

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Kristijan Pucak

# **Robotski manipulator s pneumatskim pogonom**

Zagreb, 2016.

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 2015./16.

## SADRŽAJ RADA

POPIS SLIKA .....	II
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA .....	V
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE .....	VI
1. UVOD.....	1
1.1. Što je pneumatika ? .....	1
1.2. Robotski manipulatori.....	3
2. PROJEKTIRANJE I IZRADA KONSTRUKCIJE MANIPULATORA .....	5
2.1. Opis strukture manipulatora.....	6
2.2. Izrada i spajanje elemenata za rotaciju manipulatora .....	8
2.2.1. Odabir remenskog prijenosa .....	8
2.2.1.1. Odabir remena.....	9
2.2.1.2. Izrada remenica.....	10
2.2.1.3. Odabir kugličnog ležaja za remenicu 2.....	13
2.2.1.4. Predzatezanje remena.....	14
2.2.1.5. Opis problema remenskog prijenosa.....	15
2.2.2. Spoj dvoradnog cilindra za dvostruku silu.....	15
2.3. Izrada i spajanje elemenata za translaciju manipulatora .....	18
2.3.1. Spoj standardnog kompaktnog cilindra s vođenjem .....	18
2.3.2. Spoj rotirajućeg cilindra s priteznim vijcima.....	19
2.3.3. Spoj vodilice na rotirajući cilindar.....	21
2.3.4. Spoj prihvatnice .....	22
2.3.4.1. Izrada hvataljke prihvatnice.....	23
2.4. Proračun opsega gibanja manipulatora .....	25
2.5. Prigušivač udara .....	27
2.6. Opis problema u procesu izrade konstrukcije manipulatora .....	28
3. IZVEDBA UPRAVLJAČKOG SUSTAVA MANIPULATORA .....	29
3.1. Komponente sustava .....	29
3.1.1. Pripremna grupa AWM30 – 03G – R.....	30
3.1.2. Regulator tlaka .....	31
3.1.2.1. Regulator tlaka ARM5A1 – SO1 .....	31
3.1.3. Pneumatski razvodnici .....	31
3.1.3.1. Elektromagnetski razvodnik za medije oznake VX2350K – 02F – 5D01 ...	32
3.1.4. Fieldbus jedinica EX250 – SEN1 s ventilskim blokom S07A0-5 .....	34
4. UPRAVLJANJE PNEUMATSKOG MANIPULATORA.....	36
5. PLANOVI ZA BUDUĆU NADOGRAĐNJU I PRIMJENU .....	44
ZAHVALA.....	46
LITERATURA.....	47
SAŽETAK.....	48
SUMMARY .....	49
ŽIVOTOPIS .....	50

## POPIS SLIKA

Slika 1. Pneumatski stroj za urezivanje navoja [1] .....	1
Slika 2. Stupnjevi slobode običnog manipulatora [4] .....	4
Slika 3. Stupnjevi slobode izrađenog pneumatskog manipulatora.....	5
Slika 4. CNC stroj za izradu dijelova manipulatora.....	6
Slika 5. Prikaz konstrukcije pneumatskog manipulatora .....	7
Slika 6. Spoj remenica i rotirajuće osovine na profilirani stol .....	8
Slika 7. Spoj cilindra i remenskog prijenosa na profilirani stol .....	9
Slika 8. Remen 260XL037 .....	9
Slika 9. Prikaz korištenog remena u automobilu [7].....	10
Slika 10. Remenica 1.....	11
Slika 11. Remenica 2 s kugličnim ležajem (donja strana remenice).....	11
Slika 12. Predložak za utore profiliranog stola .....	12
Slika 13. Remenica 2 s gornjim umetkom (gornja strana remenice) .....	12
Slika 14. Prikaz definiranih dimenzija kugličnog ležaja [8] .....	13
Slika 15. Spoj zategnutog remena na remenici 2 .....	14
Slika 16. Zatezanje remena preko matice.....	14
Slika 17. Spoj šipke za zatezanje remena.....	15
Slika 18. Nosač cilindra oznake MGZ63TF-150 .....	16
Slika 19. Spoj nosača cilindra za profilirani stol.....	16
Slika 20. Spoj klipa cilindra i remenskog prijenosa.....	17
Slika 21. Pločica s utorima za zupce remena .....	17
Slika 22. Spoj cilindra za translaciju .....	18
Slika 23. Prikaz prve pločice s lijeve strane i druge pločice s desne strane.....	18
Slika 24. Spoj rotirajuće osovine i cilindra MGPM25R-100 .....	19
Slika 25. Pločica spoja dva cilindra .....	20
Slika 26. Spoj cilindra C95SB50-100 .....	20
Slika 27. Vodilica cilindra C95SB50-100.....	21
Slika 28. Spoj prihvatnice s rotirajućim cilindrom .....	22
Slika 29. Pločica spoja prihvatnice i klipa cilindra .....	23
Slika 30. Prikaz rješenja pomoću zgloba .....	23
Slika 31. Hvataljka prihvatnice MHC2-20D.....	24
Slika 32. Primjer držanja predmeta hvataljkom .....	25
Slika 33. Prikaz opsega gibanja.....	26
Slika 34. Prikaz spoja prigušivača udara .....	27
Slika 35. Prigušivač RBC2015-X763.....	27
Slika 36. a) Shema rješenja s posudom ulja b) Shema rješenja s regulatorom protoka .....	28
Slika 37. Prikaz upravljačkog sustava pneumatskog manipulatora .....	29
Slika 38. Simbol pripreme grupe [10] .....	30
Slika 39. Priprema grupa AWM30.....	30
Slika 40. Manometar .....	30
Slika 41. Regulator tlaka ARM5A1 – SO1 .....	31
Slika 42. Simbol razvodnika VX2350K [11] .....	32
Slika 43. Razvodnik VX2350K.....	32
Slika 44. Električna shema upravljanja razvodnika VX2350K.....	33
Slika 45. Kontaktni elementi mirni (crveni) i radni (zeleni) s lijeve strane i dvostuko tipkalo s desne strane .....	34

---

Slika 46. Fieldbus uređaj EX250 – SEN1 s ventilskim blokom .....	34
Slika 47. Simbol razvodnika 3/2 [12].....	35
Slika 48. Prikaz upravljanja manipulatora pomoću računala .....	36
Slika 49. Konačni izgled izrađenog pneumatskog manipulatora .....	37
Slika 50. Početna pozicija manipulatora .....	38
Slika 51. Izvlačenje klipa cilindra s dvostrukim djelovanjem .....	39
Slika 52. Otvaranje hvataljki i izvlačenje klipa rotirajućeg cilindra .....	40
Slika 53. Povratak u početnu poziciju .....	41
Slika 54. Rotacija gibanjem klipa cilindra za dvostruku silu na drugu poziciju .....	42
Slika 55. Konačna pozicija premještenog predmeta .....	43
Slika 56. Prikaz PLC-a tvrtke Rockwell Automation [13].....	44
Slika 57. Mikrokontroler ATmega2560 [14] .....	44
Slika 58. Ethernet modul W5100 [15] .....	45

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Prikaz vrijednosti definiranih dimenzija kugličnog ležaja [8] .....	13
Tablica 2. Specifikacije izrađenog manipulatora .....	28

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$\alpha$	$^{\circ}$	Kut opsega gibanja manipulatora
$b$	mm	Širina remena
$d$	mm	Unutarnji promjer otvora ležaja
$g$	$m/s^2$	Gravitacijsko ubrzanje
$l$	mm	Duljina kraka polukružnice
$m$	kg	Masa predmeta
$p$	$N/mm^2$	Radni tlak
$r_1$	mm	Polumjer remenice 1
$z$	mm	Broj zubaca remena
$B$	mm	Širina ležaja
$D$	mm	Vanjski promjer ležaja
$F$	N	Sila prihvatnice
$L_1$	mm	Duljina remena koja zauzima polovicu remenice 1
$L_r$	mm	Ukupna duljina remena
$L_p$	mm	Duljina dohvatne točke prihvatnice
$O_1$	mm	Opseg remenice 1
$S$	-	Sigurnost sile prihvatnice

## **POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

BROJ CRTEŽA	Naziv iz sastavnice
1	Manipulator
2	Manipulator u dijelovima



## 1. UVOD

### 1.1. Što je pneumatika ?

Pneumatski elementi prisutni su danas u velikom broju pogona, najviše se koriste unutar tzv. male automatizacije, koja se odnosi na jednostavne automate u industriji, kao što su npr. jednostavni zadaci obavljanja rada cilindrom poput ljepljenja materijala na pokretnoj traci ili držanja drugih alata koji se koriste u industriji. Pneumatika je jednostavna za upotrebu, rješenja su u većoj mjeri univerzalna pa uglavnom koristi standardizirane elemente u pogonu. Kao radni medij pneumatika koristi stlačivi fluid – plin, najčešće zrak. Koristi se gdje je potrebna velika sigurnost pogona jer joj je radni medij nezapaljiv.



**Slika 1. Pneumatski stroj za urezivanje navoja [1]**

Jedan od oblika klasifikacije pneumatike izgleda ovako :

- Dijelovi pneumatskog sustava prema funkciji
  - dobivanje i razvod zraka
  - priprema zraka
  - izvršni pneumatski uređaji

- upravljački dijelovi
- upravljačko – signalni dijelovi
- pomoćni dijelovi

Elementi za proizvodnju i razvod zraka imaju zadatak radnim elementima osigurati dovoljnu količinu stlačenog zraka odgovarajućih parametara (kompresor, spremnik, cjevovodne mreže za razvod). Elementi za pripremu zraka obavljaju pripremu (kondicioniranje) zraka, što uključuje podmazivanje, čišćenje i regulaciju tlaka (filtrar, mazalica, regulator tlaka). Izvršni elementi su elementi koji obavljaju željene radnje u sustavu, odnosno mehanički rad (cilindri, motori). Upravljački elementi (ventili) upravljaju tokovima energije i informacija (signala). Upravljanje može biti u potpunosti pneumatsko, a najčešće se izvodi u kombinaciji s drugim medijem i elementima (električno). Upravljačko – signalni članovi imaju zadatak dobavljati informacije o stanju sustava (senzori, indikatori). Pomoćni elementi ispunjavaju različite dodatne funkcije (priključne ploče, prigušivači buke, brojači itd.)

- Svojstva pneumatskih sustava

- tlak zraka za napajanje 1 – 12 bar
- pogonske temperature zraka od -10 do 60 °C (maksimalno do 200 °C )
- optimalna brzina strujanja zraka 40 m/s
- gibanje elemenata : pravocrtno i rotacijsko
- brzina cilindra 1-2 m/s (maksimalno do 10 m/s )
- maksimalna ostvariva sila do 40 kN
- maksimalna snaga oko 30 kW

- Prednosti pneumatike

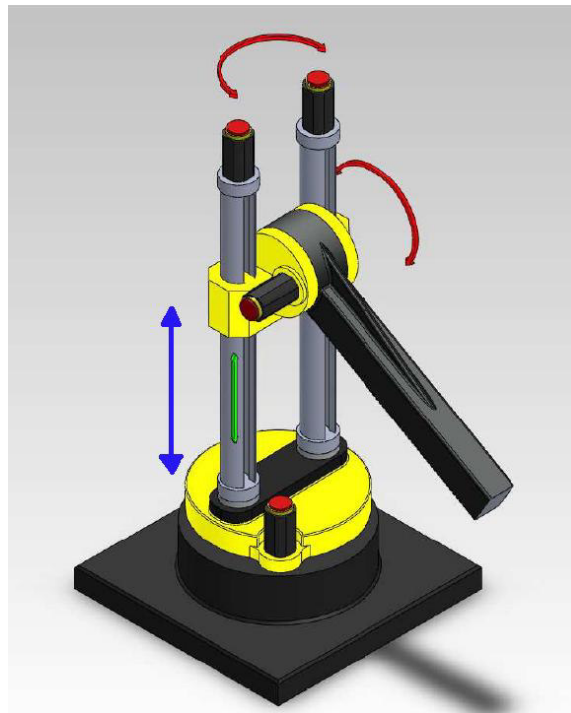
- radni medij (zrak) je uvijek na raspolaganju
- jednostavno se transportira kroz cijevi
- mogućnost skladištenja u spremnike
- neosjetljivost na promjene temperature i ekstremne uvjete
- neosjetljivost na magnetska i električna polja
- siguran jer nije eksplozivan niti zapaljiv radni medij

- ekološki prihvatljiv (ne zagađuje okoliš)
  - neosjetljivost na vibracije
  - trajnost i pouzdanost robusnih elemenata
  - jednostavna izvedba elemenata
  - jednostavno održavanje
  - brzine i hod podešavaju se i mijenjaju kontinuirano
  - promjenom tlaka lako se ostvaruje željena sila
- Nedostaci pneumatike
- ostvarive su relativno male sile
  - problem energije stlačenog zraka
  - buka prilikom ekspanzije
  - teško ostvariti jednolične male brzine elemenata zbog stlačivosti

U pneumatskim sustavima se kod temperatura stlačenog zraka manjim od  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  pojavljuju problemi sa zaleđivanjem, dok se kod temperatura većim od  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  pojavljuje problem brtvljenja. Pneumatski sustav obuhvaća komponente koje upravljaju smjerom strujanja, protokom i tlakom zraka, kao i komponente koje vrše pretvorbu energije. Osim pretvorbe u mehanički rad, pneumatski sustav često obavlja ulogu upravljanja, odnosno regulacije. [2]

## 1.2. Robotski manipulatori

Manipulatori su mehanizmi s otvorenim kinematičkim lancem, pogonjeni pneumatskim, hidrauličkim ili električnim prigonima. Kinematička struktura za jednostavnu izvedbu manipulatora koji služi za premještanje radnih predmeta određena je uglavnom s dva, tri ili četiri stupnja slobode gibanja. Omogućuju dovođenje ili slaganje predmeta s obzirom na zadane pozicije unutar radnog prostora. Ovisno o strukturi manipulatora i zadatku koji izvode ostvaruju se različita gibanja predmeta. [3]



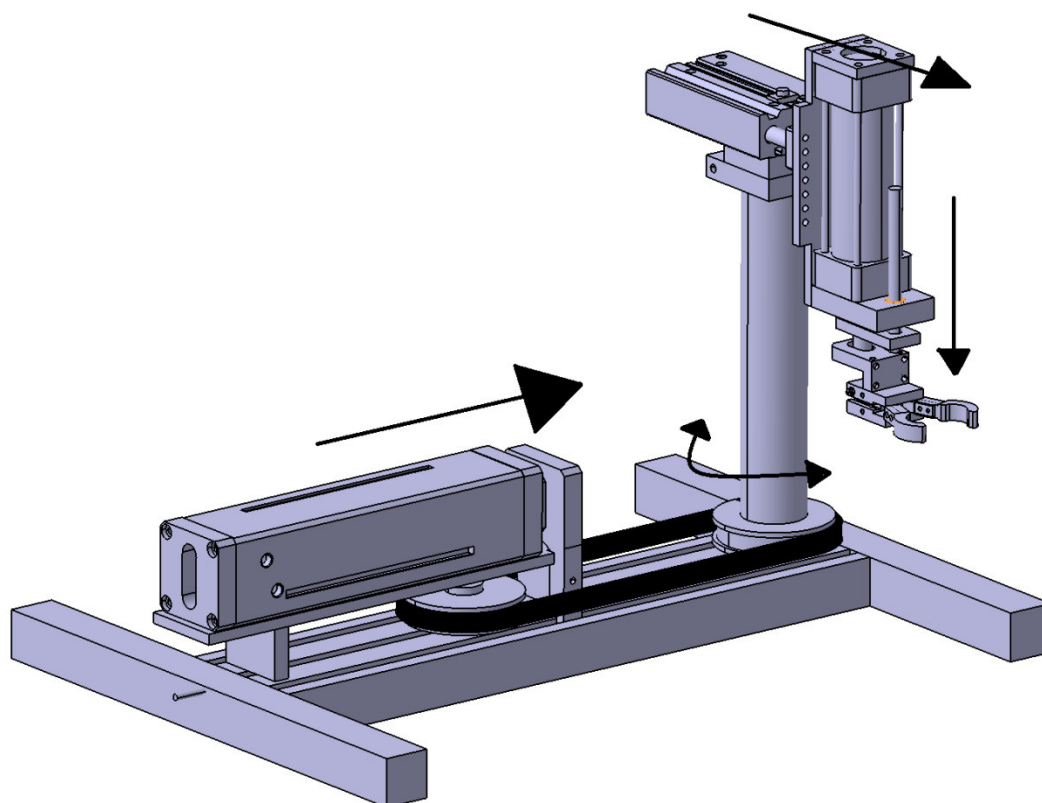
**Slika 2. Stupnjevi slobode običnog manipulatora [4]**

Na slici 2. prikazan je manipulator s kvazicilindričnom strukturom (RTR), što znači da će se gibati redom rotacija – translacija – rotacija. Naravno, postoje i druge izvedbe manipulatora koje se ostvaruju kombinacijom različitih kretanja (rotacija, translacija) u različitim ravninama. Danas se većinom proizvode manipulatori u modularnoj izvedbi, što omogućava ostvarivanje različitih kinematičkih struktura jednostavnim preslagivanjem pokretnih elemenata. Upravljanje kretanjem manipulatora može se izvesti pomoću pneumatskih i električnih digitalnih logičkih elemenata, ručno pomoću električnih sklopki (radni ili mirni kontakti) ili najčešće preko PLC-a (programabilni logički kontroler), koji za razliku od računala koje ima niz složenih programskih operacija, obavlja radnju kroz jednostavne logičke signale (0/1) u vrlo kratkim vremenskim intervalima. Struktura mu je dvoznačna (DA/NE), odnosno binarno 0 ili 1.

Za razliku od industrijskih robota, manipulatori mogu obavljati zadatke jednako uspješno kao i industrijski roboti a da pritom zauzimaju puno manje prostora i puno su jeftiniji i jednostavniji, ali zato se ne mogu jako precizno upravljati.

## 2. PROJEKTIRANJE I IZRADA KONSTRUKCIJE MANIPULATORA

Projektiranje pneumatskog manipulatora uvelike je ovisilo o njegovoj primjeni, ali i o zahtjevima za potrebnim materijalima bez kojih sustav ne može funkcionirati. U ovom slučaju smo se odlučili za izradu što jednostavnijeg i investicijski što povoljnijeg manipulatora koji će imati zadaću premještanja laganih predmeta s jednog mjesta na drugo unutar opsega radnog područja manipulatora (engl. Pick & Place). Cilj nam je bio konstruirati manipulator sa što manje dijelova i što jednostavnijom funkcijom. Stupnjevi slobode pneumatskog manipulatora prikazani su na slici 3. projektiranog u programskom paketu Catia.



**Slika 3. Stupnjevi slobode izrađenog pneumatskog manipulatora**

Kao što se vidi na slici imamo tri stupnja slobode gibanja, zato što se u jedan stupanj ubraja pretvorba translacije dvoradnog cilindra u zakretno gibanje rotirajuće osovine.

Struktura manipulatora je cilindrična, što znači da će mu gibanje biti redosljedom rotacija – translacija – translacija (R T T). Gotovo svi dijelovi konstrukcije koji su služili za međusobno povezivanje cilindara, za omogućavanje gibanja ili su služili kao nosači izrađivali su se na troosnom CNC stroju.

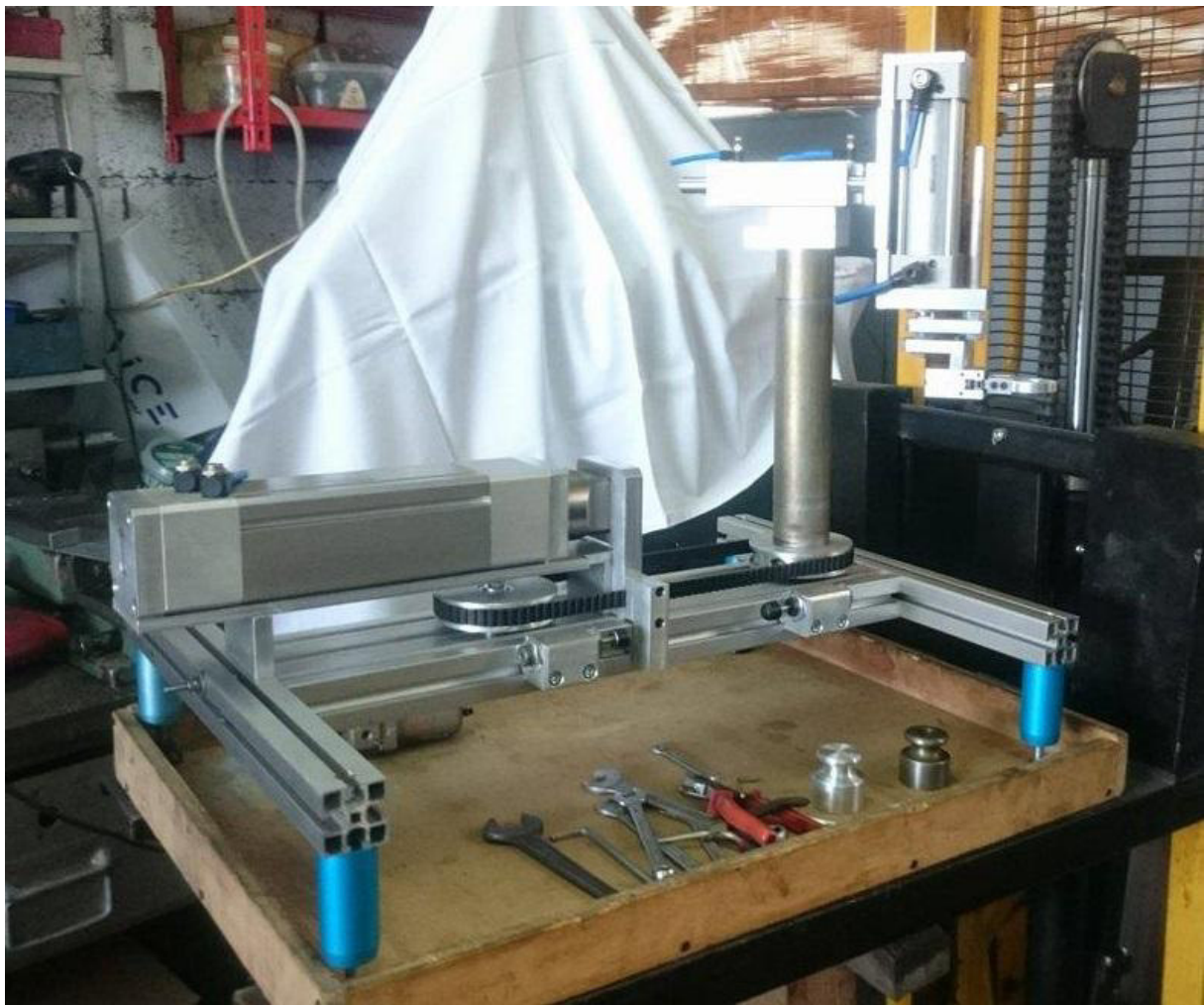


**Slika 4. CNC stroj za izradu dijelova manipulatora**

## 2.1. Opis strukture manipulatora

Jedan od najvećih problema bila je izrada konstrukcije manipulatora, zbog ograničenih dijelova koji su se koristili u manipulatoru. Bitno ograničenje predstavljao je nedostatak investicijskih sredstava, pa smo morali iskoristiti elemente koji su se već prije koristili u različitim pogonima, radi obavljanja neke druge funkcije. Također izradili smo potrebne elemente koji su služili kao nosači ili za spajanje konstrukcije od materijala različitih profila koji nam je bio dostupan. Na slici 5. prikazana je konstrukcija manipulatora koji je izrađen s dostupnim elementima za obavljanje funkcije prenošenja radnih predmeta.





**Slika 5. Prikaz konstrukcije pneumatskog manipulatora**

Potrebni elementi koji su se koristili u izradi pneumatskog manipulatora su :

- Profilirani stol dimenzija  $640 \times 150$  s pomoćna dva nastavka i nogicama
- Rotirajuća osovina
- Dvije remenice i remen
- Dvoradni cilindar za dvostruku silu oznake MGZ63TF-150
- Standardni kompaktni cilindar s vođenjem oznake MGPM25R-100
- Rotirajući cilindar s priteznim vijcima oznake C95SB50-100
- Pihvatnica oznake MHC2-20D
- Hvataljka
- Dva prigušivača udara oznake RBC2015-X763

## 2.2. Izrada i spajanje elemenata za rotaciju manipulatora

Rotacija pneumatskog manipulatora ostvarena je remenskim prijenosom, kao što je prikazano na slici 6.



Slika 6. Spoj remenica i rotirajuće osovine na profilirani stol

### 2.2.1. Odabir remenskog prijenosa

U izradi manipulatora odabrano je korištenje remenskog prijenosa iz razloga što remenski prijenos spada u najjeftinije prijenosnike snage. Prednosti i nedostaci remenskog prijenosa [5] :

Prednosti remenskog prijenosa :

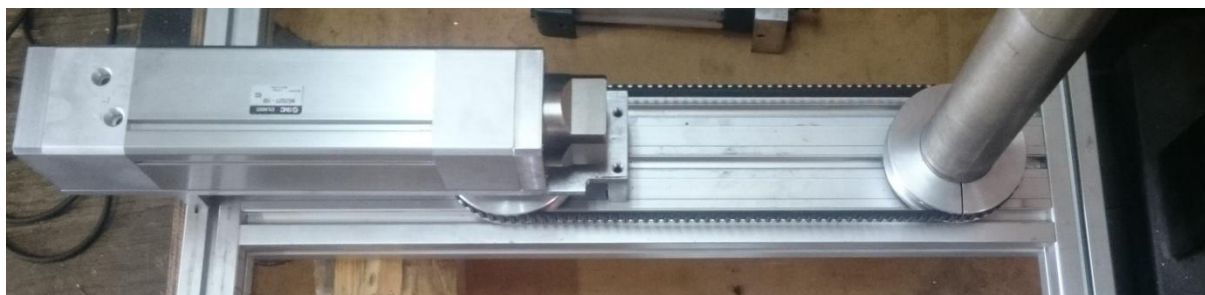
- Najpovoljniji po cijeni
- Laka mogućnost nabave remena
- Jednostavnost
- Pouzdanost
- Dobro prigušuje vibracije
- Miran i bez buke u radu, za razliku od ostalih vrsta prijenosa
- Neosjetljivost na netočnost položaja osi

Nedostaci remenskog prijenosa :

- Zauzimaju relativno puno prostora
- Potrebno je kontrolirati napetost remena
- Velike radijalne sile na remenicama

Cilj je bio linearno gibanje pneumatskog dvoradnog cilindra za dvostruku silu koji je posebnim elementima spojen na remen pretvoriti u kružno gibanje rotirajuće osovine preko remenica. Slika 7. prikazuje spoj cilindra na profilirani stol i spoj remenskog prijenosa.





**Slika 7. Spoj cilindra i remenskog prijenosa na profilirani stol**

#### 2.2.1.1. Odabir remena

Odabir remena je ovisio o hodu klipa cilindra i polumjera remenice preko kojeg se dobiva radni opseg okretaja manipulatora. Zadan nam je bio promjer remenica koji iznosi  $\Phi 100$  mm, koji je određen tako da se zadovolji zahtjev da zategnuti remen bude odmah nakon utora profiliranog stola. Razlog tomu je što smo kasnije u izradi spoja klipa cilindra za dvostruku silu MGZ63TF-150 i remenskog prijenosa izradili pločicu koja je na jednom kraju spojena na klip cilindra, dok je drugi kraj umetnut u utor profiliranog stola radi sigurnosti da nam se giba po ravnini. Cilj je bio nabaviti dovoljno dugačak remen da se može iskoristiti 150 mm hoda klipa cilindra. Na raspolaganju smo imali remen 260XL037 firme Goodyear koji je napravljen od sintetičke gume. Remen je prikazan na slici 8.



**Slika 8. Remen 260XL037**

Potrebne veličine za remen uzete iz tablica [6] specifikacija po vrsti serijske proizvodnje koju je definirao proizvođač :

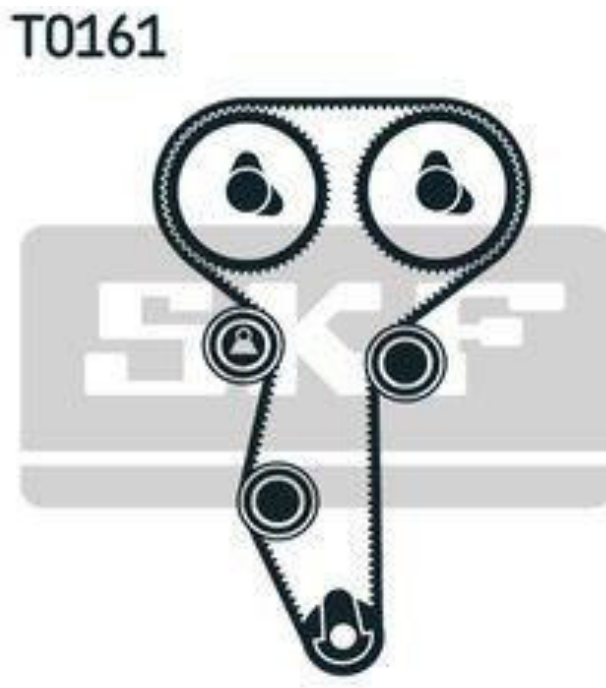
- $b = 9.525$  mm
- $L_r = 660$  mm

- $z = 130$

gdje su :

- $b$  – širina remena
- $L_r$  – ukupna duljina remena
- $z$  – broj zubaca

Problem ovakvog remena je bila premala duljina remena, te je bilo potrebno odabrati novi remen kako bi zadovoljili traženu duljinu remena. Pošto nam je cilj bio investicijski što jeftinije izraditi manipulator, odabran je remen koji je bio korišten u automobilu tvrtke Renault koji je povezivao radilicu i bregastu osovinu motora.



**Slika 9. Prikaz korištenog remena u automobilu [7]**

#### 2.2.1.2. Izrada remenica

Na slikama 10. i 11. prikazane su izrađene remenice.



**Slika 10. Remenica 1**

Remenicu 1 je trebalo konstruirati tako da se uspije spojiti na rotirajuću osovinu i pričvrstiti je tako što smo postupkom odvajanja čestica glodanjem uklonili 2 mm remenice po duljini, kao što je prikazano na slici 10. Nakon toga smo s jedne bokocrtne strane kod uklonjenog dijela narezali unutarnji navoj, dok smo s druge strane postupkom odvajanja materijala bušenjem samo napravili rupu da može proći vijak navoja M6, pritom se trebalo paziti da rupa bude dovoljnog promjera da uđe glava vijka. Time smo vijčanim spojem pričvrstili remenicu 1 na rotirajuću osovinu.



**Slika 11. Remenica 2 s kugličnim ležajem (donja strana remenice)**

Remenice su izrađene posebnim postupkom obrade odvajanjem čestica na tokarilici, nakon čega su spojene s potrebnim elementima i pričvršćene na konstrukciju.

Za izradu remenice 2 umjesto osovine koja je trebala biti fiksirana za profilirani stol, odabrano je rješenje pričvršćenja preko podložaka koji je takvih dimenzija da stane u utor profiliranog stola, čime smo ga pričvrstili vijčanim spojem za stol.



**Slika 12. Predložak za utore profiliranog stola**

Istim vijčanim spojem pričvrstili smo preko dva umetka remenicu 2 kojoj je preko kugličnog ležaja bila omogućena rotacija.



**Slika 13. Remenica 2 s gornjim umetkom (gornja strana remenice)**

### 2.2.1.3. Odabir kugličnog ležaja za remenicu 2

Odabir kugličnog ležaja je bio vrlo jednostavan zato što nemamo velika opterećenja, gdje nam on služi za velike nosivosti pri malim dimenzijama.

Na raspolaganju smo imali kuglični ležaj 6(0)305 od tvrtke SKF, na temelju oznake definirane su njegove vrijednosti :

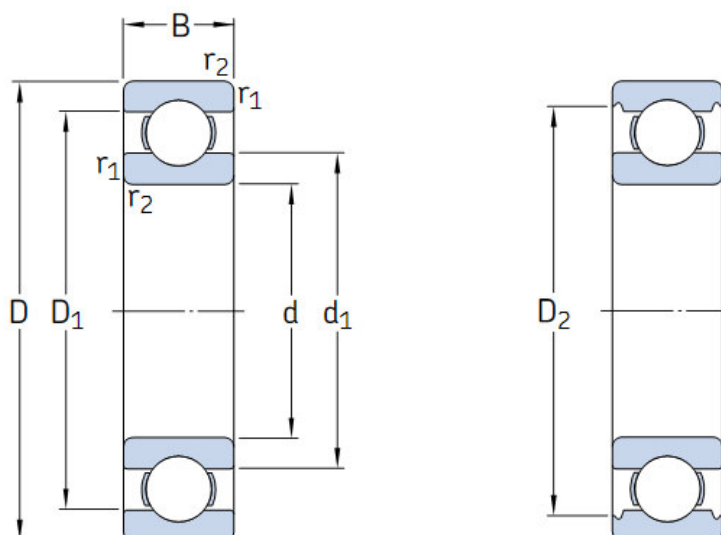
- 6 – tip ležaja – jednoredni kuglični radijalni ležaj
- 0 – red promjera
- 3 – red širine
- 05 – unutarnji promjer dijeljen s 5 ( $d = 25 \text{ mm}$ )

Potrebne veličine koje su definirane iz SKF-ovog kataloga [8] prikazani su u narednoj tablici 1. i slici 14.

Prikaz vrijednosti dimenzija kugličnog ležaja 6305 :

**Tablica 1. Prikaz vrijednosti definiranih dimenzija kugličnog ležaja [8]**

d [mm]	D [mm]	B [mm]	Masa [kg]	$d_1$ [mm]	$D_1$ [mm]	$D_2$ [mm]	$r_{1,2}$ [min]
25	62	17	0,23	36,6	50,4	52,7	1,1



**Slika 14. Prikaz definiranih dimenzija kugličnog ležaja [8]**

#### 2.2.1.4. Predzatezanje remena



**Slika 15. Spoj zategnutog remena na remenici 2**

Potrebno predzatezanje remena ostvarili smo primjenom postupka zatezanja remena. Zatezanje remena se izvodilo pomicanjem remenice 2 priteznicima, pritezali smo ih sve do trenutka dok nismo dobili zadovoljavajuću nategnutost remena. Na slikama 15. i 16. je prikazan zategnuti remen.



**Slika 16. Zatezanje remena preko matice**

Postupak zatezanja se izvodio tako što smo u predložak za utor profiliranog stola (slika 12. str 12.) narezali unutrašnji navoj i spojili sa šipkom kojoj smo također narezali navoj. Šipka nam je služila kao priteznik, dok smo na drugom kraju šipke također narezali navoj i stavili dvije matice, čime smo dobili vijčani spoj. Jednom maticom smo pritezali remen, kada smo ga pritegnuli dovoljno jako, drugom maticom smo pričvrstili spoj prve matice. U spoju smo



koristili podlošku osiguranja koja služi da bi se izbjeglo povećanje potrebnog momenta pritezanja. Nakon zatezanja remena, vijčanim spojem smo pričvrstili do kraja remenicu 2, čime smo je fiksirali za stol sa zategnutim remenom.



**Slika 17. Spoj šipke za zatezanje remena**

#### *2.2.1.5. Opis problema remenskog prijenosa*

Remen koji smo imali na raspolaganju služi za zupčani prijenos gdje se snaga prenosi oblikom zubaca. Pošto je izrada utora za zupce na remenicama investicijski skup i zahtjeva veliku točnost oblika i vrijeme za izradu, odlučili smo se koristiti njegovom suprotnom stranom gdje nam se snaga prenosi putem trenja što znači da imamo tarni remenski prijenos. Problem koji se može javiti prilikom gibanja remena je taj da dođe do proklizavanja. Rješenje ovakvog problema može se riješiti pričvršćenjem remena sa zatikom ili vijkom na remenicu gdje treba paziti da hod klipa cilindra odgovara spoju zatika ili vijka na duljini remena na remenici.

#### *2.2.2. Spoj dvoradnog cilindra za dvostruku silu*

Cilindar oznake MGZ63TF-150 služio je kao izvor snage koja se prenosi preko remenskog prijenosa translacijskim gibanjem klipnjače cilindra. Potrebno je bilo izraditi odgovarajućim dijelovima nosač za cilindar koji je spojen na profilirani stol i spoj klipnjače cilindra s remenskim prijenosom.

Izrada nosača izrađivala se po mjerama cilindra, gdje su se postupkom odvajanja glodanjem obrađeni elementi spajali na prednji i stražnji dio cilindra i pričvršćivali vijčanim spojem. Slika 18. prikazuje spojeni nosač sa cilindrom preko prednje i stražnje pločice.



**Slika 18. Nosač cilindra oznake MGZ63TF-150**

Nakon spajanja cilindra na nosač, potrebno je bilo spojiti nosač za profilirani stol. Ideja je bila da se cilindar nalazi iznad remenice 2 tako da nam bude što jednostavnija konstrukcija spoja klipa cilindra na remenski prijenos i da pritom ne zauzima puno prostora. Slika 19. nam prikazuje spoj nosača za profilirani stol.



**Slika 19. Spoj nosača cilindra za profilirani stol**

Na taj način je preko nosača spojen cilindar na profilirani stol. Nakon toga izrađena je konstrukcija spoja klipa cilindra MGZ63TF-150 i remenskog prijenosa. Spoj je ostvaren tako da smo preko 4 unutarnja navoja klipa cilindra spojili pločicu koja je dovoljno dugačka da je ušla u utor profiliranog stola, što nam je služilo kao nekakva vrsta vodilice po čemu se pločica

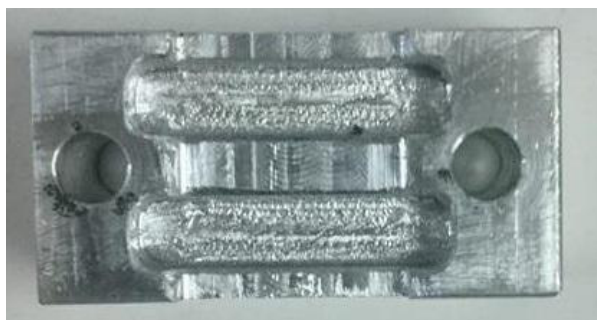


gibala i radi sigurnosti da nam remen bude dovoljno čvrsto spojen i da se pritom giba po pravcu.



**Slika 20. Spoj klipa cilindra i remenskog prijenosa**

Kao što je na slici 20. prikazano, vidimo pločicu koja je s dva vijka pričvršćena na pločicu klipnjače cilindra, čime smo osigurali spoj pločice i remenskog prijenosa. Pločicu s kojom smo spojili remenski prijenos bilo je malo teže za izraditi pošto su nam s vanjske strane bili zupci remena, te smo morali na pločici napraviti dva utora na koje su ušli zupci remena. Pločica je izrađena po koraku remena od 10 mm. Drugo rješenje nam je bilo da ne radimo dva utora za zupce remena, nego da preko pločice spojimo 3 zatika na remen koji bi nam zamjenjivali zubac, ali odabrali smo prvo rješenje zato što nam je jednostavnije bilo za izraditi.



**Slika 21. Pločica s utorima za zupce remena**

### 2.3. Izrada i spajanje elemenata za translaciju manipulatora

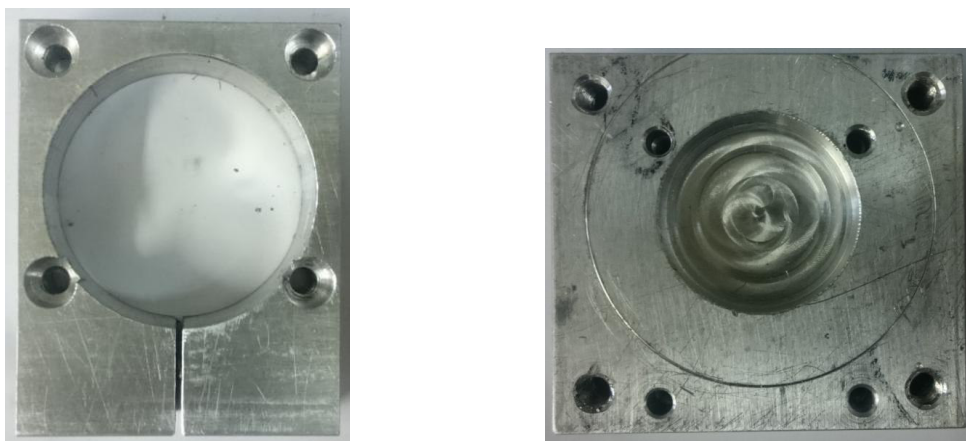
Nakon spajanja elemenata preko kojih smo omogućili rotaciju, trebali smo izraditi sustav koji nam omogućuje dvije translacije manipulatora. Translacije smo omogućili korištenjem standardnog kompaktnog cilindra s vođenjem oznake MGPM25R-100 i rotirajućeg cilindra s priteznim vijcima oznake C95SB50-100 kao što je prikazano na slici 22.



Slika 22. Spoj cilindara za translaciju

#### 2.3.1. Spoj standardnog kompaktnog cilindra s vođenjem

Cilindar oznake MGPM25R-100 koji nam omogućuje translaciju, odnosno povećava nam radni opseg za 100 mm spojen je na rotirajuću osovinu preko dvije pločice. Pločice su izrađene na CNC stroju i prikazane su na slici 23.



Slika 23. Prikaz prve pločice s lijeve strane i druge pločice s desne strane

Spoj je ostvaren tako da smo izradili dvije pločice, gdje nam je prva pločica spojena na rotirajuću osovinu tako da smo joj postupkom odvajanja čestica izrezali na jednoj strani 2 mm, kako bi lakše ušla u spoj i pričvrstili je vijčanim spojem. Druga pločica se vijčanim spojem pričvrstila na prvu pločicu, gdje smo u sredini pločice postupkom odvajanja čestica glodanjem urezali dovoljno duboko da ne bi došlo do dodira fiksiranog dijela rotirajuće osovine. Cilindar MGPM25R-100 smo pričvrstili vijčanim spojem na drugu pločicu kao što je prikazano na slici 24.



**Slika 24. Spoj rotirajuće osovine i cilindra MGPM25R-100**

### ***2.3.2. Spoj rotirajućeg cilindra s priteznim vijcima***

Spoj je ostvaren tako da smo izradili pločicu koja je spojena vijčanim spojem na klip cilindra MGPM25R-100. Pločica je izrađena da osigurava pravocrtno gibanje cilindra C95SB50-100. Dodatno smo postupkom odvajanja bušenjem napravili rupe i urezali unutrašnje navoje M6 duž ruba pločice koje su bile međusobno udaljene korakom unutrašnjih navoja klipa cilindra MGPM25R-100 od 13 mm po rupi, odnosno 26 mm po koraku, čime smo ostvarili podešavanje cilindra C95SB50-100 po duljini. Pločica spoja dva cilindra prikazana je na slici 25.



**Slika 25. Pločica spoja dva cilindra**

Dodatno smo izradili dva nosača na CNC stroju postupkom odvajanja čestica i bušenja, koje smo vijčanim spojem spojili na pločicu koja je spojena duž ruba cilindra C95SB50-100 na cilindar MGPM25R-100. Nosači su spojeni na prednji i stražnji dio cilindra vijčanim spojem, kao što je prikazano na slici 26.

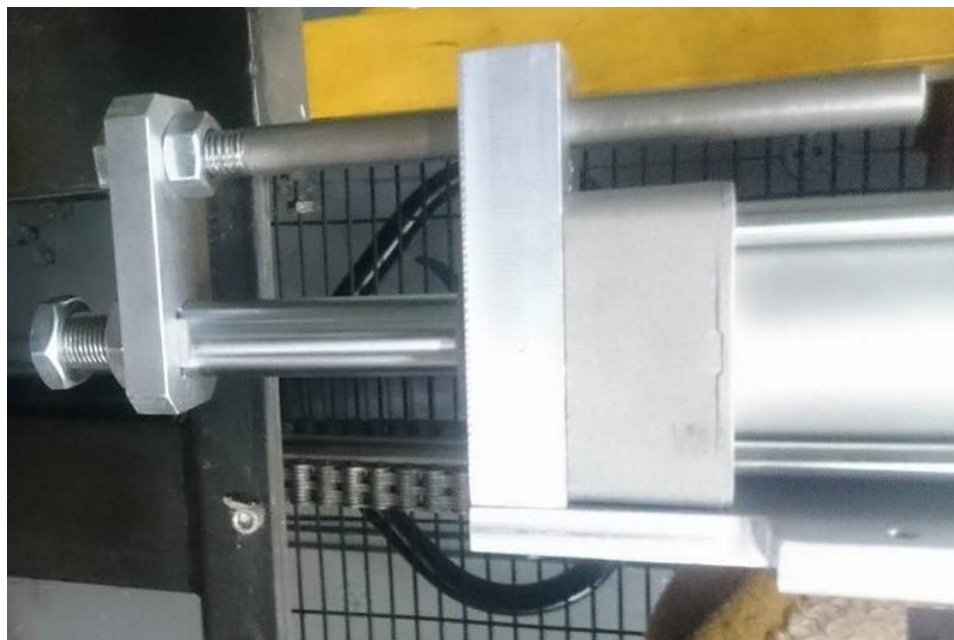


**Slika 26. Spoj cilindra C95SB50-100**

### 2.3.3. Spoj vodilice na rotirajući cilindar

Vodilicu smo izradili zato što klip cilindra C95SB50-100 rotira tijekom gibanja. Vodilica služi da spriječi rotaciju klipa cilindra tako što smo na prednji nosač dodatno postupkom odvajanja glodanjem napravili rupu, ona je fino obrađena s tolerancijom H9 zato što smo morali ostvariti stezni spoj s čahurom koja je za razliku od ostalih aluminijskih materijala spajanja izrađena od bronce.

Stezni spoj prednjeg nosača cilindra i čahure smo koristili iz razloga da nam tokom rada vodilica ne ošteti prednji nosač cilindra pošto bi silom svog gibanja odvajala čestice materijala prednjeg nosača cilindra, zato nam i služi bronca pošto je ona puno otpornija od aluminijska.



**Slika 27. Vodilica cilindra C95SB50-100**

Stezni spoj je investicijski povoljan i jednostavan za izradu, a njime se dobivaju izdržljivi i protiv vibracija sigurni spojevi koji mogu prenositi velika dinamička i udarna opterećenja. [5] U našem slučaju smo koristili uzdužni mehanički formirani spoj koji se postiže uprešavanjem pri temperaturi okoline pomoću montažnih alata. Radi lakšeg uprešavanja morali smo osigurati da na spojnim dijelovima ne bude oštih rubova i naglih prijelaza što smo riješili skošenjem rubova.

Vodilica je izrađena od prokroma, odnosno od nehrđajućeg čelika gdje smo joj na jednoj strani narezali navoj i vijčano spojili s pločicom koja je spojena na klip cilindra, spoj smo



pritegnuli pomoću dvije matice koji nam služi radi sigurnosti da ne bi došlo do popuštanja spoja.

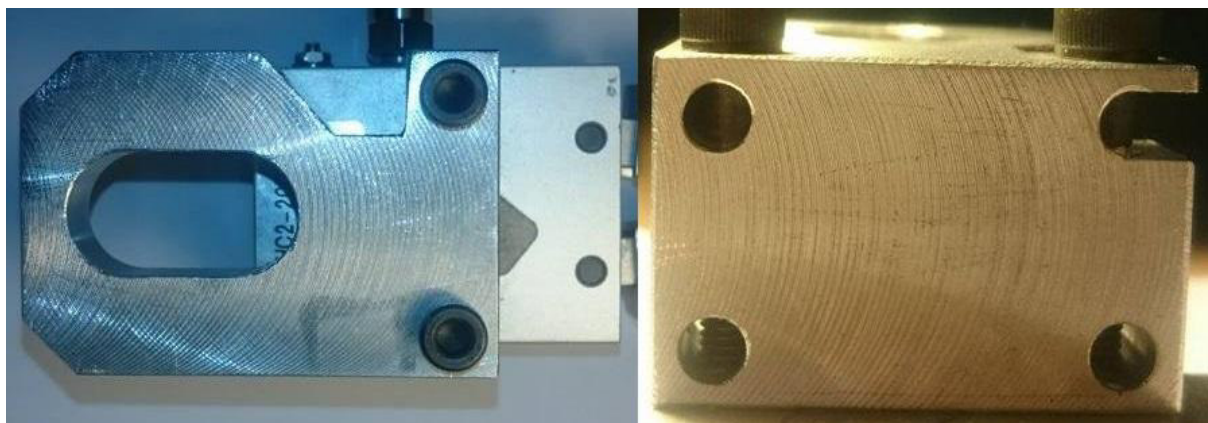
#### 2.3.4. Spoj prihvatnice



**Slika 28. Spoj prihvatnice s rotirajućim cilindrom**

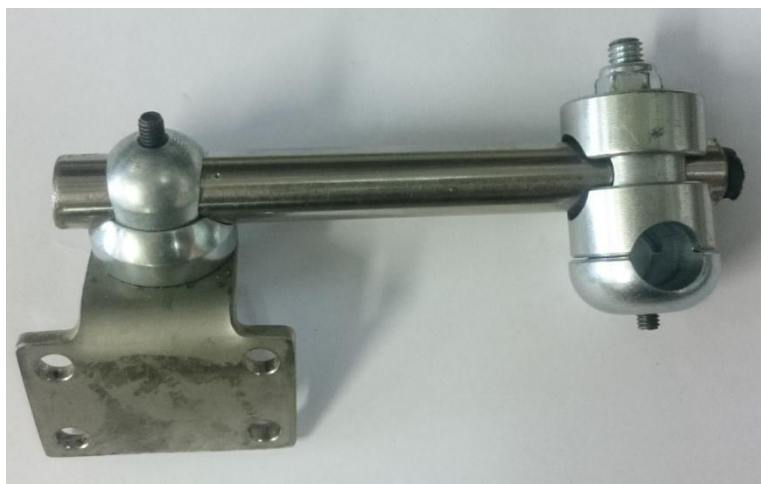
Spoj prihvatnice smo ostvarili pomoću pločice koja povezuje prihvatnicu i klip rotirajućeg cilindra. Pločicu smo izradili tako da je možemo spojiti na stražnji dio prihvatnice i gornji dio prihvatnice gdje smo dobili mogućnost podešavanja udaljenosti prihvatnice od klipa cilindra, kao što je prikazano na slici 28. gdje lijeva strana prikazuje

spoj s gornjim dijelom prihvatnice, dok desna strana prikazuje spoj stražnjeg dijela prihvatnice.



**Slika 29. Pločica spoja prihvatnice i klipa cilindra**

Drugo rješenje je bilo korištenje zgloba gdje bi pomoću dvije osovine pričvrstili jedan dio s klipom cilindra, a drugi dio s prihvatnicom te bi tako mogli podešavati poziciju prihvatnice neovisno o radnom opsegu manipulatora. Radi kompliciranije vrste spoja i nedovoljne sigurnosti spoja nismo se odlučili za ovako rješenje. Na slici 30. je prikazan zglob kao jedno od mogućih rješenja.

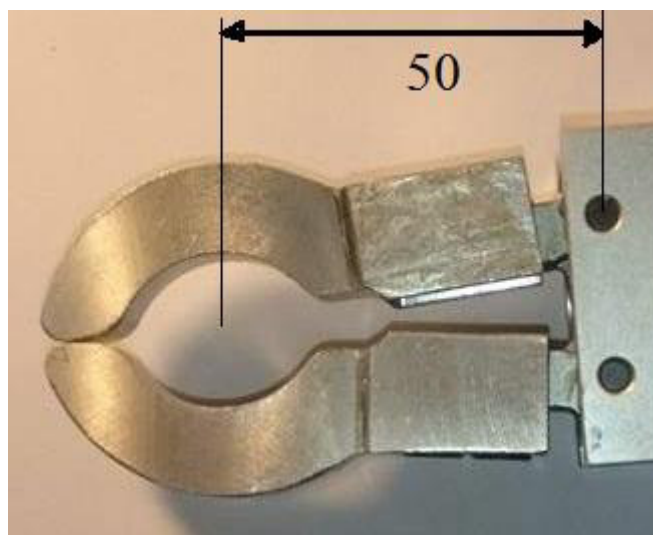


**Slika 30. Prikaz rješenja pomoću zgloba**

#### *2.3.4.1. Izrada hvataljke prihvatnice*

Prilikom izrade hvataljke potrebno je obratiti pozornost da joj duljina dohvatne točke bude manja od 60 mm, radi sigurnosti. Hvataljka je izrađena na CNC stroju obradom odvajanja glodanjem.

Cilj je bio izraditi hvataljku da prenosi različite oblike predmeta, gdje se trebalo pripaziti da prilikom ispuštanja materijala hvataljka prihvatnice bez ometanja predmeta izađe iz pozicije ispuštanja predmeta. Izgled hvataljke prihvatnice s dohvatnom točkom prikazana je na slici 31.



**Slika 31. Hvataljka prihvatnice MHC2-20D**

Sa slike je vidljivo da duljina dohvatne točke iznosi 50 mm. Na temelju tog podatka možemo izračunati nosivost radnog predmeta. Računamo s radnim tlakom koji iznosi 0.5 MPa (5 bar).

Zadano :  $L_p = 50 \text{ mm}$ ,  $p = 0.5 \text{ MPa}$ ;

Na temelju dva zadana podatka odredimo iz dijagrama [9] silu prihvatnice koja iznosi 15 N, pomoću sile prihvatnice uz faktor sigurnosti koji iznosi 2, izračunamo maksimalnu nosivost za izrađenu hvataljku za zadani radni tlak prema formuli :

$$F = 2 \times mg$$

$$m = \frac{15}{2 \times 9.81}$$

$$m = 0.76 \text{ kg} = 760 \text{ g}$$

Maksimalna nosivost za radni tlak od 0.5 MPa iznosi 0.76 kg, što je poprilično malo i služi za prebacivanje vrlo laganih predmeta, npr. drvene ili plastične kuglice ili aluminijski oblici koji su jednostavnih dimenzija i vrlo male mase. Dok u industriji može služiti npr. za operacije premještanja staklene ili plastične ambalaže, ili druge slične zadatke.



Na slici 32. je prikazan primjer gdje hvataljka drži posebno izrađen aluminijski predmet koji teži 0.35 kg.



Slika 32. Primjer držanja predmeta hvataljkom

#### 2.4. Proračun opsega gibanja manipulatora

Opseg gibanja rotacijskog stupnja manipulatora možemo izračunati na dva načina. Prvi način računanja je preko opsega remenice 1, gdje imamo zadan polumjer i pomoću njega izračunamo opseg remenice 1 i duljinu remena koju zauzima opseg remenice 1.

Zadano:  $r_1 = 50 \text{ mm}$ .

Izračun opsega remenice 1:

$$O_1 = 2r_1\pi$$
$$O_1 = 2 * 50 * \pi$$
$$O_1 = 314.16 \text{ mm}$$

Preko opsega remenice 1 možemo izračunati duljinu remena koja zauzima remenicu 1:

$$L_1 = \frac{O_1}{2}$$
$$L_1 = \frac{314.16}{2}$$
$$L_1 = 157 \text{ mm}$$

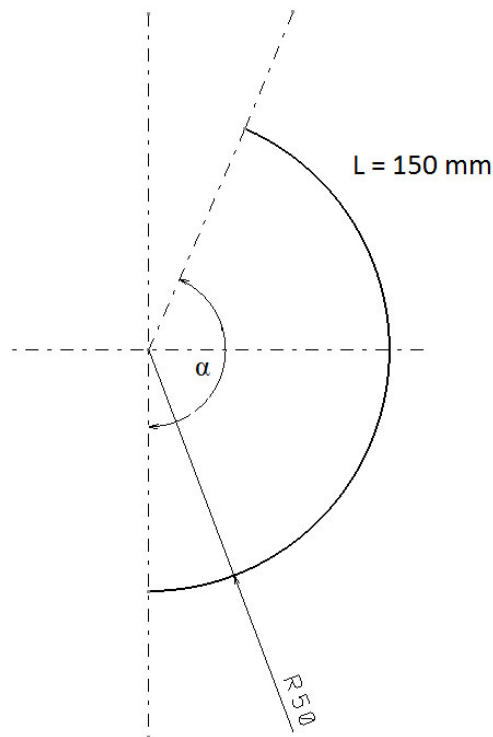
Pošto imamo hod klipa cilindra od 150 mm, opseg gibanja će nam biti malo manji od  $180^\circ$ . Opseg gibanja izračunamo preko duljine luka polovice kružnice koja je jednaka hodu klipa cilindra od 150 mm.

Duljina luka kružnice :

$$l = \frac{r_1 \pi \alpha}{180^\circ}$$

Gdje su :

- $l$  – duljina kraka polukružnice
- $\alpha$  – kut opsega gibanja
- $r_1$  – polumjer remenice 1



Slika 33. Prikaz opsega gibanja

$$\alpha = \frac{l \times 180^\circ}{r_1 \pi}$$
$$\alpha = \frac{150 \times 180^\circ}{50 \pi}$$
$$\alpha = 171.88^\circ$$

Kut opsega gibanja iznosi  $171.88^\circ$ , dok opseg gibanja u ovom slučaju je od  $-90^\circ$  do  $81.88^\circ$ . Opseg gibanja će ovisiti o položaju, tj. definiranju koordinatnog sustava, ali će uvijek djelovati u opsegu od  $171.88^\circ$ .

Drugi način ujedno služi i za provjeru, a izračunava se preko omjera:

$$\frac{157}{180^\circ} = \frac{150}{\alpha}$$

$$\alpha = \frac{150 \times 180^\circ}{157}$$

$$\alpha = 171.97^\circ$$

## 2.5. Prigušivač udarca

Dodatno je u sustav ugrađen u početnom i konačnom stanju gibanja cilindra za dvostruku silu apsorber, odnosno prigušivač udarca koji je prikazan na slici 34. iz razloga da nam u slučaju puštanja prevelikog tlaka u sustav i velike brzine gibanja klipa cilindra ne dođe do oštećenja spojeva prilikom postizanja najvećeg hoda klipa cilindra.



**Slika 34. Prikaz spoja prigušivača udarca**

Prigušivač udarca služi kao otpor ili sigurnost prilikom takvih slučajeva koji će svojim djelovanjem usporiti gibanje klipa cilindra svojom silom i time spriječiti oštećenja.

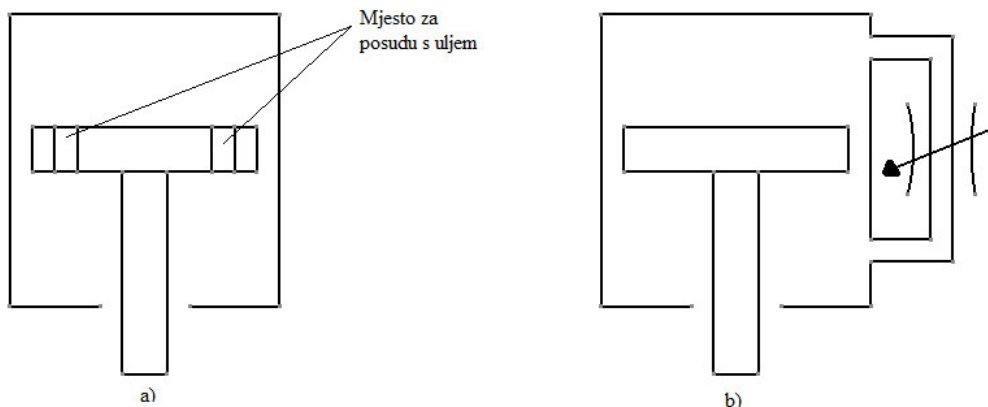
Na raspolaganju smo imali prigušivač oznake RBC2015-X763 koji je dovoljno čvrsto izrađen tako da se direktno može spojiti u sustav, bez dodatnih spojeva između prigušivača i klipa cilindra MGZ63TF-150. On u sebi ima ugrađenu oprugu koja prigušuje udarce.



**Slika 35. Prigušivač RBC2015-X763**

Druga rješenja su bila puno kompliciranija i tehnički puno teže izvediva. Jedno od rješenja je bilo izvaditi klip cilindra i ugraditi mu posudu s uljem (Slika 36. pod a) ) gdje bi se pri kraju

hoda radi gustoće ulja ublažio udar ili da odvod zraka spojimo preko prigušnice na dovod zraka čime bismo spriječili naglo kretanje i zaustavljanje (Slika 36. pod b) ).



**Slika 36. a) Shema rješenja s posudom ulja b) Shema rješenja s regulatorom protoka**

## 2.6. Opis problema u procesu izrade konstrukcije manipulatora

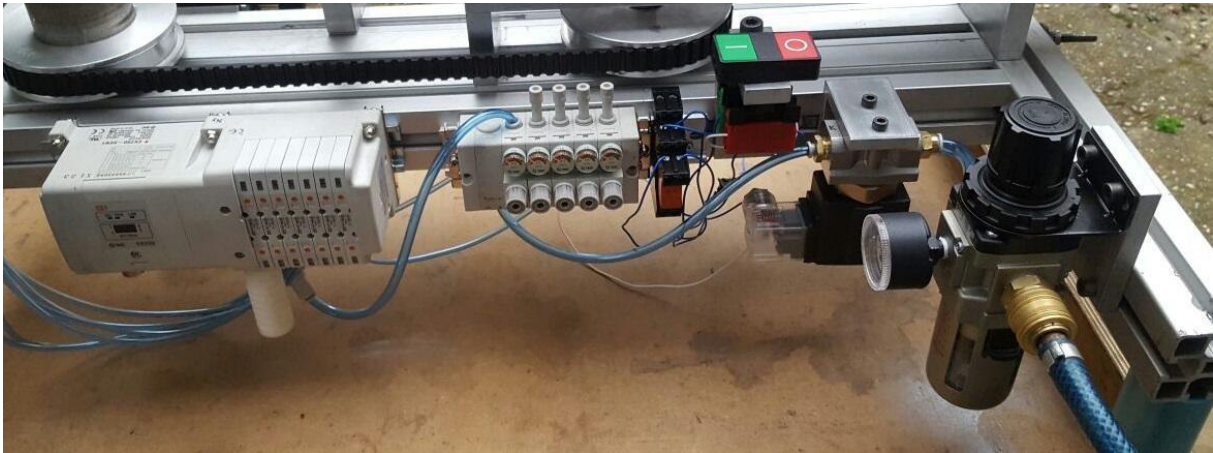
Tokom izrade manipulatora vodilo se računa da izvedena konstrukcija bude što jednostavnija, radi lakog rastavljanja i sastavljanja manipulatora, ali i radi bolje funkcionalnosti sustava. Prilikom izrade elemenata vodilo se računa o mogućim problemima tokom rada, odnosno da ne dođe do proklizavanja remenskog prijenosa, popuštanja spoja između elemenata, da su spojevi neovisni jedni o drugim. Konstrukcija manipulatora koja se izradila nije savršena, ali je dovoljno kvalitetno izrađena uz minimalni investicijski trošak.

**Tablica 2. Specifikacije izrađenog manipulatora**

Radni tlak	2 do 7 bar (0.2 do 0.7 MPa)
Radni opseg	171.88 °
Nosivost predmeta pri 0.5 MPa	760 g (0.76 kg )
Masa	45 kg
Broj stupnjeva slobode gibanja	3 (Rotacija - Translacija - Translacija)
Upravljanje	Ručno ili pomoću računala
Maksimalna pogonska snaga cilindra za dvostruku silu (za 7 bar)	3 kW

### 3. IZVEDBA UPRAVLJAČKOG SUSTAVA MANIPULATORA

Općenito u pneumatici upravljački uređaji su ventili koji upravljaju tokovima energije i informacijama (signali). Upravljanje može biti u potpunosti pneumatsko, ali najčešće se izvodi u kombinaciji s električnim elementima.



Slika 37. Prikaz upravljačkog sustava pneumatskog manipulatora

#### 3.1. Komponente sustava

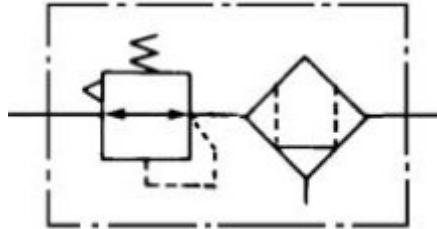
Komponente pneumatskog pogonskog sustava korištenih u izradi manipulatora su od tvrtke SMC i svaka komponenta ima svoju funkciju u cilju postizanja pravilnog rada sustava za obavljanje potrebnih radnih zadataka.

Popis komponenti :

- Pripremna grupa oznake AWM30 – 03G – R s dodatkom manometra
- Razvodnik oznake VX2350K
- Dvostruko tipkalo oznake EPD/0-I
- Kontakti elementi mirni (EC-NC) i radni (EC-NO)
- Releji tvrtke Schrack
- Regulator tlaka oznake ARM5A1-S01
- Ventilski otok s digitalno ulazno/izlaznom jedinicom oznake EX250-SEN1 i ventilskim blokom oznake S07A0
- Pneumatske cijevi i utični spojevi
- Prigušno- nepovratni ventili

### 3.1.1. Pripremna grupa AWM30 – 03G – R

Pripremna grupa AWM30 regulira tlak zraka i uklanja vlagu iz stlačenog zraka, gdje mu je filtracija 0.3  $\mu\text{m}$ .



Slika 38. Simbol pripremne grupe [10]

Kao što vidimo prema simbolu na slici 38. pripremna grupa AWM30 sastoji se od regulatora tlaka i filtera.



Slika 39. Pripremna grupa AWM30

Kao dodatak mu postavljamo manometar pomoću kojega možemo pratiti radni tlak.



Slika 40. Manometar

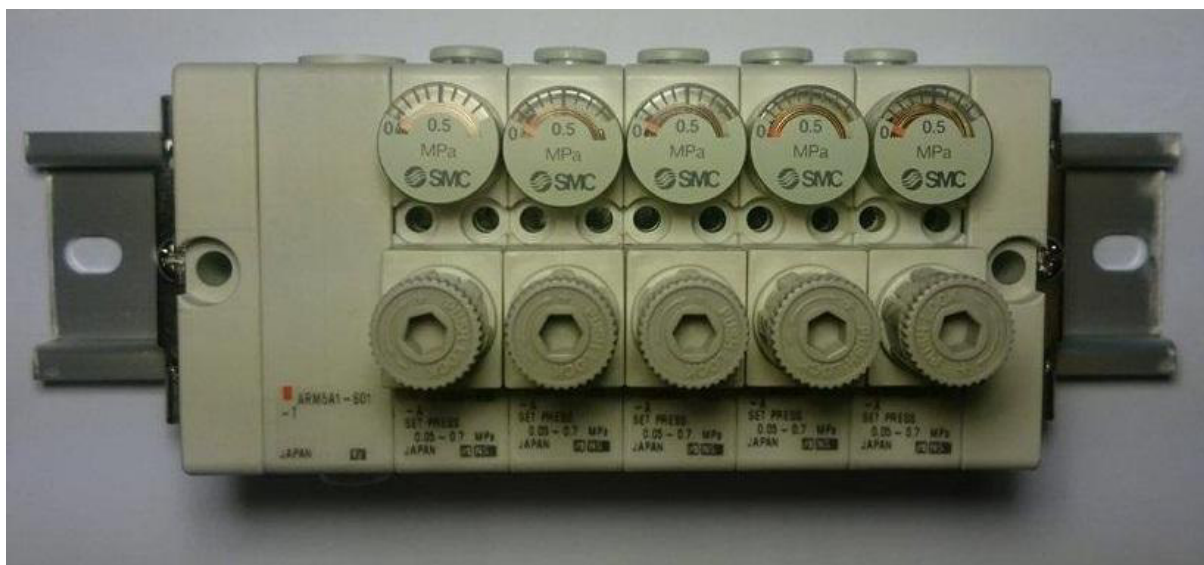


### 3.1.2. Regulator tlaka

Regulator tlaka radi na principu normalnog toka fluida kroz ventil sve do kada tlak na izlazu iz ventila poraste iznad definiranog radnog tlaka. Tada se ventil zatvara preko opruge i onemogućuje prolaz fluida kroz ventil.

#### 3.1.2.1. Regulator tlaka ARM5A1 – SO1

ARM5A1–SO1 je vrlo koristan regulator tlaka zato što preko jednog ulaza, možemo na više izlaza dobiti različite regulirane veličine tlaka. U upravljačkom sustavu može služiti za određenu vrstu uravnoteženja rada sustava, odnosno kada priključimo ulaz regulatora na dovod zraka (kompresor) stalnog i zadanog tlaka, izlaz ima namještenu vrijednost tlaka. U ovom slučaju smo iskoristili samo jedan od pet izlaza u svrhu regulacije tlaka na ulazima i izlazima iz cilindra, dok se ostali izlazi mogu iskoristiti u nadogradnji manipulatora s dodatnim stupnjem slobode ili izrade montažne linije.



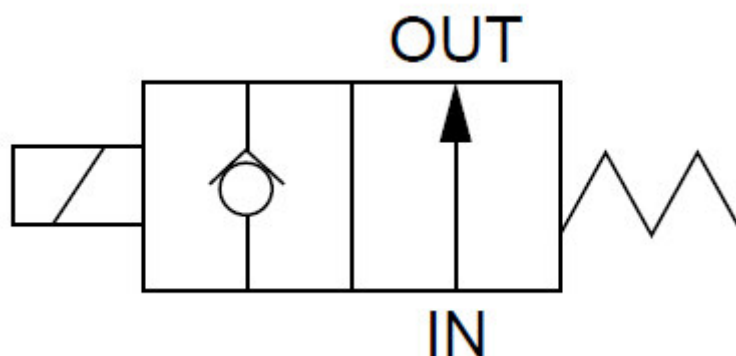
Slika 41. Regulator tlaka ARM5A1 – SO1

### 3.1.3. Pneumatski razvodnici

Pneumatski razvodnici su ventili koji zatvaraju, preusmjeravaju i otvaraju protočne otvore fluida. Razlikuju se po sljedećim karakteristikama: tip, veličina, način aktiviranja, duljina trajanja signala, konstrukcija. U pneumatskom upravljanju ventili prenose energiju i/ili informaciju. U funkcionalnom smislu možemo ih upotrijebiti za pražnjenje, rasterećenje ili uravnoteženje sustava. [2]

### 3.1.3.1. Elektromagnetski razvodnik za medije oznake VX2350K – 02F – 5D01

Elektromagnetski upravljani ventil s oprugom i s dva razvodna položaja koji svojom konstrukcijom dopušta primjenu u širem izboru fluida. Može se lako rastaviti i sastaviti, te radi na temelju električnog signala koji mijenja položaj razvodnika.



Slika 42. Simbol razvodnika VX2350K [11]

Kao što vidimo na slici 42., razvodnik u prvom razvodnom položaju ne propušta zrak, odnosno nalazi se nepovratni ventil, dok u drugom razvodnom položaju propušta zrak samo u jednom smjeru.

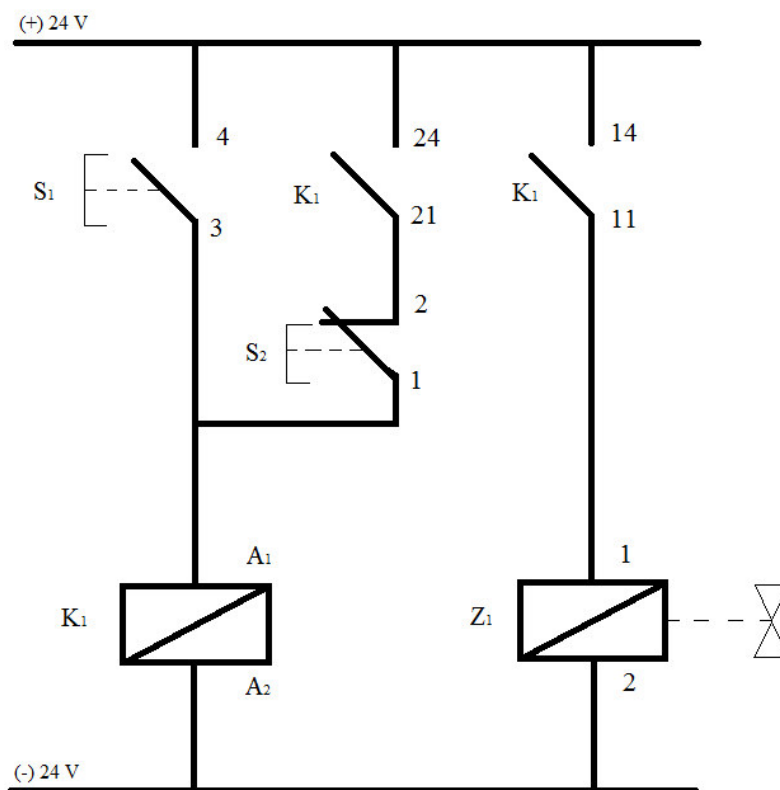


Slika 43. Razvodnik VX2350K

Ovakav razvodnik smo iskoristili za zadatke upravljanja otvaranja i zatvaranja dovoda zraka, odnosno primjenom električnog spoja gdje ručno preko dvostrukog tipkala otvaramo, odnosno zatvaramo ventil. On nam služi kao sigurnost sustava gdje u svakom trenutku možemo zaustaviti dovod zraka.



Električna shema koja se koristila za spoj razvodnika VX2350K prikazana je na slici 44. s označenim oznakama spajanja kontaktnog elementa mirnog i radnog kontakta i releja na razvodnik.



Slika. 44. Električna shema upravljanja razvodnika VX2350K

Gdje je :

- $K_1$  – relej
- $S_1$  – sklopka radnog kontakta (EC - NO)
- $S_2$  – sklopka mirnog kontakta (EC - NC)
- $Z_1$  – zavojnica na razvodniku

Sklopkom  $S_1$  uključujemo relej  $K_1$  koji daje napon na zavojnici  $Z_1$  na razvodniku VX2350K koji mijenja poziciju i time propušta zrak. Razvodnik će propuštati zrak sve do kada uključimo sklopku  $S_2$  koja prekida strujni krug i mijenja poziciju na razvodniku VX2350K, koji više ne propušta zrak sve do kad opet ne uključimo sklopku  $S_1$ .



Slika 45. Kontaktne elemente mirne (crveni) i radne (zeleni) s lijeve strane i dvostuko tipkalo s desne strane

### 3.1.4. Fieldbus jedinica EX250 – SEN1 s ventilskim blokom S07A0-5

Uređaj EX250-SEN1 je podređeni („slave“) uređaj kojim upravlja glavni („master“) uređaj u profibus protokolu koji je komunikacijski protokol optimiran za brzu komunikaciju. Profibus protokol je zamjena za prijenos signala standardnim vodovima, umjesto zasebnih vodova za svaki signal. Profibus koristi jednu sabirnicu za prijenos informacije o tim signalima.

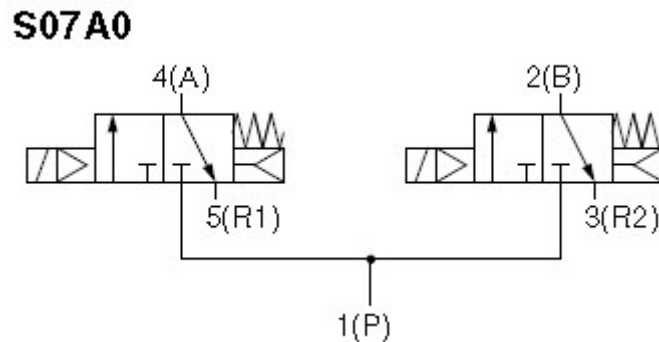
Na slici 46. prikazan je EX250 – SEN1 sa SI jedinicom i s elektromagnetnim razvodnicima.



Slika 46. Fieldbus uređaj EX250 – SEN1 s ventilskim blokom

Uređajem EX250-SEN1 se može upravljati preko PLC-a, računala ili mikrokontrolera koji su glavni („master“) uređaji. Upravlja se tako da prima naredbe glavnog („master“) uređaja i na temelju tih naredbi mijenja stanja digitalnih izlaza, čime mijenja poziciju na definiranom ventilu te tako upravljamo smjerom gibanja klipa cilindra.

Slika 47. prikazuje simbol spajanja elektromagnetnog razvodnika S07A0-5 s definiranim pinovima spajanja koji ima 3 priključka i 2 razvodna položaja.

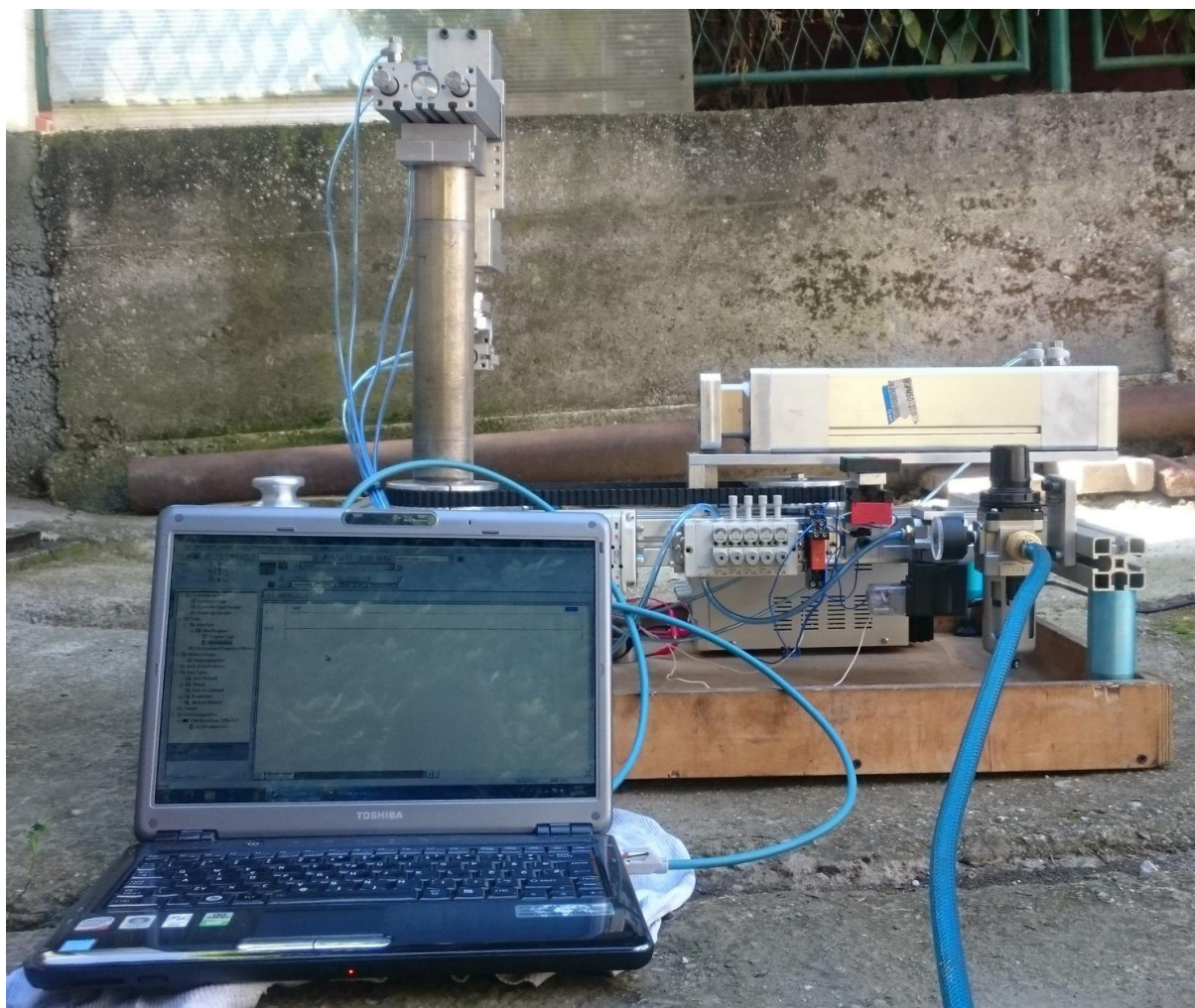


**Slika 47. Simbol razvodnika 3/2 [12]**

## 4. UPRAVLJANJE PNEUMATSKOG MANIPULATORA

Upravljanje manipulatora i općenito bilo kojeg sustava jedan je od najvažnijih ciljeva, zato što je danas gotovo nemoguće zamisliti industrijski proces bez odgovarajućeg upravljanja sustava što uvelike olakšava ljudski rad i djeluje u uvjetima koji nisu pogodni za čovjeka.

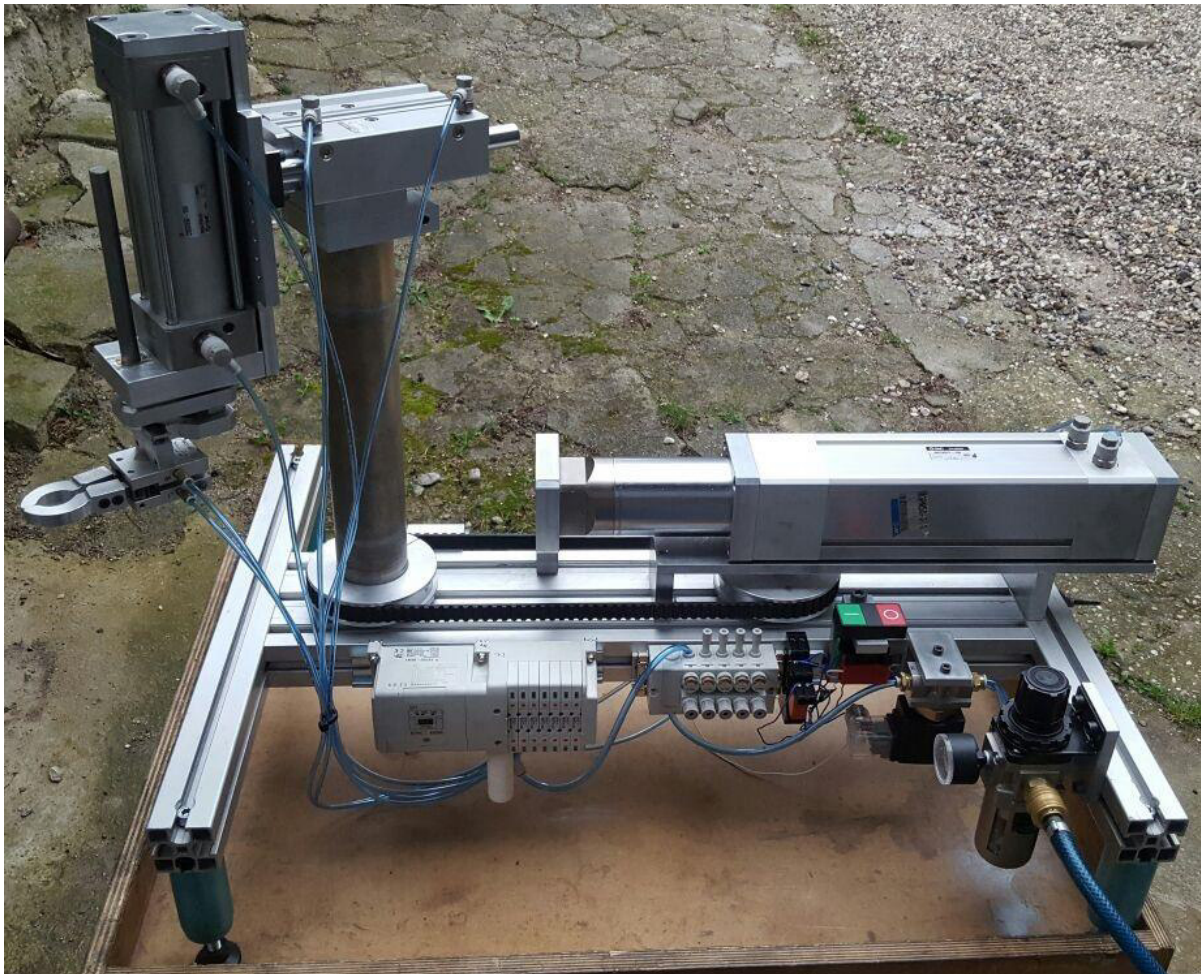
Upravljanje fieldbus uređaja EX250-SEN1 izvodi na računalu pomoću odgovarajućeg programskog paketa RSlogix 5000 tvrtke Rockwell Automation koji komunicira s SI jedinicom preko EtherNet protokola, gdje mu preko IP adrese koju definiramo na fieldbus uređaju EX250-SEN1 kontroliramo ulaze i izlaze pinova razvodnika, odnosno promjenom signala mjenjamo poziciju razvodnika, a time i smjer protoka zraka.



Slika 48. Prikaz upravljanja manipulatora pomoću računala



Upravljačke signale zadajemo tako što smo na računalu pomoću podprograma RSlogix 5000 Emulate stvorili virtualni PLC koji ima iste funkcije kao i pravi PLC te na temelju ladder dijagrama programa kojem mijenjamo na računalu definirane pozicije za uvlačenje i izvlačenje šaljem signal na podređeni („slave“) uređaj EX250-SEN1 koji zatim mijenja poziciju na ventilskom bloku i time izvlači, odnosno uvlači klip cilindra.

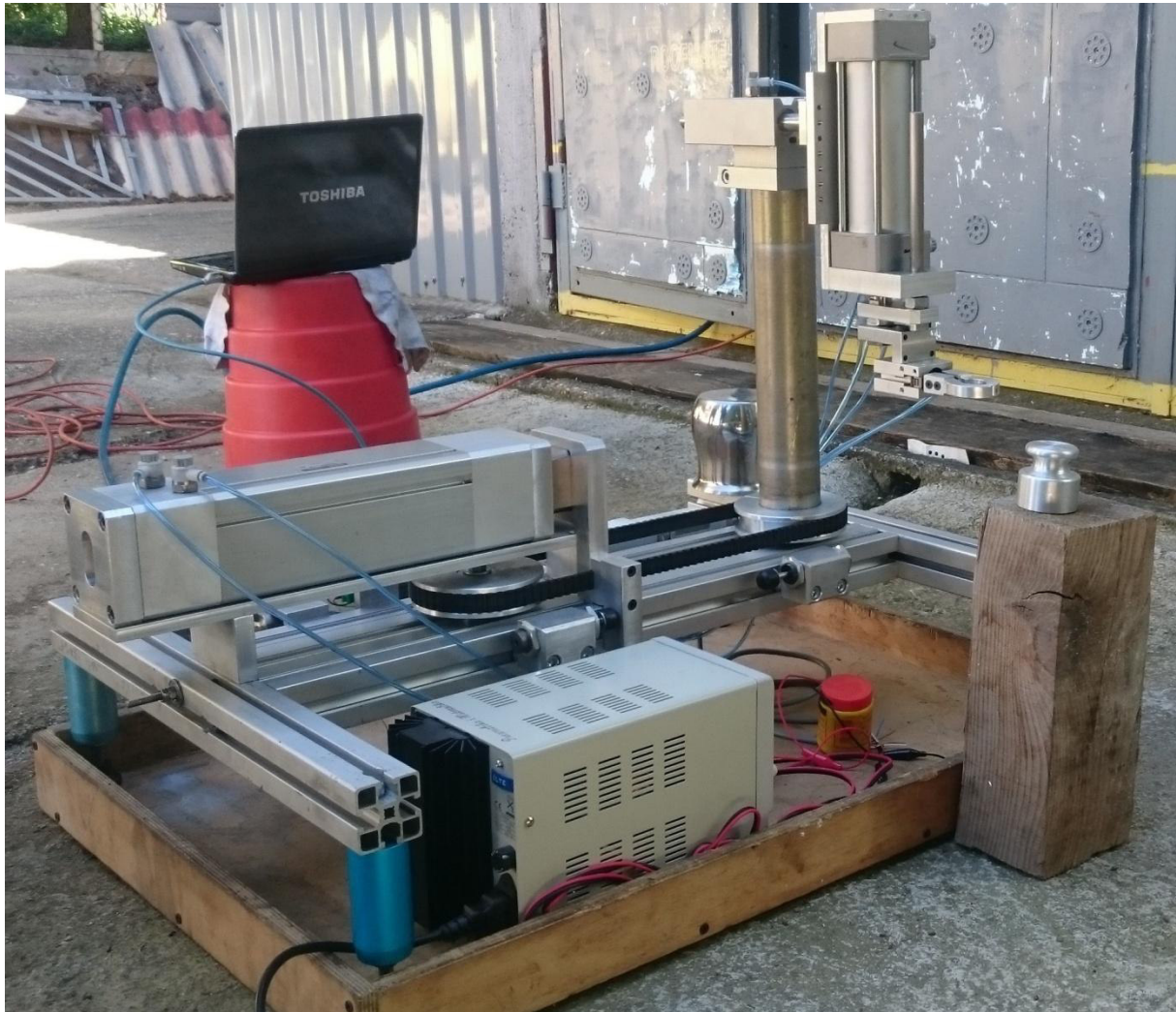


**Slika 49. Konačni izgled izrađenog pneumatskog manipulatora**

Trenutno se robotski manipulator može upravljati preko računala, gdje je u koracima prikazano obavljanje zadatka prenošenja predmeta s jednog mjesta na drugo. Brzine gibanja cilindara ovise o podešavanju nepovratno-prigušnog ventila, gdje reguliramo dotok zraka u cilindre.

Predmet koji se prenosi je posebno izrađen na tokarilici u mjerama oblika hvataljki. U sljedećim koracima je opisan prijenos predmeta iz jedne pozicije u drugu. Zbog nedostatka

materijala i financijskih sredstava nisu izrađene početne i kranje pozicije u sklopu manipulatora, te su se koristili posebni predmeti različitih dimenzija koji su iskorišteni kao početni i kranji položaji. Cilj je bio prenijeti predmet iz pozicije 1 koja je bila drvena letva u poziciju 2 koja je bila metalna posuda.

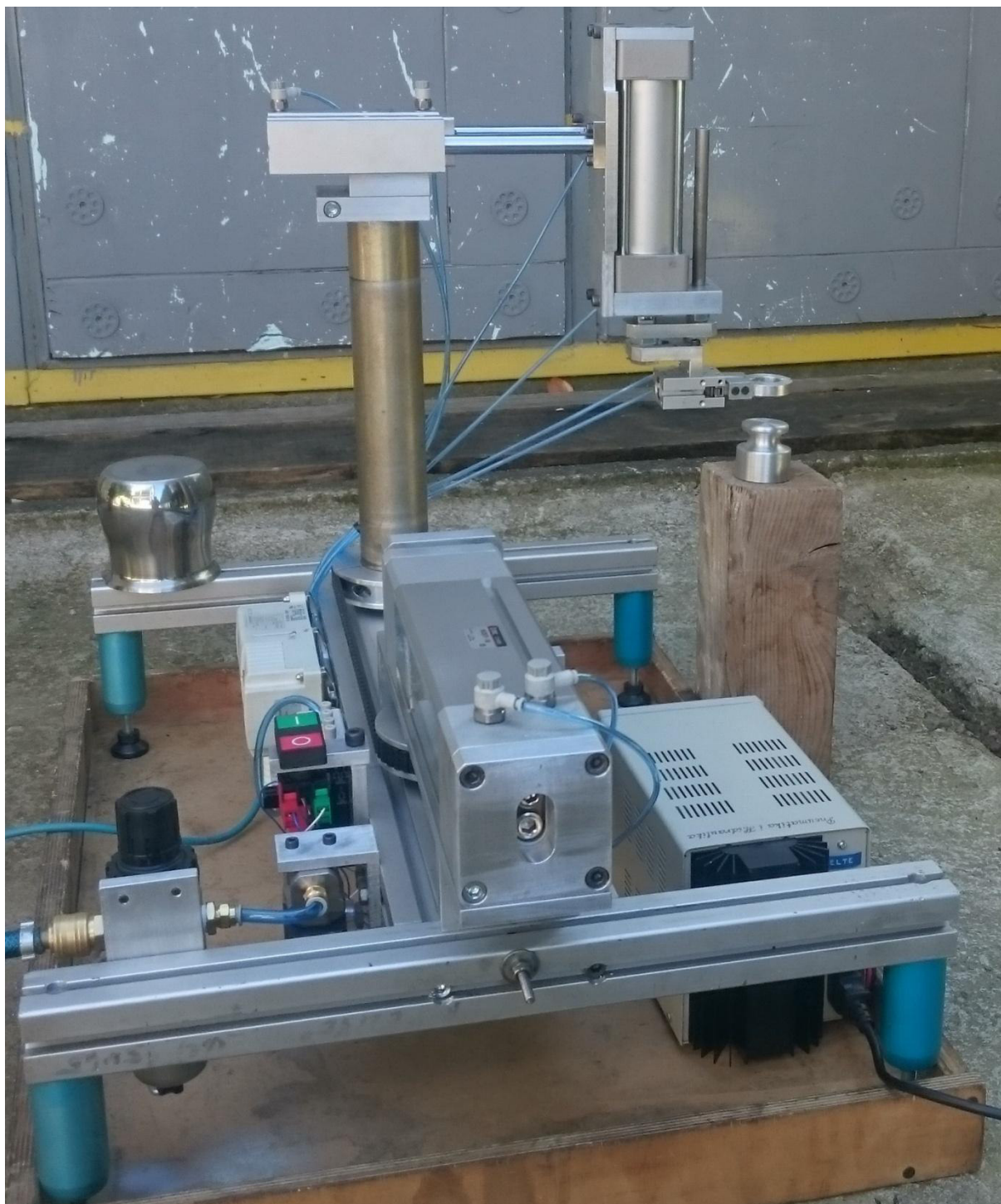


**Slika 50. Početna pozicija manipulatora**

Kao što je prikazano na slici 50. pneumatski manipulator se nalazi u početnoj poziciji. Početna pozicija je definirana tako da su uvučeni svi klipovi cilindra, odnosno u programu RSlogix 5000 su u poziciji binarno „0“.

Predmet se nalazi na drvenoj letvi s desne strane slike. Prvi korak je bilo izvlačenje cilindra s dvostrukim vođenjem tako da nam hvataljka bude točno iznad predmeta kao što je prikazano na slici 51.





**Slika 51. Izvlačenje klipa cilindra s dvostrukim djelovanjem**

U drugom koraku je trebalo prvo otvoriti hvataljku i tek onda izvući klip rotirajućeg cilindra do odgovarajuće pozicije predmeta što je prikazano na slici 52.

Da smo išli obrnutim redoslijedom, odnosno da se prvo spuštao klip rotirajućeg cilindra došlo bi do sudara zatvorene hvataljke i predmeta, gdje bi došlo do oštećenja.

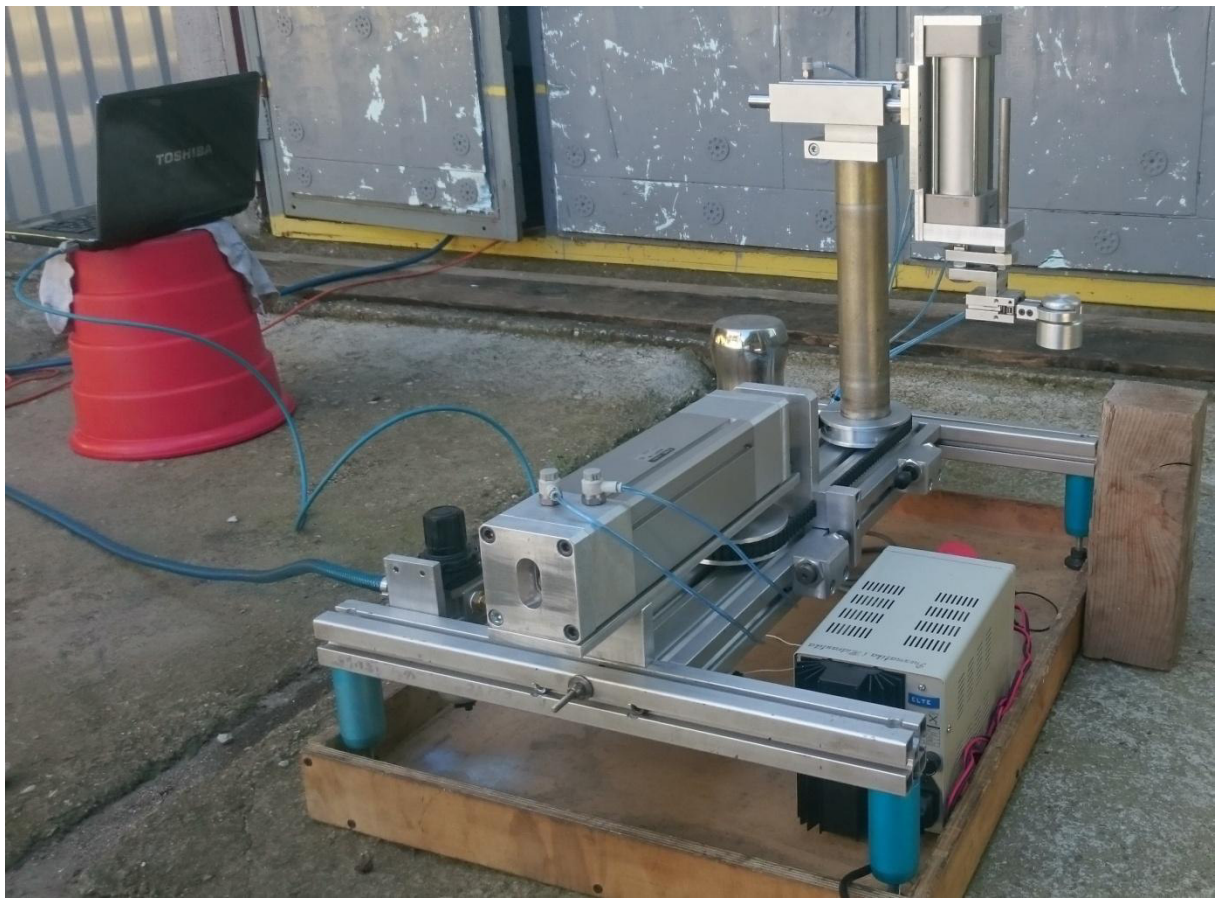


**Slika 52. Otvaranje hvataljke i izvlačenje klipa rotirajućeg cilindra**

Treći korak je bio zatvoriti hvataljku čime smo zahvatili predmet i vratiti položaj manipulatora u početnu poziciju s predmetom u hvataljkama što je prikazano na slici 53.

Time smo premjestili predmet iz pozicije 1 u početnu poziciju manipulatora.





**Slika 53. Povratak u početnu poziciju**

Nakon dolaska u početnu poziciju, za sljedeći korak trebalo je rotacijom manipulatora doći iznad pozicije 2. Izvlačenjem klipa cilindra za dvostruku silu, koji svoje translacijsko gibanje pretvara u rotacijsko gibanje preko remenskog prijenosa. Ostvaruje se prijenos predmeta iznad pozicije 2., što je prikazano na slici 54.

Trebalo je paziti da se zaustavi izvlačenje klipa cilindra za dvostruku silu točno iznad pozicije 2 kako nebi narušili stabilnost pozicije 2 prilikom spuštanja predmeta.



**Slika 54. Rotacija gibanjem klipa cilindra za dvostruku silu na drugu poziciju**

U petom koraku je trebalo paziti na izvlačenje klipa rotirajućeg cilindra kako nebi previše pritislili metalnu posudu koja je služila kao pozicija 2. Trebalo je vrlo precizno spustiti predmet u poziciju 2, što je omogućeno na način da je u programskom paketu RSlogix u vrlo kratkom vremenu promjenjena pozicija izvlačenja klipa rotirajućeg cilindra iz binarno „1“ u binarno „0“.

Na kraju koraka se otvorila hvataljka, predmet je prenesen u poziciju 2, čime smo ispunili zadatak premještanja predmeta. Slika 55. prikazuje konačnu poziciju premještenog predmeta.





**Slika 55. Konačna pozicija premještenog predmeta**

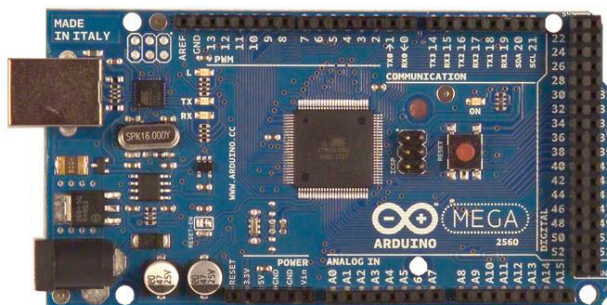
## 5. PLANOVI ZA BUDUĆU NADOGRAĐNJU I PRIMJENU

Zamišljeno je da u bližoj budućnosti PLC zamjeni računalo, gdje bi uz pomoć senzora (induktivni, kapacitivni, optički) samostalno i automatski izvršavao određenu radnju premještanja bez djelovanja ljudske ruke. PLC mora podržavati Ethernet protokol, pa jedan od potencijalnih PLC uređaja je CompactLogix 5370 proizvođača Rockwell Automation.

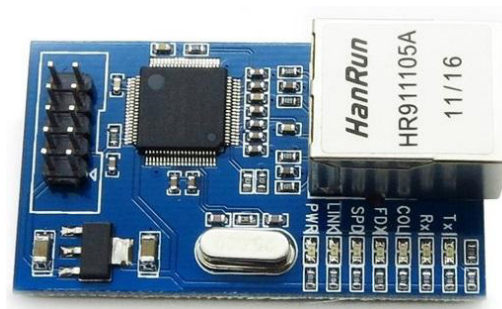


Slika 56. Prikaz PLC-a tvrtke Rockwell Automation [13]

Uz PLC, zamišljeno je da se uvede i mikrokontroler koji bi zamjenio PLC, ali programiranje je malo kompliciranije pošto će trebati mikrokontroler s većim memorijskim spremnikom (npr. Atmega 2560) i prikladan Ethernet modul (npr. W5100) uz odgovarajuću programsku podršku.



Slika 57. Mikrokontroler ATmega2560 [14]



**Slika 58. Ethernet modul W5100 [15]**

Jedna od ideja je uvođenje vizijskog sustava, koji bi omogućio izvršavanje zadataka u nesređenoj radnoj okolini. Ovakvi zadaci zahtjevali bi nadogradnju sustava s odgovarajućim mjernim članovima (senzorima) za detekciju položaja manipulatora između kranjih položaja.

Nadogradnja sustava može se odvijati i u pravcu izrade pomoćnog sustava za dodavanje radnih predmeta (npr. gravitacijski spremnik) i transportne trake za dopremu predmeta u početni položaj. Upotrebom npr. induktivnih senzora može se realizirati sustav za sortiranje metalnih i nemetalnih radnih predmeta, te primjena različitih upravljačkih uređaja za upravljanje gibanjem robotskog manipulatora.

## **ZAHVALA**

Ovom prilikom bih htio zahvaliti svom mentoru prof. dr. sc. Željku Šitumu na odličnoj suradnji i vrlo korisnim informacijama koje su mi pomogle pri izradi. Isto tako zahvaljujem mu na nabavi potrebne opreme čime je omogućena realizacija robotskog manipulatora. Zatim zahvaljujem gospodinu Darku Posudu iz tvrkte AD Plastik koji mi je donirao potrebne elemente i na stručnoj pomoći, zahvaljujem svom ocu Mireku Pucaku koji je na CNC glodalici izradio potrebne spojne elemente.



## LITERATURA

- [1] URL izvor: <http://www.lorsel.com/zastupnistva/cma/cma-navoji/pneumatski-stroj-za-urezivanje-navoja/> , 10.02.2016
- [2] URL izvor: <http://hr.wikipedia.org/wiki/Pneumatika> , 10.02.2016
- [3] URL izvor: [http://www.fsb.hr/~zkunica/nastava/pms/roboti\\_manip.pdf](http://www.fsb.hr/~zkunica/nastava/pms/roboti_manip.pdf) , Z. Kunica, predavanja, FSB – Zagreb 2015
- [4] M. Crneković, *Industrijski i mobilni roboti*, predavanja, FSB – Zagreb 2015.
- [5] Karl-Heinz Decker, *Elementi strojeva*, tehnička knjiga, Zagreb, 2006.
- [6] URL izvor: <http://powertranbelting.com/transmission-belts/timing-belts/260x1037-goodyear-contitech-hawk-pd-timing-belt-1-5-pitch/>, remenski prijenos 260X037, 01.03.2016.
- [7] URL izvor: <http://www.ebay.co.uk/itm/RENAULT-MEGANE-Timing-Belt-Kit-VKMA06108-SKF-7701477184-7701474019-7701476675-/331681818821>, 01.03.2016
- [8] URL izvor: <http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/single-row-deep-groove-ball-bearings/single-row/index.html?designation=6305>, 01.03.2016
- [9] URL izvor: [https://content2.smcetech.com/pdf/MHC\\_EU.pdf](https://content2.smcetech.com/pdf/MHC_EU.pdf), SMC katalog, prihvatnica MHC2-20D, 2015.
- [10] URL izvor: [https://content2.smcetech.com/pdf/AC-D\\_EU.pdf](https://content2.smcetech.com/pdf/AC-D_EU.pdf) ,SMC katalog priprmena grupa AWM, 2015.
- [11] URL izvor: [https://www.smc.eu/smc/Net/EMC\\_DDBB/ce\\_documentation/data/attachments/IMM\\_VxX2x\\_49GB-A.PDF](https://www.smc.eu/smc/Net/EMC_DDBB/ce_documentation/data/attachments/IMM_VxX2x_49GB-A.PDF) ,SMC katalog, razvodnik VX2350K, 2015.
- [12] URL izvor: [https://content2.smcetech.com/pdf/EX250-SV-VQC\\_EU.pdf](https://content2.smcetech.com/pdf/EX250-SV-VQC_EU.pdf), SMC katalog, fieldbus uređaj EX250-SEN1,2015.
- [13] URL izvor: <http://www.ab.com/en/epub/catalogs/12762/2181376/2416247/407648/7921716/CompactLogix-5370-Controllers.html>, PLC katalog, 05.03.2016.
- [14] URL izvor: <http://www.sainsmart.com/arduino-mega2560-avr-atmega2560-atmega8u2-with-free-usb-cable.html>, mikrokontroler, 05.03.2016.
- [15] URL izvor: <http://www.electfreaks.com/store/ethernet-shield-w5100-shd020-p-372.html>, Ethernet modul, 05.03.2016.

## SAŽETAK

Kristijan Pucak

### Robotski manipulator s pneumatskim pogonom

U okviru ovog rada bilo je potrebno projektirati i izraditi robotski manipulator koji je pogonjen pneumatskim aktuatorima i služi za premještanje jednostavnih predmeta unutar njegovog radnog opsega. Da bi se manipulator gibao u svome radnom prostoru bilo je potrebno izraditi odgovarajuću konstrukciju te upravljački, mjerni i izvršni sustav.

Glavna prednost ovog pneumatskog manipulatora je njegova modularna konstrukcija što znači da se lako i jednostavno može nadograđivati dodatnom opremom ili dodavanjem dodatnog stupnja slobode gibanja. Druga prednost mu je mogućnost programiranja za različite zadatke, što znači da ne mora služiti samo za premještanje predmeta nego se može koristiti i u određenim postrojenjima gdje se koristi pokretna traka ili u procesima sortiranja, sklapanja, dodavanja materijala i sl.

Glavni nedostatak ovakvog manipulatora je mogućnost prenošenja predmeta vrlo male mase.

Ovakav manipulator napravljen je po uzoru na manipulatore i robote koji se koriste u industriji kako bi olakšali ljudski rad. Ekološki je prihvatljiv, odnosno ne zagađuje okoliš i zbog toga je dosta zanimljiv zbog sve većeg utjecaja na zaštitu okoliša.

Robotski manipulator rezultat je sedmomjesečnog konstantnog rada u kojem je postignut cilj jednostavnosti izrade uz minimalne financijske troškove i mogućnosti dodatne nadogradnje u budućnosti.

**Ključne riječi:** pneumatski manipulator, robot, upravljanje, automatizacija.

## **SUMMARY**

Kristijan Pucak

### **The robotic manipulator with pneumatic drive**

In this project it was necessary to design and construct a robotic manipulator which is driven by the pneumatic actuators and used to move simple objects within its operating range. In order to move manipulator in his workspace, it was necessary to develop an appropriate construction and control, measuring and implementing system.

Main advantage of this pneumatic manipulator is a modular structure which means that it can easily and simply upgraded by installing additional equipment or by adding extra degree of freedom. Another advantage is the possibility of programming for different tasks, which means it does not have to be used only for moving objects, but can also be used in a specific plant where it is used conveyor belt or in the process of sorting, folding, adding materials, etc.

Main disadvantage of this manipulator is the possibility of transferring objects of very low mass.

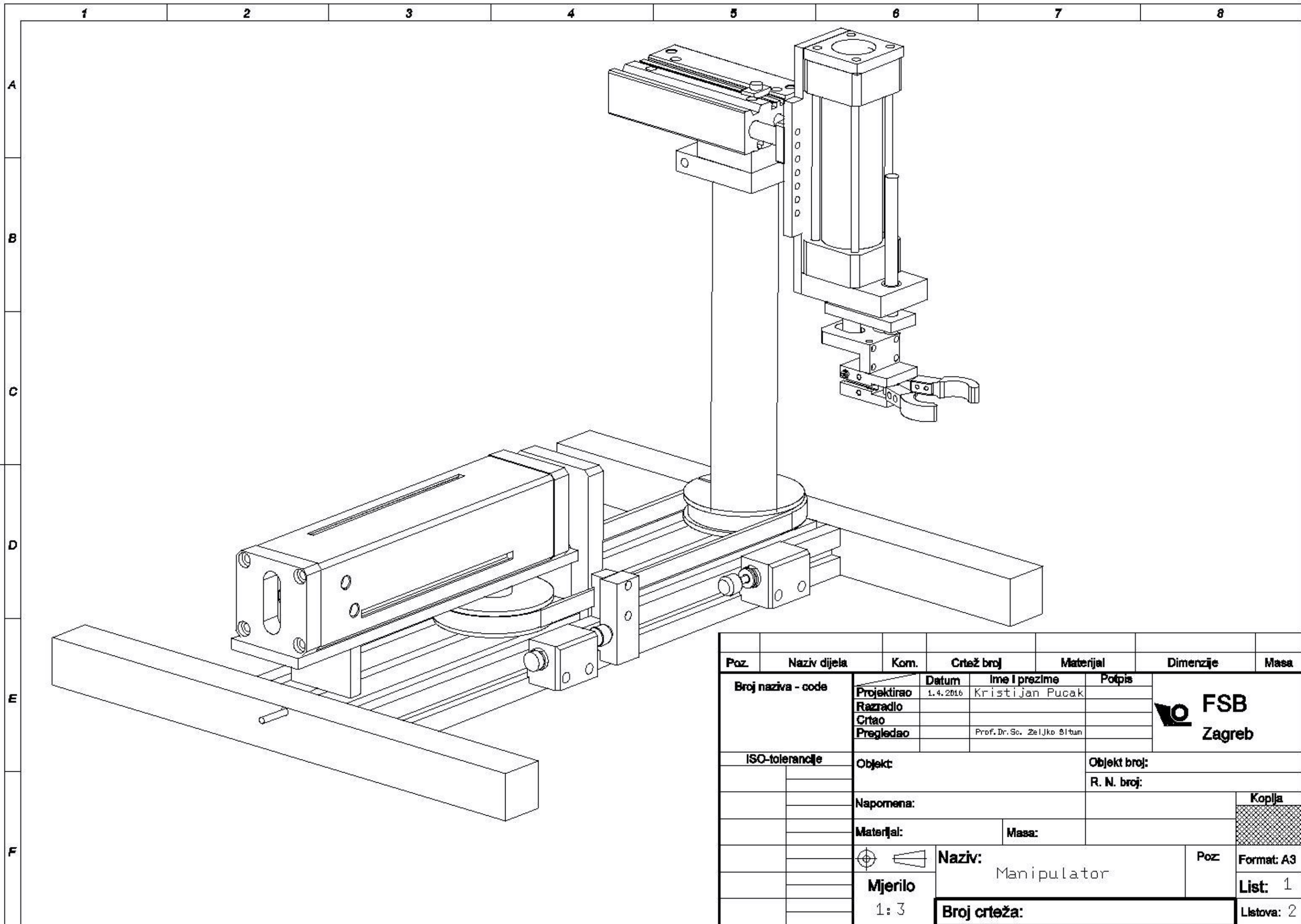
This manipulator was designed by the manipulators and robots that are used in industry to facilitate the human work. It is environmentally acceptable and it does not pollute the environment, for this reason it is quite interesting because of the increasing influence on the environment.

The robotic manipulator is the result of seven months of constant work where is achieved the purpose of simply construction with minimal financial cost and the possibility for upgrades in the future.

**Key words:** pneumatic manipulator, robot, control, automation.

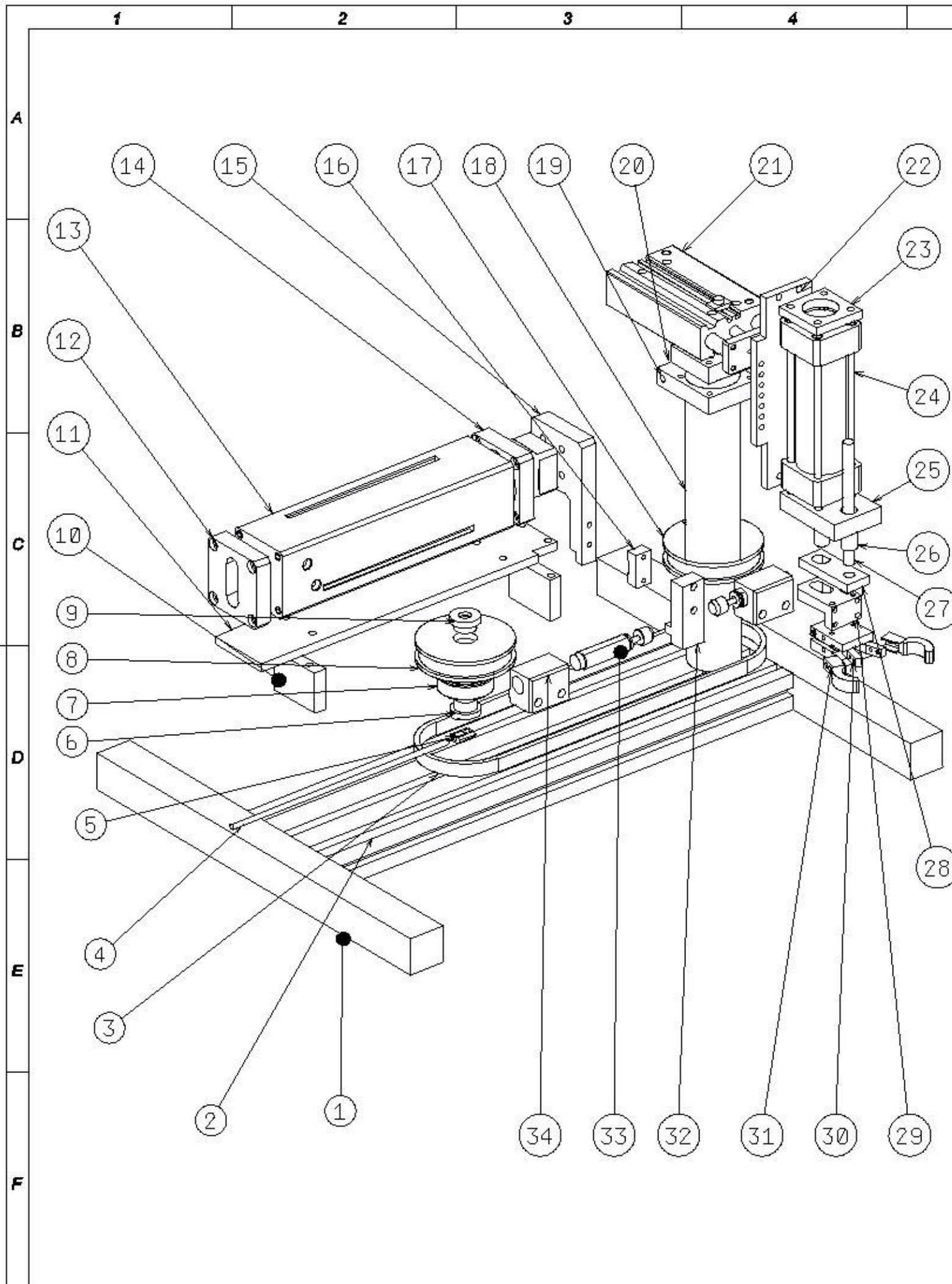
## ŽIVOTOPIS

Kristijan Pucak rođen je 01.05.1992. godine u Zagrebu gdje završava osnovnu školu „Stenjevec“ 2007. godine i upisuje 1. Tehničku školu „Tesla“ smjer „robotika“ gdje od mlađih dana pokazuje zanimanje za tehnologiju. U sklopu srednje škole izradio je nekoliko jednostavnih elektroničkih sklopova poput ispravljača napona i LED termometra. Nakon završetka srednje škole upisuje sveučilišni preddiplomski studij strojarstva na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, gdje na drugoj godini upisuje smjer „Mehatronika i robotika“. Uz znanja koja je stekao iz mehanike, elektronike i drugih područja u sklopu fakulteta, dodatno ih je u ljeto 2015. godine nadopunio u struci gdje je radio u firmi AD Plastik. U sklopu firme izradio je regulator brzine vrtnje motora i brzine titranja diode pomoću elektroničkih dijelova i upravljanje gibanjem klipa cilindra pomoću elektroničkih sklopki. Preddiplomski studij završava 2016. godine i upisuje diplomski studij. Trenutno razvija i osmišljava koncept ugradnje i korištenja mikrokontrolera kao dodatnu nadogradnju na robotski manipulator s pneumatskim pogonom.



Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtaj broj	Materijal	Dimenzije	Masa	
<b>Broj naziva - code</b>		<b>Datum</b>		<b>Ime i prezime</b>	<b>Potpis</b>		
		1.4.2016		Kristijan Pucak			
				Prof. Dr. Sc. Željko Štun			
<b>ISO-tolerancije</b>		<b>Objekt:</b>			<b>Objekt broj:</b>		
					<b>R. N. broj:</b>		
		<b>Napomena:</b>					
		<b>Materijal:</b>		<b>Masa:</b>			
				<b>Naziv:</b>		<b>Poz:</b>	
		<b>Mjerilo</b> 1:3		Manipulator		<b>Format: A3</b>	
		<b>Broj crteža:</b>				<b>List: 1</b>	<b>Listova: 2</b>





34	Nosač prigušivača	2				
33	Prigušivač udarca					
32	Nastavak spoja remena					
31	Hvataljka					
30	Prihvatnica					
29	Pločica za prihvatnicu					
28	Pločica vodilice i rotirajućeg cilindra					
27	Vodilica				Prokrom	
26	Čahura				Bronca	
25	Prednja pločica rotirajućeg cilindra					
24	Rotirajući cilindar					
23	Stražnja pločica rotirajućeg cilindra					
22	Pločica spoja dva cilindra					
21	Cilindar s vođenjem					
20	Međuploča osovine i cilindra s vođenjem					
19	Nosač na rotirajuću osovinu					
18	Rotirajuća osovina					
17	Remenica 1					
16	Pločica spoja remena					
15	Pločica klipa cilindra					
14	Prednja pločica cilindra					
13	Cilindar dvostuke sile					
12	Stražnja pločica cilindra					
11	Nosač					
10	Pločica za nosač	2				
9	Gornji odstojnik					
8	Remenica 2					
7	Ležaj 6305					
6	Donji odstojnik					
5	Umetak					
4	Priteznik remena					
3	Remen					
2	Profilirani stol					
1	Nogice stola	2				

Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj	Materijal	Dimenzije	Masa
<b>Broj naziva - code</b>			<b>Datum</b>	<b>Ime i prezime</b>	<b>Potpis</b>	
Projektirao			1.4.2016	Kristijan Pucak		
Razradio						
Crtao						
Pregledao				Prof. Dr. Sc. Željko Šturm		
<b>ISO-tolerancije</b>			<b>Objekt:</b>		<b>Objekt broj:</b>	
					<b>R. N. broj:</b>	
			<b>Napomena:</b>			<b>Kopija</b>
			<b>Materijal:</b>	<b>Masa:</b>		
				<b>Naziv:</b>		<b>Poz:</b>
			<b>Mjerilo</b>	Manipulator u dijelovima		<b>Format: A3</b>
			1:5	<b>Broj crteža:</b>		<b>List: 2</b>
						<b>Listova: 2</b>