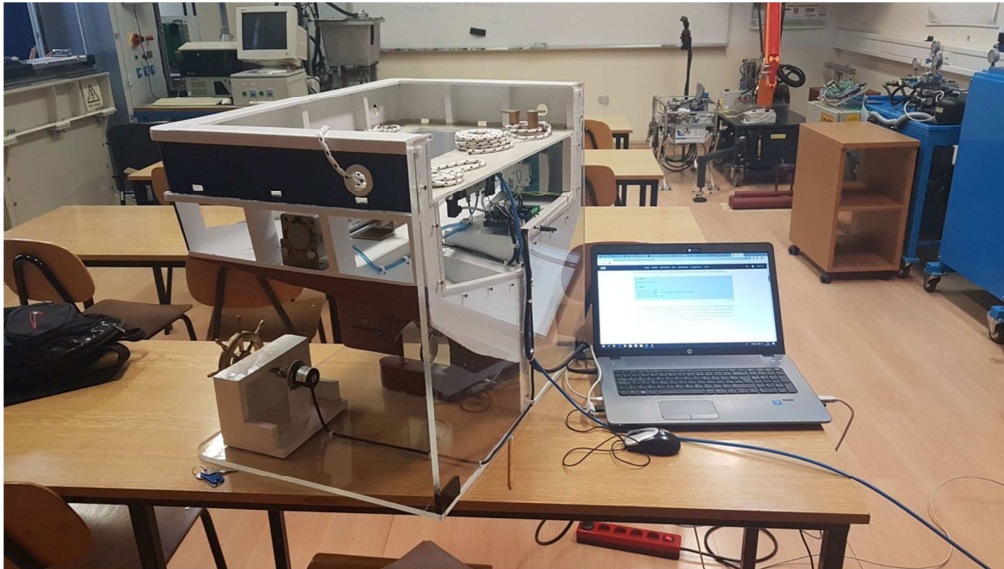
Upravljački dio makete odnosi se na programiranje „Arduino Uno“ modula koji se nalazi na samoj maketi. Taj dio posla napravljen je pisanjem programa u „Arduino“ software-u. Program očitava vrijednosti sa oba kutna enkodera te oduzimajući vrijednost postignutog kuta od željenog kuta računa pogrešku. Na temelju pogreške PID regulator odlučuje koji ventil treba propustiti zrak u cilindar.

Proporcionalno-integralni-derivacijski regulator (PID regulator) je mehanizam povratne veze kontrolne petlje koji se široko koristi u industrijskim regulacijskim sustavima i niz drugih aplikacija koje zahtijevaju kontinuirano modulirano upravljanje. PID regulator stalno izračinava vrijednost pogreške kao razliku između željene zadane vrijednosti i izmjerene varijable procesa i primjenjuje korekciju koja se temelji na proporcionalnom, integralnom i derivacijskom djelovanju (označeni P, I i D), odakle i dolazi ime ovakvog regulatora.



Slika 4.17 Shema PID regulatora

Bitna značajka PID regulatora je mogućnost korištenja tri djelovanja i to proporcionalnog, integralnog i derivacijskog kojima se utječe na izlaz regulatora za ostvarenje precizne i optimalne regulacije izlazne veličine [31].



Slika 4.18. Programiranje makete

4.3. Opis rada makete

Korisnik okreće kormilo (volan) broda na postolju makete te time unosi željeni kut zakreta lista kormila broda. Taj željeni kut očitava senzor kutnog zakreta te šalje signal o poziciji kormila u procesor. Istovremeno drugi takav senzor očitava ostvareni kut lista kormila te šalje signal o trenutačnoj poziciji lista kormila u procesor. Procesor računa pogrešku kuta te na temelju upravljačkog algoritma odlučuje na koji izlazni pin da postavi 5V i time uključi relejni sklopnik. Kad se relejni sklopnik otvori šalje napon od 24V spušten iz mreže na spojeni elektropneumatski ventil koji se tada otvara. Kad se određeni ventil otvori pušta komprimirani zrak u određenu komoru cilindra koji preko polužnog sistema zakreće list kormila. Na taj način se ostvaruje regulacijski krug. Ovakav sustav osmišljen je za prezentaciju kormilo stroja broda te pneumatike kao pogonske grane u strojarstvu.

ZAKLJUČAK

Ovaj rad obuhvaća tri mehatronička, pneumatski pokretana sustava iz tri potpuno različite grane strojarstva. Iz opisanih mehatroničkih sustava može se zaključiti da raznovrsnost upotrebe pneumatski pokretanih sustava pokazuje stvaran potencijal pneumatskog pogona u različitim primjenama. Izrada ovog rada obuhvaća projektiranje, izradu i upravljanje tri različita mehatronička sustava koji imaju slične zahtjeve na način rada sustava. To su mali zahtjevi za snagom, dobro vrijeme odziva cijelog sustava i održavanje čistoće radnog prostora u kojem sustav radi.

Koliko god sustavi opisani u ovom radu bili jeftiniji i jednostavniji od sličnih industrijskih rješenja omogućuju objašnjenje rada i načina upravljanja realnih rješenja iz prakse.. Kako bi se omogućilo korištenje teoretski stečenih znanja, u praksi, potrebno je premostiti poteškoće u financiranju i omogućiti mladim istraživačima da razvojem svojih praktičnih vještina pridonese razvoju industrijalizacije u Hrvatskoj.

Trenutačno u svijetu postoji trend naglog razvoja robotike i mehatronike te je potrebno razvijati i slična vlastita rješenja. Pri tome treba koristiti vlastite inovativne ideje koje bi se zatim pretočile u konkretne proizvode koji bi bili konkurentni na svjetskom tržištu. Tehnički fakulteti u našoj zemlji, uz odgovarajuću potporu, mogu dati značajan doprinos ovakvim trendovima kroz različite studentske aktivnosti.

Zahvala

Zahvaljujemo se prof. dr. sc. Željku Šitumu na potpori tijekom izrade ovih sustava, korisnim savjetima te financiranju i pomoći kod nabave dijelova bez kojih praktična realizacija ovih mehatroničkih sustava ne bi bila moguća.

Zahvaljujemo se tvrtki SMC Industrijska automatika d.o.o. za donirane pneumatske komponente za izradu automatiziranoga pneumatskog manipulatora.

Zahvaljujemo se tvrtki Festo Hrvatska za donaciju pneumatskih komponenti za izradu pneumatski pogonjenog autonomnog vozila.

Zahvaljujemo se obrtu Bravarija Lukačić na laserskom rezanju, savijanju i plastifikaciji pojedinih dijelova i Udruzi mehatroničara na financiranju dijela rada.

Literatura

- [1] URL izvor: [https://en.wikipedia.org/wiki/Manipulator_\(device\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Manipulator_(device)), 19.4.2019.
- [2] URL izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/Laser_cutting, 19.4.2019
- [3] URL izvor: https://hr.wikipedia.org/wiki/Savijanje_limova, 19.4.2019.
- [4] URL izvor: <https://www.aliexpress.com/item/WC67Y-125-3200-Electro-hydraulic-servo-CNC-hydraulic-sheet-bending-machine-Hydraulic-bending-machine/1642454335.html>, 19.4.2019
- [5] URL izvor: <https://www.webgradnja.hr/clanci/plastifikacija-metala-postupak-i-odrzavanje/1178/>, 19.4.2019.
- [6] URL izvor: <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>, 19.4.2019.
- [7] URL izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/Pneumatic_cylinder 19.4.2019.
- [8] URL izvor: <https://picclick.com/NEW-SMC-MGPM50-250-Z73L-MGP-Compact-Guide-Cylinder-161270246656.html>, 19.4.2019.
- [9] URL izvor: <http://repositorij.fsb.hr/8109/>, 19.4.2019.
- [10] URL izvor: <https://www.bibus.hr/proizvodi-i-rjesenja/pneumatika/ventili-i-upravljanje/matrix-super-brzi-ventili/>, 23.4.2019.
- [11] URL izvor: <https://www.robotshop.com/media/files/pdf/arduinomega2560datasheet.pdf>, 23.4.2019.
- [12] URL izvor: <https://www.zettlex.com/articles/inductive-sensors-work/>, 23.4.2019.
- [13] URL izvor: <https://www.galco.com/comp/prod/relay.htm>, 23.4.2019.
- [14] URL izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/Compressed_air_car#Peugeot/Citro%C3%ABn 26.4.2019.
- [15] Manjunath B. A., Binu K. G., Santhosh H., Rahul Kumar, Design and Fabrication of Air Driven Vehicle, *Journal of Mechanical Engineering and Automation*, Vol. 7 No. 4, 2017, pp. 112-115. doi: 10.5923/j.jmea.20170704.05.
- [16] United States Patent 4,370,857, Miller, 1..2.1983.
- [17] Festo Fluidic Muscle DMSP/MAS Catalogue
- [18] Decker, K. H.: Elementi strojeva, Tehnička knjiga Zagreb, 1975.
- [19] Würth katalog nehrđajućih vijaka
<http://www.wurth.ba/Resources/PDF/CatalogPages/09149.pdf>
- [20] Elementi strojeva, Nenad Kranjčević, Zagreb, 2012

- [21] URL izvor: <https://en.wikipedia.org/wiki/Steering> 26.4.2019.
- [22] Mathematical Model to Design Rack And Pinion Ackerman Steering Geometry, Dipalkumar Koladia, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 5, Issue 9, September-2014
- [23] Rapid Prototyping High-Performance MR Safe Pneumatic Stepper Motors, Vincent Groenhuis and Stefano Stramigioli, University of Twente, Enschede, The Netherlands
- [24] URL izvor: <https://www.youtube.com/watch?v=BBG-8ZSOmdY&t=31s> 26.4.2019.
- [25] URL izvor: <https://www.smcpneumatics.com/C95SDB160-100.html> 26.4.2019.
- [26] URL izvor: <https://uk.rs-online.com/web/p/pneumatic-solenoid-pilot-operated-control-valves/1215894/> 26.4.2019.
- [27] URL izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino_Uno 26.4.2019.
- [28] URL izvor: <https://store.arduino.cc/4-relays-shield> 26.4.2019 26.4.2019.
- [29] URL izvor: <https://www.jameco.com/Jameco/Products/ProdDS/1943465.pdf> 26.4.2019.
- [30] URL izvor: http://www.elexco.co.za/index.php?route=product/product&product_id=917 26.4.2019.
- [31] URL izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller 26.4.2019.

Sažetak

Automatizirani pneumatski manipulator je stroj pogonjen zrakom kojeg je izradio Filip Vlahović. Izrada manipulatora obuhvaća projektiranje, izradu i upravljanje manipulatora s dva stupnja slobode gibanja koji služi za prepoznavanje, prihvaćanje i premještanje obradaka u proizvodnji. Ostvarivanje stupnjeva slobode gibanja, prihvaćanje obradaka i konstantan dotok materijala osigurani su pneumatskim aktuatorima. Dovod zraka u pneumatske aktuatore regulira ventilski otok koji je preko relejnog modula upravljan upravljačkim uređajem Arduino Mega2560. Prepoznavanje prisutnosti obradaka izvodi se induktivnim senzorom koji preko tiskane pločice šalje signale Arduino, temeljem kojih je ostvareno daljnje upravljanje cijelog stroja.

Autonomno vozilo pokretano pneumatskim mišićima koje je izradio Šime Grbić koristi relativno novi i neobični način pogona pomoću stlačenog zraka. Takvo vozilo bilo bi ekološki prihvatljivije od sadašnjih vozila koja zagađuju okoliš. Za razvoj i izradu ovako složenog inženjerskog rada potrebno je primjeniti znanja iz različitih polja znanosti i inženjerstva. Prvenstveno je bilo potrebno projektirati mehaniku vozila i to posebno koljenasto vratilo te sustav za skretanje vozila. nakon rješavanja konstrukcijskih problema odabrane su pneumatske komponente potrebne za skretanje i upravljanje vozilom. Vozilo koristi pneumatske mišiće i linearni pneumatski koračni motor kao aktuatore. Dovod zraka u aktuatore regulira se preko ventilskog bloka kojeg kontrolira mikrokontroler Arduino Mega2560. Vozilo postiže autonomnost pomoću ultrazvučnih senzora preko koji može odrediti udaljenost od zapreka te samostalno odlučiti hoće li nastaviti vožnju, zaustaviti se ili jednostavno zaobići prepreku. Ovakvo vozilo može poslužiti kao smjer razvoja hibridnih ili potpuno pneumatskih vozila koja bi imala značajno manji utjecaj na okoliš od svojih alternativa.

Regulacija kuta zakreta kormila broda je rad kojeg je izradio Dino Jelenić, a napravljen je u svrhu prezentacije kormila stroja broda (pogona za kormilarenje većim brodovima). Rad se sastoji od projektiranja, izrade te programiranja stolne makete koja posjeduje pneumatski pogon za razliku od realnih sustava koji su zbog mnogo većih sila pogonjeni hidraulički. Sustav se sastoji od: drvene krme broda, pneumatskog cilindra, dva elektropneumatska ventila, relejne pločice, mikrokontrolera, dva kutna enkodera, stabilizatora napona te pretvarača napona. Sustav funkcionira tako da automatski prati željeni kut otklona kormila koji zadaje korisnik. Posebna

pažnja posvećena je regulaciji sustava koja se zbog željene preciznosti ostvarila implementacijom PID regulatora u mikrokontroleru. PID regulator po izračunatoj pogrešci koju računa pomoću signala sa senzora odlučuje koji elektropneumatski ventil otvoriti i time pomaknuti cilindar. Ovakav sustav pogodan je za prezentaciju i edukaciju studenata u području elektropneumatike, automatike i programiranja.

Ključne riječi: industrijski manipulator, pneumatsko vozilo, kormilo broda, pneumatika, mehatronika

Summary

The automated pneumatic manipulator is an air driven machine manufactured by Filip Vlahović. Production of a manipulator involves designing, creating and controlling a two-stage motion manipulator that serves to recognize, grip and move workpieces in production. The achievement of degrees of freedom of movement, gripping of workpieces, and the constant flow of material are ensured by pneumatic actuators. The air intake to pneumatic actuators is controlled via the relay module by the Arduino Mega2560 control unit. Recognizing the presence of workpieces is carried out by an inductive sensor that sends signals to the Arduino via the printed circuit board, based on which further control of the whole machine is achieved.

Pneumatic muscle driven autonomous vehicle built by Šime Grbić uses compressed air for propulsion which is relatively new and unusual. Such vehicle would be ecologically more acceptable than today's vehicles that pollute the environment. To build such a complicated engineering project, it is necessary to apply knowledge from different fields of engineering and science. First, it was necessary to design vehicle mechanics and especially the drive shaft and the system for steering the vehicle. The vehicle uses pneumatic muscles and linear pneumatic stepper motor as actuators. Air supply for the actuators is regulated through the valves that are controlled by Arduino Mega2560. The vehicle is made autonomous by the use of ultrasonic sensors that can determine the distance from the obstacles. It can decide if it is going to continue driving, stop or simply drive around the obstacle. This vehicle can serve as a direction in the development of hybrid or completely pneumatic vehicles that would have a significantly smaller environmental impact.

Angular position control of a ship rudder blade is a project built by Dino Jelenić for the purpose of presenting the rudder machine of a ship (maschine for steering of bigger ships) the project consists of designing, manufacturing and programming of the model that is using a pneumatic drive instead of hydraulic drives that are used in the real systems because of much bigger forces in those systems. The model consists of wooden stern of a ship, pneumatic cylinder, two electropneumatic valves, relay board, microcontroller, two angular encoders, voltage stabilizer and voltage inverter. The system works by automatically following the desired angular position imposed by the user. Special attention was given to the control of the system that was achieved by implementing PID regulator in the microcontroller, because of the desired

precision. PID regulator acts upon the error calculated from the signal of the sensor and decides which electrovalve to open and consequently move the cylinder. Such system is ideal for presentation and education of electropneumatics for the other students.

Keywords: industrial manipulator, pneumatic vehicle, ship rudder, pneumatics, mechatronics

Životopis

Šime Grbić rođen je 08.10.1996. u Zadru. Pohađao je osnovnu školu Privlaka u Privlaci u kojoj odlazi na svoja prva županijska i državna natjecanja iz tehničkih i prirodoslovnih znanosti. Prilikom upisa u srednju školu odabire matematički odjel gimnazije Juraj Baraković u Zadru kako bi dobio što bolju matematičku podlogu za studij strojarstva, koji ga već tada počinje zanimati. Kroz srednju školu iz hobija se bavi avionima na daljinsko upravljanje. Po završetku srednjoškolskog obrazovanja 2015. godine upisuje svoj prvi izbor, strojarstvo, na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Godine 2016. odlučuje se za smjer Mehatronika i robotika na kojem je i nastavio studirati na diplomskom dijelu studija nakon završetka prediplomskog. Aktivni je član Udruge mehatroničara, Udruge inovatora FSB-a te je sudjelovao u Hyperloop studentskom natjecanju koje organizira SpaceX. U slobodno vrijeme najradije igra košarku

Dino Jelenić rođen je 2.9.1996. u Zadru. Pohađao je osnovnu školu Stanovi u Zadru gdje odlazi na prva natjecanja iz prirodoslovnih i tehničkih znanosti. Nakon osnovne škole upisuje matematički odjel gimnazije Juraj Baraković u Zadru. Kroz srednjoškolsko obrazovanje neizmjereno mu nedostaje stjecanje znanja iz tehničkih područja pa, 2015. godine po završetku srednje škole upisuje strojarstvo na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. 2016. godine opredjeljuje se za smjer Mehatronika i robotika.

Filip Vlahović rođen je 03.02.1995. u Zagrebu. Nakon završetka Osnovne škole Samobor upisuje Srednju strukovnu školu Samobor, smjer tehničar za računalstvo. Tijekom srednjoškolskog obrazovanja sudjeluje na brojnim međunarodnim izložbama inovacija gdje osvaja brojne medalje i 14.05.2014. prima Županijsku nagradu "Rudolf Perešin". 2013. upisuje strojarstvo na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, a 2014. upisuje smjer Računalno inženjerstvo. Od 2018. godine aktivni je član Udruge inovatora FSB-a. U slobodno vrijeme bavi se brdskim biciklizmom..