

# Projektiranje elektrohidrauličkog robotskog manipulatora

---

**Džafo, Deni**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2011**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:315301>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-11**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Deni Džaf**

Zagreb, 2011.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Željko Šitum

Student:

Deni Džafo

Zagreb, 2011.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **DENI DŽAFO** Mat. br.: 0035163689

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **PROJEKTIRANJE ELEKTROHIDRAULIČKOG ROBOTSKOG MANIPULATORA**

Naslov rada na engleskom jeziku: **DESIGN OF AN ELECTRO-HYDRAULIC ROBOTIC MANIPULATOR**

Opis zadatka:

Elektrohidraulički sustavi daju povoljne karakteristike automatiziranim industrijskim pogonima, jer povezuju mogućnosti ostvarenja velikih snaga hidrauličkim putem i jednostavnu obradu i prijenos upravljačkih signala električnim komponentama. U zadatku je potrebno projektirati prototip elektrohidrauličkog robotskog manipulatora za velike nosivosti radnih predmeta u industrijskim primjenama (npr. ljevaonicama, montažnim linijama, posluživanje CNC strojeva i dr.) kao tipičnog predstavnika složenih, nelinearnih, multivarijabilnih sustava, kod kojih se traže visoke performanse u širokom opsegu radnih stanja. Hidraulički manipulatori mogu biti usporedivi s uobičajeno korištenim manipulatorima s električnim pogonima s obzirom na brzinu rada, točnost pozicioniranja, jednostavnost korištenja, ali uz mogućnost ostvarenja znatno veće nosivosti.

U radu je potrebno:

- Razmotriti nekoliko varijanti elektrohidrauličkog robotskog manipulatora i odabrati najpovoljnije rješenje s obzirom na radne značajke manipulatora i mogućnost praktične realizacije.
- Izvršiti izbor potrebnih komponenti pogonskog, mehaničkog, mjernog i upravljačkog dijela sustava i dati njihove tehničke specifikacije.
- Projektirati nekoliko varijanti prihvatnice manipulatora koje bi se mogle koristiti za konkretne primjene.
- Simulirati rad projektiranog manipulatora u virtualnom okruženju.

Zadatak zadan:

08. rujna 2011.


Rok predaje rada:

10. studenog 2011.

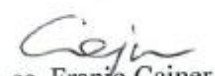
Predviđeni datumi obrane:

16. – 18. studenog 2011.

Zadatak zadao:

  
Prof. dr. sc. Željko Šitum

Predsjednik Povjerenstva:

  
Prof. dr. sc. Franjo Cajner

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

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Željku Šitumu na razumijevanju, pružanju korisnih savjeta i stručne pomoći oko izrade ovog rada.

Želio bih se zahvaliti svima koji su pomogli tijekom izrade ovog diplomskog rada.

Na kraju se od srca zahvaljujem svojoj obitelji te posebno roditeljima, koji su ukazali povjerenje i strpljenje te mi bili velika potpora u mom školovanju.

Deni Džafo

# SADRŽAJ

POPIS SLIKA.....	iii
POPIS TABLICA.....	v
POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA.....	vi
SAŽETAK.....	ix
1. UVOD.....	1
2. IZBOR STRUKTURE ROBOTSKOG MANIPULATORA.....	3
2.1 KINEMATIKA ROBOTA.....	3
2.2 KINEMATIČKE STRUKTURE ROBOTA.....	6
2.2.1 Kartezijeva struktura TTT.....	8
2.2.2 Cilindrična struktura RTT.....	10
2.2.3 Sferna struktura RRT.....	11
2.2.4 Revolutna struktura RRR.....	12
3. HIDRAULIČKI SUSTAV ROBOTSKOG MANIPULATORA.....	15
3.1 PREDNOSTI I NEDOSTACI HIDRAULIKE.....	17
3.2 PROJEKTNI ZAHTJEVI.....	20
3.3 IZVRŠNI DIO HIDRAULIČKOG SUSTAVA.....	21
3.3.1 Cilindar.....	21
3.3.2 Hidraulički motori.....	25
3.4 POGONSKI DIO HIDRAULIČKOG SUSTAVA.....	27
3.4.1 Hidraulička crpka.....	27

3.4.2	Elektromotor .....	29
3.5	VENTILI I MJERNI UREĐAJI.....	30
3.5.1	Servoventili .....	30
3.5.2	Ventil za ograničenje tlaka .....	31
3.5.3	Linearni enkoder .....	32
3.5.4	Inkrementalni enkoder.....	32
3.6	OSTALE KOMPONENTE.....	33
4.	PRIHVATNICE ZA KONKRETNU PRIMJENU.....	35
4.1	PRIMJERI INDUSTRIJSKIH IZRADAKA .....	36
4.2	PRIHVATNICA S DVA PARA PRSTIJU (HVATALJKI).....	39
4.3	CILINDRIČNA PRIHVATNICA.....	41
4.4	PRIHVATNICA S DRŽAČEM.....	42
5.	SIMULACIJA ROBOTSKOG MANIPULATORA .....	44
6.	ZAKLJUČAK.....	50
	LITERATURA.....	51
	PRILOG .....	52

## POPIS SLIKA

Slika 2.1 Pokretljivost tijela u prostoru .....	3
Slika 2.2 Pasivni zglobovi sa različitim stupnjem slobode gibanja .....	4
Slika 2.3 Jednostavni tipovi zglobova robotskog manipulatora .....	5
Slika 2.4 Shematski prikaz robota i njegovih mehaničkih podsustava .....	6
Slika 2.5 Kinematičke strukture robota .....	7
Slika 2.6 Shema kartezijske strukture robota.....	8
Slika 2.7 Unutrašnje i vanjske koordinate kartezijske strukture robota.....	9
Slika 2.8 Manipulacijski i kolizijski prostor kartezijske strukture robota.....	9
Slika 2.9 Cilindrična konfiguracija robota.....	10
Slika 2.10 Cilindrična struktura ruke robota RTT.....	11
Slika 2.11 Sferna struktura robota RRT .....	11
Slika 2.12 Radni prostor sferne strukture robota .....	12
Slika 2.13 Vertikalna progibna struktura (RRR robot) .....	13
Slika 2.14 Gibanja RRR robota.....	13
Slika 3.1 Hidrauličko-upravljačka shema robotskog manipulatora .....	16
Slika 3.2 Prikaz tokarskog stroja.....	17
Slika 3.3 Prikaz mobilne hidraulike .....	18
Slika 3.4 Dvoradni cilindar .....	22
Slika 3.5 Izabrani cilindar tvtk "Bosch Rexroth" .....	24
Slika 3.6 Hidromotor AZM-F-5.5NG .....	26
Slika 3.7 Crpka s unutarnjim ozubljenjem.....	28
Slika 3.8 Jednofazni asinkroni elektromotor .....	29
Slika 3.9 Servoventil .....	31
Slika 3.10 Ventil za ograničenje tlaka .....	31
Slika 3.11 Linearni enkoder .....	32
Slika 3.12 Inkrementalni enkoder .....	33
Slika 3.13 Manometar.....	34



Slika 4.1 I i H profil.....	36
Slika 4.2 Primjer I profila u <i>Catia</i> -i .....	37
Slika 4.3 Cijevi.....	37
Slika 4.4 Osovina .....	37
Slika 4.5 Poklopac .....	38
Slika 4.6 Primjer nepovratnog ventila i S oblik cijevi.....	38
Slika 4.7 Pihvatnica s dva para prstiju .....	39
Slika 4.8 Primjer transportiranja I profila.....	40
Slika 4.9 Primjer transportiranja I profila (s donje strane) .....	40
Slika 4.10 Cilindrična pihvatnica.....	41
Slika 4.11 Primjer prenošenja osovine horizontalno .....	41
Slika 4.12 Pihvatnica s držačem .....	42
Slika 4.13 Primjer prenošenja S oblika cijevi.....	42
Slika 4.14 Primjer prenošenja poklopca .....	43
Slika 4.15 Primjer prenošenja ventila.....	43
Slika 5.1 Radni stol.....	44
Slika 5.2 Projektirani reduktor .....	45
Slika 5.3 Sklop spremnika elektromotora i crpke .....	45
Slika 5.4 Projektirana struktura robotskog manipulatora .....	46
Slika 5.5 Robot u virtualnom okruženju.....	46
Slika 5.6 Mehanizam robota s komponentama .....	47
Slika 5.7 Pogonski dio sustava robota .....	48
Slika 5.8 Primjer zadatka robotskog manipulatora .....	48
Slika 5.9 Princip rada manipulatora kod slaganja u paletu.....	49

## **POPIS TABLICA**

Tablica 3.1 Usporedba tri vrste tehnologije .....19

**POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA**

$A_1$	$m^2$	površina klipa cilindra $m^2$
$A_2$	$m^2$	površina prstena klipa
$D$	m	promjer klipa
$d$	m	promjer klipnjače
$f$		broj stupnjeva slobode gibanja
$F$	N	sila
$g$	$m^2/s$	ubrzanje gravitacijske sile
$I$	A	jakost struje
$i$		prijenosni omjer
$l$	m	maksimalni hod klipa cilindra
$l_1$	m	pomak od ishodišta, konstrukcija (x smjer)
$l_2$	m	pomak od ishodišta, konstrukcija (y smjer)
$l_3$	m	pomak od ishodišta, konstrukcija (z smjer)
$m$	kg	masa tereta
$n$	$^\circ/s$	broj okretaja
$n_{1max}$	$^\circ/s$	maksimalan broj okretaja prvog hidromotora
$n_{2max}$	$^\circ/s$	maksimalan broj okretaja drugog hidromotora
$n_{R1max}$	$^\circ/s$	maksimalan broj okretaja prvog rotacijskog zgloba robota
$n_{R2max}$	$^\circ/s$	maksimalan broj okretaja drugog rotacijskog zgloba robota
$P$	W	snaga
$p$	Pa	tlak

$p_s$	Pa	tlak u sustavu (nazivni tlak)
$p_x$	m	pozicija središta prihvatnice robota (x smjer)
$p_y$	m	pozicija središta prihvatnice robota (y smjer)
$p_z$	m	pozicija središta prihvatnice robota (z smjer)
$r_{max}$	m	radijus radnog prostora
$s$	m	pomak od ishodišta
$s_1$	m	pomak od ishodišta, mogućnost pomicanja u x smjeru
$s_2$	m	pomak od ishodišta, mogućnost pomicanja u y smjeru
$s_3$	m	pomak od ishodišta, mogućnost pomicanja u z smjeru
$t_1$	s	vrijeme izvlačenja klipa
$t_2$	s	vrijeme uvlačenja klipa
$U$	V	napon
$V$	m <sup>3</sup>	volumen
$V_c$	m <sup>3</sup>	radni volumen cilindra
$v_{c1}$	m/s	maksimalna brzina izvlačenja klipa
$v_{c2}$	m/s	maksimalna brzina uvlačenja klipa
$Q_c$	m <sup>3</sup> /s	količina protoka za cilindar
$Q_{M1}$	m <sup>3</sup> /s	količina protoka za prvi hidromotor
$Q_{M2}$	m <sup>3</sup> /s	količina protoka za drugi hidromotor
$Q$	m <sup>3</sup> /s	ukupna količina protoka
$\omega_{R1max}$	rad/s	kutna brzina cijelog robota
$\omega_{R2max}$	rad/s	kutna brzina prvog članka robota
$\varphi$	°	zakret rotacijskog zgloba robota

$\varphi_1$	°	zakret prvog rotacijskog zgloba robota
$\varphi_2$	°	zakret drugog rotacijskog zgloba robota
$\varphi_3$	°	zakret trećeg rotacijskog zgloba robota

## SAŽETAK

Ideja ovog rada je projektiranje elektrohidrauličkog robotskog manipulatora koji se može koristiti u automatiziranim industrijskim pogonima. Takav manipulator omogućuje ostvarenje velikih snaga hidrauličkim putem te jednostavnu obradu i prijenos upravljačkog signala korištenjem elektronike.

Postavljeni su zahtjevi koje manipulator mora ispunjavati. Izabrana je struktura robotskog manipulatora odnosno njegova kinematika. S obzirom na zahtjeve konstruiranja i kinematike, u radu su izabrane komponente elektrohidrauličkog sustava te su prikazane njihove karakteristike i tehnički podaci. Projektirane su različite vrste prihvatnica koje se mogu primijeniti na konkretnim primjerima u industriji.

Korištenjem programa „*Catia*“ konstruiran je elektrohidraulički robotski manipulator u prostoru sa pripadajućim komponentama, te je vizualno prikazan rad robota korištenjem izrađenih prihvatnica.

## 1. UVOD

Elektrohidraulički sustavi daju povoljne karakteristike automatiziranim industrijskim pogonima, jer povezuju mogućnosti ostvarenja velikih snaga hidrauličkim putem i jednostavnu obradu i prijenos upravljačkih signala električnim komponentama. Robotski manipulator koji će se projektirati u okviru ovog diplomskog rada nalazi svrhu u industrijskoj primjeni kao što su ljevaonice, montažne linije, posluživanje CNC strojeva i dr.

U ovom diplomskom radu govori se o projektiranju elektrohidrauličkog robotskog manipulatora koji ima mogućnost ostvarenja velike nosivosti tereta. Osnovne odrednice elektrohidrauličkog sustava, koji koristi servoventile (EHSS<sup>1</sup>), su njegove karakteristike koje mu omogućuju da velikim inercijskim opterećenjima upravlja velikom brzinom odziva i točnosti upravljanja. Za razliku od električnog robotskog manipulatora, koji za pogon koristi električnu struju, hidraulički manipulator koristi određeni fluid za prijenos snage. Stoga kod konstruiranja robotskog manipulatora moraju se uzeti u obzir komponente koje se koriste kod hidrauličkih sustava kao što su spremnik, elektromotor i crpka koji će dobavljati radni fluid servoventilima odnosno hidromotorima i cilindru.

Kao što je već rečeno, zadatak je projektirati elektrohidraulički manipulator koji će biti u stanju prenositi veliki teret, stoga je potrebno zadati određene uvjete. Zahtjevi ovakvog manipulatora su vezani uz težinu tereta koju robot mora prenositi i veličina radnog prostora u kojoj elektrohidraulički manipulator obavlja svoje zadatke. Tako se može pretpostaviti da masa koju manipulator mora nositi iznosi 150 kg te isto tako moraju biti zadovoljeni sljedeći projektni zahtjevi:

- Masa:  $m = 150 \text{ kg}$
- Radijus radnog prostora:  $r_{max} = 2 \text{ m}$
- Kutna brzina cijelog robota:  $\omega_{R1max} = 95 \text{ rad/min}$
- Kutna brzina prvog članka robota:  $\omega_{R2max} = 125 \text{ rad/min}$
- Maksimalna brzina izvlačenja cilindra:  $v_{c1} = 55 \text{ mm/s}$

---

<sup>1</sup> Elektrohidraulički servosustav

U radu će se razmotriti nekoliko varijanti strukture elektrohidrauličkog robotskog manipulatora i odabrati najpovoljnije rješenje s obzirom na značajke manipulatora i mogućnosti praktične realizacije. Izvršit će se izbor potrebnih komponenti pogonskog, izvršnog i mjernog sustava te će se dati i njihove specifikacije. U sklopu diplomskog rada projektirat će se izabrani elektrohidraulički robotski manipulator koristeći program za 3D konstruiranje „*Catia*“ u kojem će se simulacijski prikazati rad hidrauličkog manipulatora. Industrija danas zahtjeva da je jedan robot, odnosno manipulator, u stanju izvršavati različite zadatke, stoga će se projektirati i biti prikazane prihvatanice za različitu namjenu.



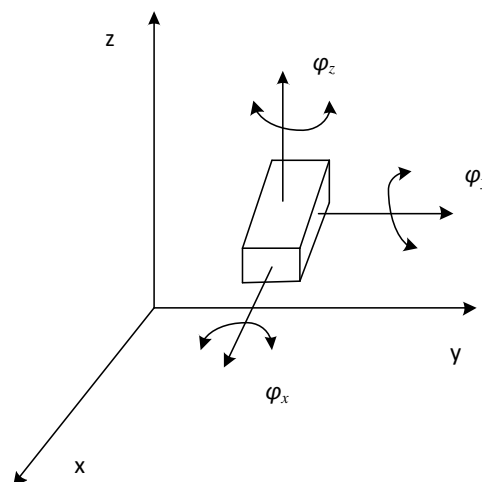
## 2. IZBOR STRUKTURE ROBOTSKOG MANIPULATORA

U ovom poglavlju upoznat će se različite strukture robota te će se s obzirom na njihove značajke odrediti koja struktura robota je najprikladnija, odnosno koja zadovoljava zahtjeve konstruiranja i izrade. Osnovne značajke u proučavanju robotskog mehanizma ima njegova kinematička struktura koja je definirana načinom povezivanja pojedinih članaka i zglobova. Kod odabira se uzima u obzir radni prostor robota te svrha samog manipulatora. Elektrohidraulički robotski manipulator mora moći izvršavati složenije radnje te pomicanje više zglobova istovremeno zbog preciznog pozicioniranja u prostoru.

### 2.1 KINEMATIKA ROBOTA

Slobodno se tijelo u kartezijevom prostoru može gibati sa šest neovisnih načina:

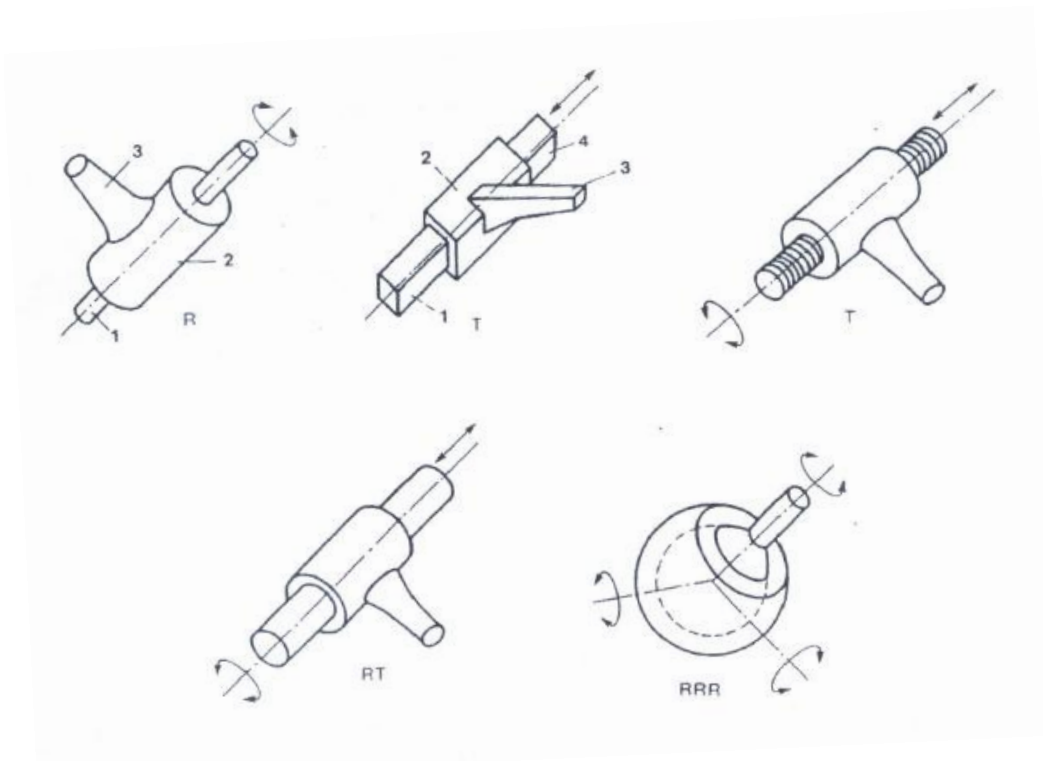
- Tri translacije (pomaka) duž koordinatnih osi  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , čime se postiže pozicioniranje točke nekog tijela u prostoru; [1]
- Tri rotacije (zakreta) oko koordinatnih osi  $\varphi_x$ ,  $\varphi_y$ ,  $\varphi_z$ , čime se omogućuje orijentacija tijela prema toj točki, tj. pozicioniranje druge točke tijela koja je čvrsto povezana s prvom. Orijentacija se može ostvariti samo rotacijom oko međusobno okomitih osi.



Slika 2.1 Pokretljivost tijela u prostoru

Za slobodno tijelo čije se gibanje u prostoru određuje pomoću šest parametara, kaže se da ima šest stupnjeva slobode gibanja:  $f = 6$ .

Ako se jedno tijelo mobilno veže na drugo, nastaje zglob, što smanjuje mogućnost gibanja, pa je  $f < 6$ . Ima različitih izvedbi zglobova, a nekoliko jednostavnijih prikazano je sljedećom slikom:

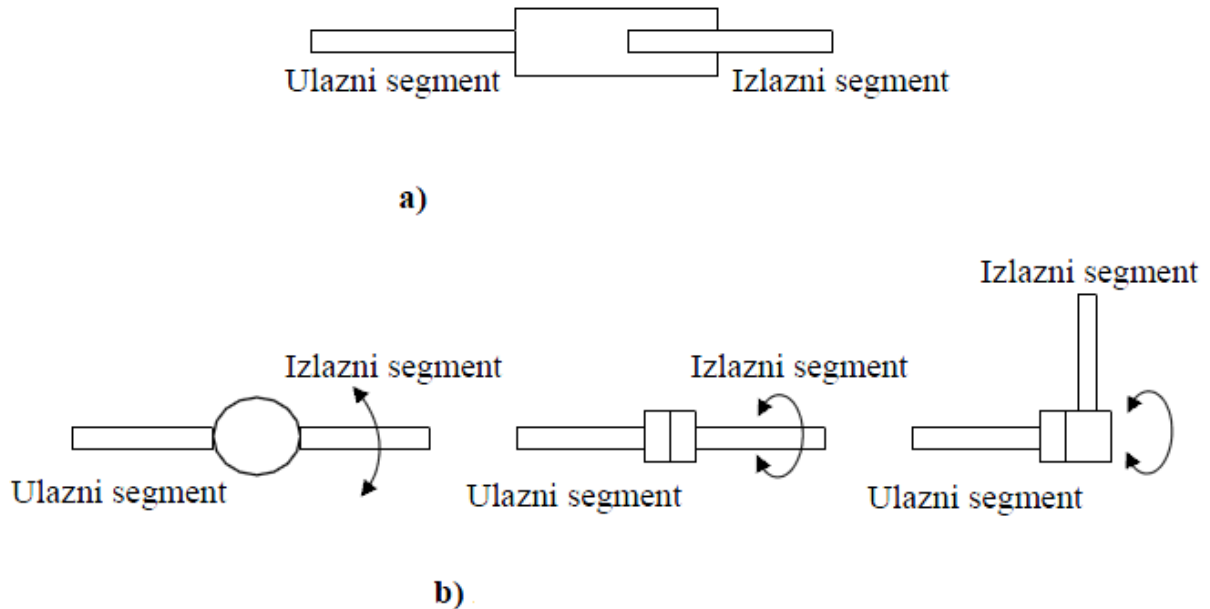


Slika 2.2 Pasivni zglobovi sa različitim stupnjem slobode gibanja

- Rotacijski zglob – zakretanje oko jedne osi,  $f = 1$ ;
- Translacijski zglob – pomak duž jedne osi,  $f = 1$ ;
- Vijčasti zglob – vezano zakretanje oko osi i pomak duž nje,  $f = 1$ ;
- Valjkasti zglob – zakretanje i pomak valjka unutar šupljeg valjka,  $f = 2$ ;
- Kuglasti zglob – tri neovisna zakretanja kugle unutar šuplje kugle (sličnost s ljudskim zglobom),  $f = 3$ .

To su sve pasivni zglobovi koji nemaju pokretačke prigone. Najvažnije mjerilo kvalitete jednog zgloba jest krutost odnosno otpor prema svakome nepoželjnom gibanju, a tome pogoduje manji broj stupnjeva slobode gibanja. Sa stajališta konstrukcije, kao i pogonskih

uvjeta, poželjno je da zglobovi imaju što niži stupanj slobode gibanja (SSG<sup>2</sup>). Zato se osnovnim zglobovima smatra rotacijski zglob te translacijski zglob koji će se koristiti u izradi elektrohidrauličkog robotskog manipulatora.



Slika 2.3 Jednostavni tipovi zglobova robotskog manipulatora

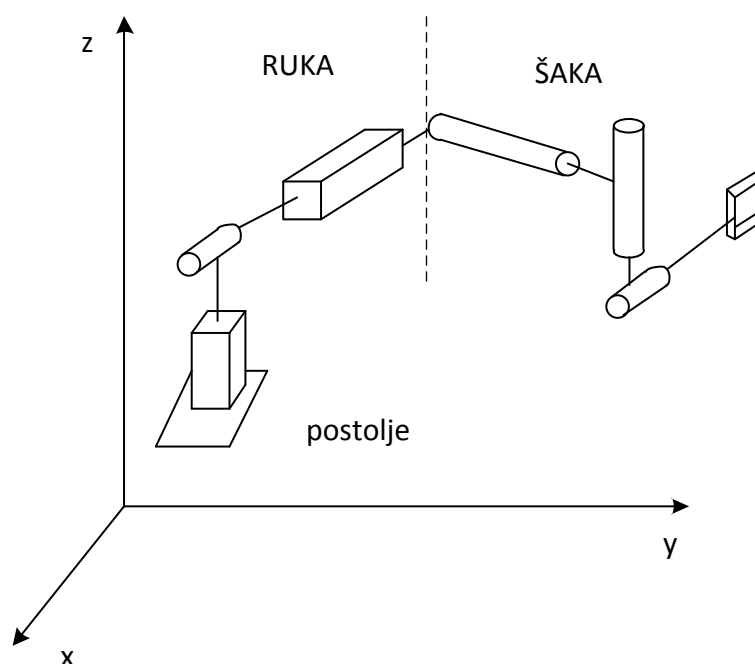
a) translacijski i b) rotacijski zglob

Pošto je zadatak projektirati manipulator koji će prenositi predmete u okolini kao što je industrijsko okruženje pretpostavlja se da je to otvoreni kinematički lanac, koji je i tipičan za robote. Naravno, otvorenom kinematičkom lancu za svaki stupanj slobode gibanja potreban je neki prigon, tj. između dva susjedna članka treba dovesti energiju koja se pretvara u sile ili momente.

<sup>2</sup> Stupanj slobode gibanja

## 2.2 KINEMATIČKE STRUKTURE ROBOTA

Robot može imati 6 SSG s kojima može postići potpuno pozicioniranje i orijentaciju (tri glavne osi ruke i tri pomoćne osi šake). To je potpuno pokretljiv manipulator, koji je shematski prikazan na sljedećoj slici. Na postolje je smještena ruka sa tri obavezna prigona (aktuatora); na to se serijski nadovezuje korijen šake sa tri rotacijska prigona. Na vrhu šake se montira prihvatnica (hvataljka, senzor). To je primjer kako i članci ruke i šake robota djeluju serijski, a to će biti vrlo bitno kod projektiranja elektrohidrauličkog manipulatora.



Slika 2.4 Shematski prikaz robota i njegovih mehaničkih podsustava

Prema maksimalno pokretljivoj i spretnoj čovječjoj ruci, koja ima 32 stupnja slobode gibanja i tisuće osjetila položaja, sile, temperature, robot djeluje nezgrapno i teško. Povećanje broja stupnjeva slobode gibanja tehnički je veoma složeno. Ipak se primijenjuje redundantnost robotskih osi, i to zbog sljedećih razloga:

- Ruka takvog robota može zaobići prepreke, npr. pri radu na unutrašnjosti karoserije;
- Može se postići optimiranje utroška energije, kao u slučaju čovječje ruke;
- Takva je ruka popustljiva (eng. *compliance*), što je velika prednost pri radu.

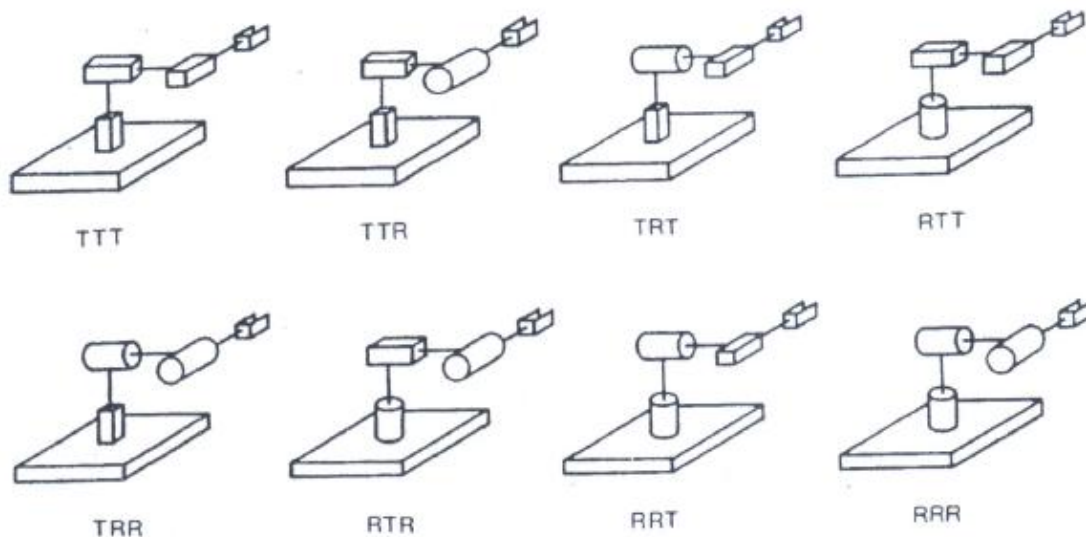
Općenito se može reći da veći broj stupnjeva slobode gibanja sve više ograničava funkcionalnost robota. Tako se smanjuje točnost, povećava kompjutorsko vrijeme, otežava prijenos energije duž članka, a samim time se povećavaju i troškovi. Zbog toga se teži da se broj zglobova smanji čak i ispod šest, čak i kad se pojavljuju redundantni zglobovi.

Svaki robot mora imati barem mogućnost pozicioniranja u prostoru, jer bez toga nema robota. Zato se struktura sa tri stupnja slobode gibanja naziva minimalna konfiguracija te će se takva koristiti i kod ovog hidrauličkog manipulatora. Sa tri stupnja slobode gibanja pozicionira se korijen šake.

Neke od mogućih konfiguracija kinematičke strukture robota su:

TTT, TTR, TRT, RTT, TRR, RTR, RRT, RRR

te su kao takve prikazane sljedećom slikom.



Slika 2.5 Kinematičke strukture robota

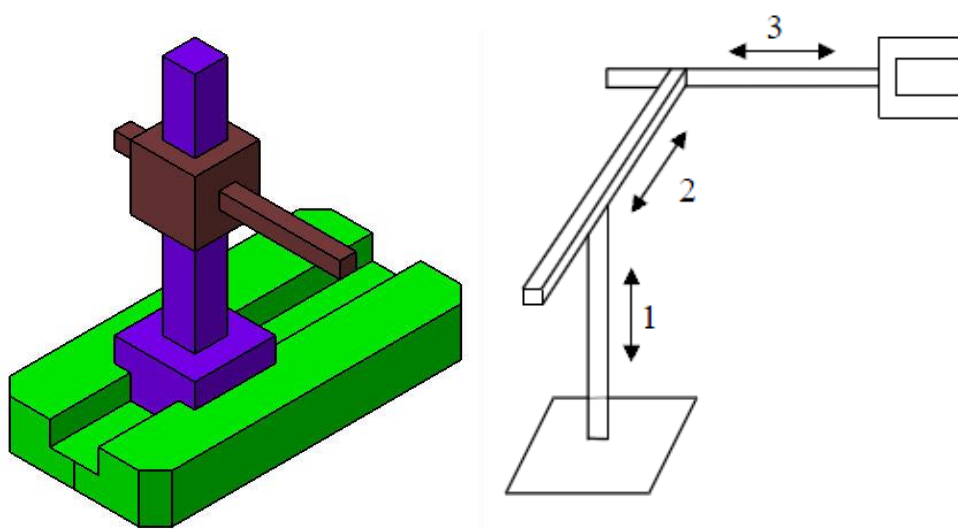
Od navedenih struktura upotrebljavaju se samo neke od njih:

- Kartezijeva struktura TTT,
- Cilindrična struktura RTT,
- Sferna struktura RRT,
- Revolutna struktura RRR.

Svaka struktura ima svoje prednosti i mane te će se u sljedećim poglavljima ukratko objasniti svojstva pojedinih struktura na osnovu kojih se odlučuje koja struktura robotskog manipulatora je najprihvatljivija za projektiranje.

### 2.2.1 Kartezijska struktura TTT

Na sljedećoj slici se vidi shema kartezijske strukture. Robot može imati 3 gibanja kao što je to prikazano slikom.



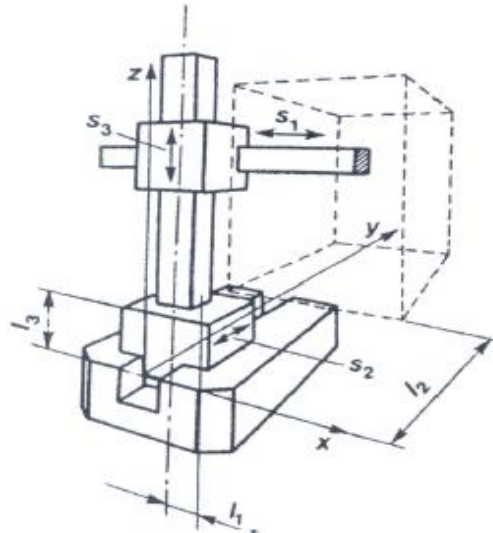
Slika 2.6 Shema kartezijske strukture robota

Mogu se očitati sljedeće kartezijske (vanjske) koordinate, sve u odnosu prema referentnim koordinatama (unutrašnjim) samog robota:

$$p_x = l_1 + s_1 \quad (1)$$

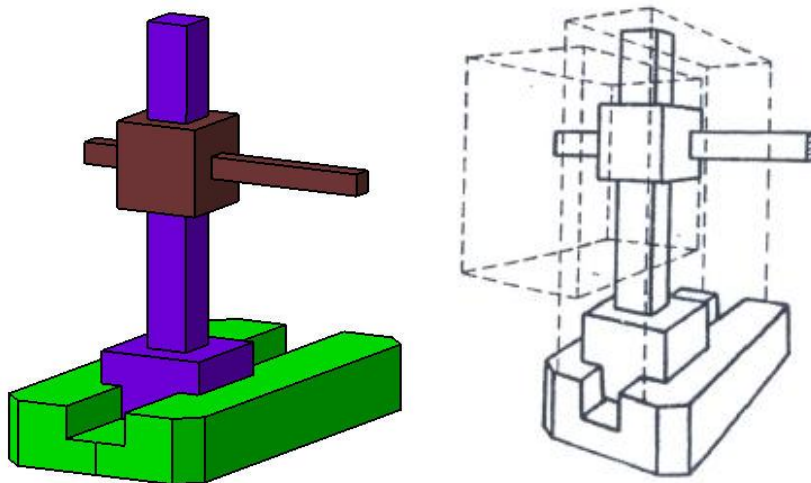
$$p_y = l_2 + s_2 \quad (2)$$

$$p_z = l_3 + s_3 \quad (3)$$



Slika 2.7 Unutrašnje i vanjske koordinate kartezijske strukture robota

Na slici 2.8 crtkano je prikazan i manipulacijski (radni) prostor, gdje ruka robota može dovesti vrh prihvatnice. Za smještaj i rad robota također je potrebno znati kolizijski prostor. Njega čini sam obujam robota i pokretni dijelovi koji ga mogu ispuniti, a izvan su manipulacijskog prostora. Nastoji se da omjer manipulacijskog i kolizijskog prostora bude što veći.



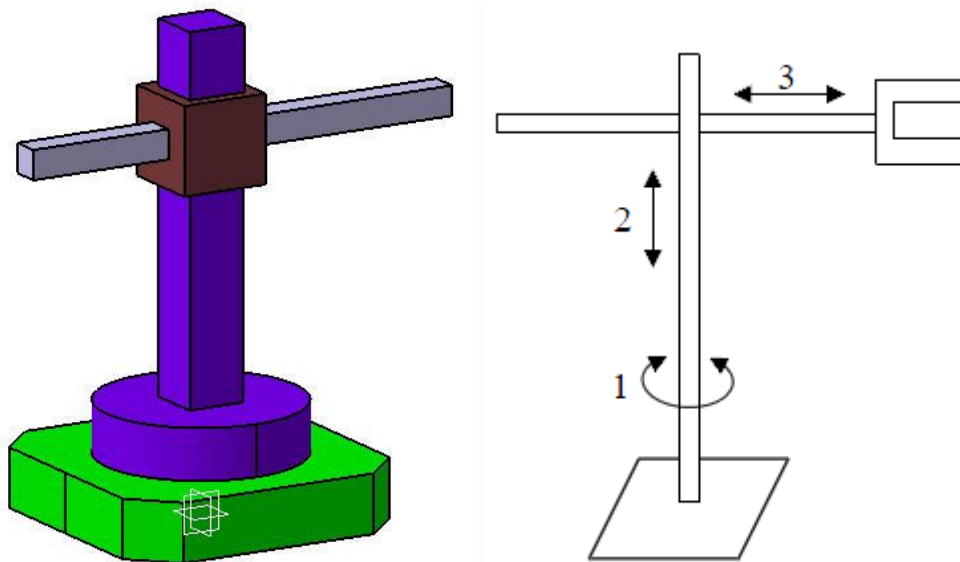
Slika 2.8 Manipulacijski i kolizijski prostor kartezijske strukture robota

Kartezijska se struktura često koristi u alatnim strojevima jer je kruta, pa se može postići dobra točnost; manje brzine nisu kritične. To je i slučaj s mjernim robotima. U montaži je povoljan manipulacijski prostor u obliku kvadra, a osim toga, prihvatnica se po pravilu giba u

smjeru pravokutnih osi. Zbog čega je i algoritam upravljanja jednostavan. Kao što je navedeno ovakvom strukturom manipulatorom može se postići dobra točnost, ali kod robota koji će se konstruirati, potrebno je da radni prostor bude puno veći te da se robot može pozicionirati u nepravocrtanim kretanjima. Iz ovog razloga kartezijeva struktura nije povoljna.

### 2.2.2 Cilindrična struktura RTT

S obzirom na građu cilindrična struktura ima slična svojstva točnosti i krutosti kao kartezijska struktura. Kao i kod kartezijeve strukture i cilindrična struktura ima 3 gibanja, odnosno kretanja se mogu vršiti u 3 smjera.



Slika 2.9 Cilindrična konfiguracija robota

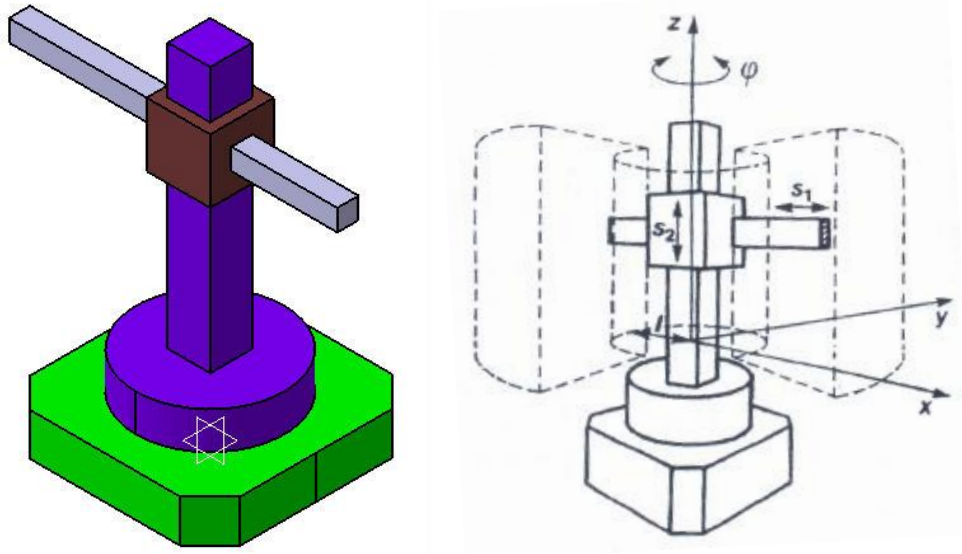
Obično se upotrebljava za opsluživanje alatnih strojeva jer se mijenjanje obradaka obavlja u horizontalnom smjeru. Kartezijske su koordinate prikazane sljedećim jednadžbama:

$$p_x = (l + s_1) \cos \varphi \quad (4)$$

$$p_y = (l + s_1) \sin \varphi \quad (5)$$

$$p_z = s_2 \quad (6)$$



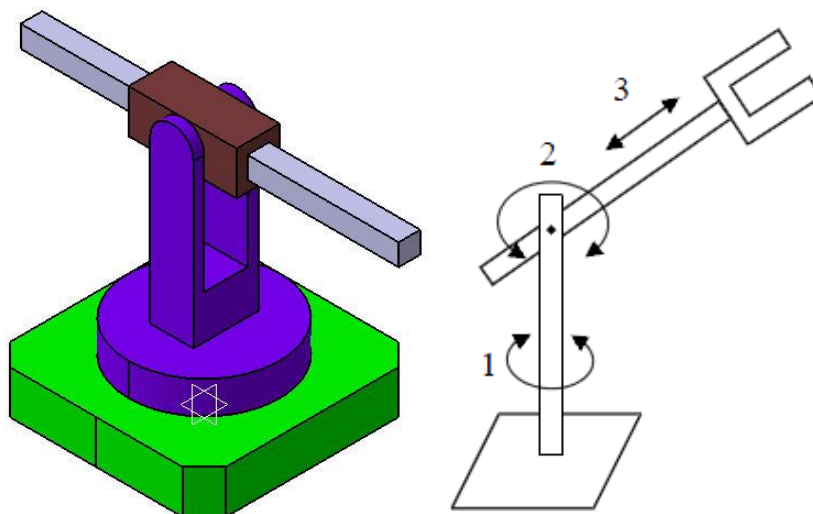


Slika 2.10 Cilindrična struktura ruke robota RTT

Radni prostor ovakve strukture nije puno veći od kartezijske strukture, odnosno ovakav tip robota nije dovoljno fleksibilan za zahtjeve koje mora ispunjavati elektrohidraulički robotski manipulator.

### 2.2.3 Sferna struktura RRT

Sferna ili RRT strukturu prikazana je slikom 2.11.



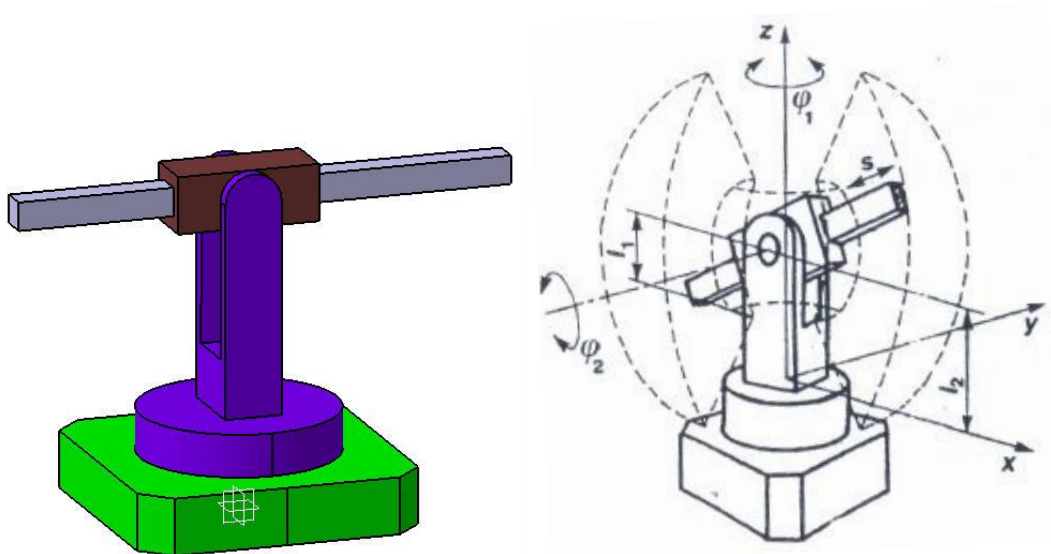
Slika 2.11 Sferna struktura robota RRT

Kao i kod prethodnih struktura, na prethodnoj slici se vidi da se robot može gibati u tri smjera. Na prva dva članka dvije rotacije, a na trećem članku translacija. Kartezijske koordinate čine sljedeće jednadžbe:

$$p_x = (l_1 + s) \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \quad (7)$$

$$p_y = (l_1 + s) \sin \varphi_1 \cos \varphi_2 \quad (8)$$

$$p_z = l_2 + (l_1 + s) \sin \varphi_2 \quad (9)$$



Slika 2.12 Radni prostor sferne strukture robota

Nosivost ovakvog robota je manja nego prve dvije navedene strukture robota, ali kao što je prikazano slikom 2.12. radni prostor ovog robota je puno veći za razliku od kartezijske i cilindrične strukture robota.

#### 2.2.4 Revolutna struktura RRR

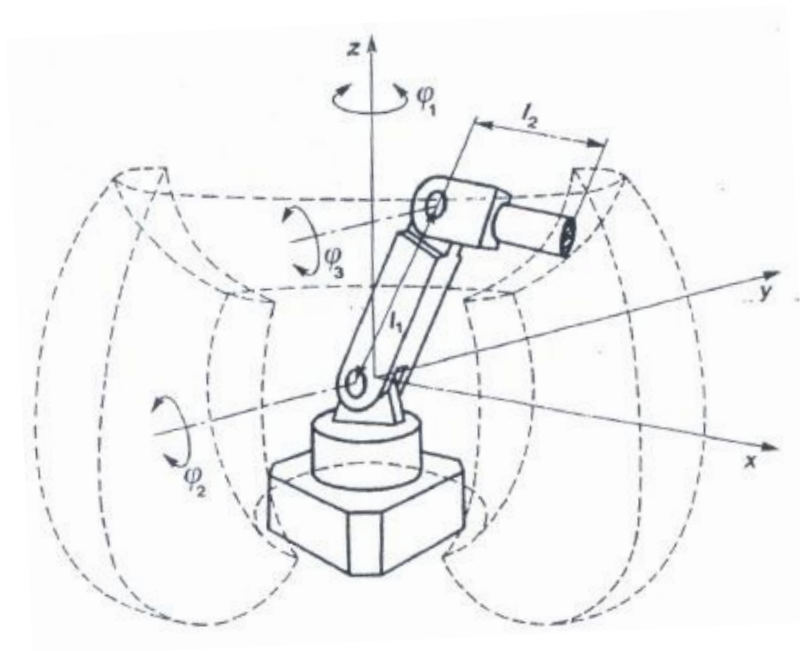
Ova struktura robotskog manipulatora najviše podsjeća na čovječju ruku: rame, lakat, šaku. Kao i u čovjeka, svi su zglobovi rotacijski. Na rotacijski zglob ramena nastavljaju se zglobovi lakta i zapešća. Iako se u vezi s revolutnom strukturom najprije pomisli na strukturu u kojoj su sve tri osi rotacije okomite jedna na drugu, najčešće se upotrebljavaju varijante u kojima se na osnovni rotacijski zglob uz podnožje nadovezuju dva rotacijska zgloba koji leže

u istoj horizontalnoj ili vertikalnoj ravnini. Sljedećim jednađbama opisana su gibanja revolutne strukture robotskog manipulatora.

$$p_x = [(l_1 + l_2 \cos \varphi_3) \cos \varphi_2 - l_2 \sin \varphi_2 \sin \varphi_3] \cos \varphi_1 \quad (10)$$

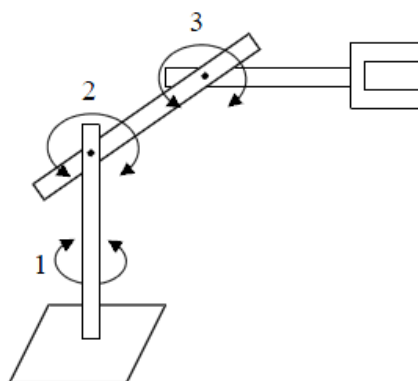
$$p_y = [(l_1 + l_2 \cos \varphi_3) \cos \varphi_2 - l_2 \sin \varphi_2 \sin \varphi_3] \sin \varphi_1 \quad (11)$$

$$p_z = [(l_1 + l_2 \cos \varphi_3) \sin \varphi_2 - l_2 \sin \varphi_3 \cos \varphi_2] \quad (12)$$



Slika 2.13 Vertikalna progibna struktura (RRR robot)

Prethodnom slikom prikazan je radni prostor koji ovaj robot može obuhvatiti, a sljedećom slikom prikazat će se gibanja robota.



Slika 2.14 Gibanja RRR robota

Na prehodnoj slici su prikazane 3 rotacije koje se odnose na prvi, drugi i treći članak robota. Kako prigroni ne opterećuju podnožje, robot te strukture može se montirati u raznim položajima.

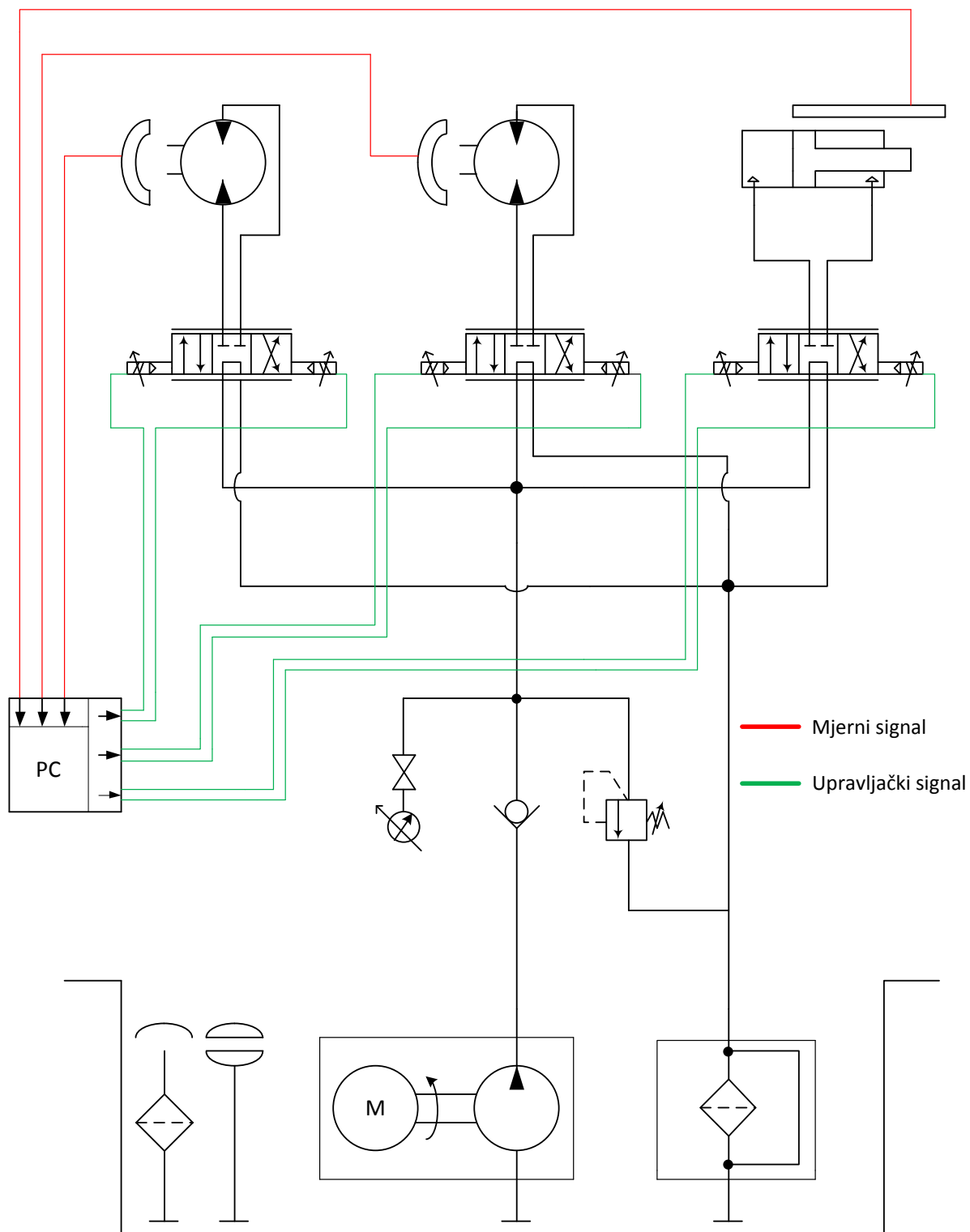
Ovakva struktura robota pruža velik obujam radnog prostora te fleksibilnost što su ključni zahtjevi kod projektiranja elektrohidrauličkog robotskog manipulatora. Naravno sa većom fleksibilnošću se smanjuje nosivost robota gledajući konstrukcijski, ali pošto će manipulator biti pogonjen hidraulički nosivost će se tako kompenzirati.

### **3. HIDRAULIČKI SUSTAV ROBOTSKOG MANIPULATORA**

U ovom poglavlju će se prikazati prednosti i nedostaci hidraulike kao pokretačkog pogona sustava te će se ukratko objasniti pojmovi mobilne i stacionarne hidraulike. S obzirom na zahtjeve nosivosti i projektne zahtjeve elektrohidrauličkog robotskog manipulatora proračunat će se dimenzije i radne karakteristike izvršnog, pogonskog, mjernog i upravljačkog dijela sustava.

Projektne zahtjevi koji su postavljeni su okosnica proračuna izvršnog dijela sustava. Zadane su brzine gibanja cilindra te brzine kretanja robotskog manipulatora. Izračunat će se količina protoka koja je potrebna izvršnim elementima te će se s obzirom na taj iznos izabrati komponente pogonskog sustava. Uz to potrebni su nam i upravljački uređaji koji ograničavaju tlak u sustavu kao i servoventili koji određuju potrebnu količinu dobave izvršnom elementu za obavljanje određenog zadatka. Mjerni uređaji kao što su linearni enkoder i inkrementalni enkoder služe za slanje vrijednosti pozicije izvršnog elementa upravljačkom uređaju koji procesuirao podatke te upravljački signal šalje prema servoventilima. [2]

Sljedećom slikom prikazana je shema cijelog hidrauličkog sustava sa pripadajućim upravljačkim sustavom.



Slika 3.1 Hidrauličko-upravljačka shema robotskog manipulatora

### 3.1 PREDNOSTI I NEDOSTACI HIDRAULIKE

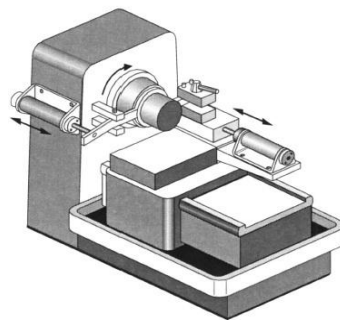
Riječ „hidraulika“ potječe od grčke riječi „*hydor*“ što znači „voda“. Pod tim se podrazumijevaju sve zakonitosti u vezi tekućine kao medija. Danas se pod pojmom „hidraulika“ podrazumijeva prenošenje i upravljanje silama i kretanjima korištenjem fluida. Hidrauličke tekućine su medij za prijenos snage. [3]

Uloga hidraulike u modernim automatizacijskim tehnologijama vidi se u brojnim primjerima primjene. Postoji bitna razlika između:

- Stacionarne hidraulike i
- Mobilne hidraulike.

Sustavi mobilne hidraulike kreću se na kotačima ili vrpčama, dok su uređaji stacionarne hidraulike pričvršćeni za podlogu u jednom položaju. Značajka mobilne hidraulike je da su razvodnici često ručno upravljani. Kod stacionarne hidraulike upravljanje je uglavnom električno. Hidraulika se može primjenjivati i u pomorstvu, rudarstvu i zrakoplovstvu. Hidraulika u zrakoplovstvu zbog neophodne sigurnosti zauzima posebno mjesto. Za stacionarnu hidrauliku karakteristični su sljedeći primjeri primjene: [4], [5]

- proizvodnja i montaža strojeva svih vrsta,
- transportne vrpce,
- uređaji za dizanje i prijenos preše,
- valjaonice,
- dizala,
- karakteristična primjena je u konstrukciji alatnih strojeva.



Slika 3.2 Prikaz tokarskog stroja

Karakteristični primjeri primjene mobilne hidraulike:

- građevinski strojevi,
- grabilice, rovokopači, platforme za dizanje tereta,
- prenosila i dizala,
- poljoprivredni strojevi.

Velika i raznolika primjena hidraulike je u građevinskim strojevima. Na primjer kod rovokopača hidraulikom se ne izvode samo radna kretanja (podizanje, hvatanje, zakretanje), nego je i kretanje samog stroja hidrauličko. Linearna gibanja ostvaruju se linearnim aktuatorima (cilindrima), a kružna gibanja zaokretnim aktuatorima (motorima).



Slika 3.3 Prikaz mobilne hidraulike

U ovom radu zadatak je projektirati robotski manipulator stoga će se koristiti izraz stacionarna hidraulika.

Postoje i druge tehnologije koje se mogu primijeniti u upravljanju za stvaranje sila, gibanja i signala:

- mehanika,
- elektrika,
- pneumatika.



Svaka tehnologija ima svoje prednosti u pojedinim područjima primjene. Sljedećom tablicom uspoređeni su karakteristični podaci za tri najčešće primjenjivane tehnologije – električnu, pneumatsku i hidrauličku.

Tablica 3.1 Usporedba tri vrste tehnologije

	Elektrika	Hidraulika	Pneumatika
Propuštanje		Zagađivanje	Nije bitno osim zbog gubitka energije
Utjecaj na okoliš	Opasnost od eksplozije u pojedinim područjima, neosjetljivost na temperaturu	Osjetljivost u slučaju promjene temperature, opasnost od vatre u slučaju propuštanja	Sigurnost od eksplozije, neosjetljivost na temperaturu
Spremanje energije	Teško i samo u malim iznosima pomoću akumulatora	Ograničeno, pomoću plinova	Lako
Prijenos energije	Neograničen uz gubitak snage	Dobava do 100 m, $v = 2-6$ m/s, brzina signala do 1000 m/s	Dobava do 1000 m, $v = 20-40$ m/s, brzina signala 20-40 m/s
Radna brzina		$v = 0,5$ m/s	$v = 1,5$ m/s
Gubici snage	mali	veliki	vrlo veliki
	0,25	: 1	: 2,5
Gibanje po pravcu	Složeno i skupo, male sile, regulacija brzine moguća samo uz velike troškove	Jednostavno pomoću cilindara, dobra regulacija brzine, vrlo velike sile	Jednostavno pomoću cilindara, ograničene sile, brzina jako ovisi o opterećenju
Kružno gibanje	Jednostavno i velika snaga	Jednostavno, velik okretni moment, mala brzina	Jednostavno, neefikasno, velika brzina
Točnost pozicioniranja	Točnost do $\pm 1\mu\text{m}$ lako ostvariva	Točnost do $\pm 1\mu\text{m}$ ostvariva ovisno o troškovima	Uz jednoliko opterećenje moguća točnost do 1/10 mm
Stabilnost	Vrlo dobra uz mehaničke veze	Velika zbog toga što je ulje praktički nestlačivo uz veće tlakove nego kod pneumatike	Mala zbog stlačivosti zraka
Sile	Ne smije se preopteretiti. Mala efikasnost zbog mehaničkih uređaja koji slijede. Moguće ostvariti vrlo velike sile	Sigurno od preopterećenja. Uz tlakove u sustavu do 600 bara moguće postići sile do 3000 kN	Sigurno od preopterećenja, sile ograničene tlakom i promjerom cilindra na $F < 30$ kN pri 6 bara

Ta usporedba pokazuje bitne prednosti hidraulike:

- prienos velikih sila malim komponentama, odnosno velik prienos snage,
- precizno pozicioniranje,
- moguće pokretanje pod velikim opterećenjem,

- jednoliko gibanje neovisno o opterećenju zbog male stlačivosti tekućina, uz moguću primjenu regulatora protoka,
- jednoliko radno i povratno gibanje,
- moguće kvalitetno riješiti upravljanje i regulaciju,
- dobro hlađenje.

U usporedbi s drugim tehnologijama, hidraulika ima sljedeće nedostatke:

- zagađenje okoliša uslijed istjecanja ulja (opasnost od požara ili zagađenja),
- osjetljivost na nečistoće,
- opasnost od prevelikih tlakova (pucanje vodova),
- temperaturna ovisnost (promjena viskoznosti),
- loš stupanj korisnosti.

### 3.2 PROJEKTNI ZAHTJEVI

Projektne zahtjevi ovog sustava su sljedeći:

- masa tereta:  $m = 150 \text{ kg}$
- maksimalni hod klipa cilindra:  $l = 400 \text{ mm}$
- tlak u sustavu (nazivni tlak):  $p_s = 160 \text{ bar}$
- Kutna brzina cijelog robota:  $\omega_{R1max} = 95 \text{ rad/min}$
- Kutna brzina prvog članka robota:  $\omega_{R2max} = 125 \text{ rad/min}$
- Maksimalna brzina izvlačenja cilindra:  $v_{cI} = 55 \text{ mm/s}$

Svaki sustav se mora sastojati od pogonskog i izvršnog djela. Pogonski dio sustava čine elektromotor i hidraulička crpka, dok izvršni dio sustava čine hidromotori i cilindar. Pošto je cilj ovog diplomskog rada dizajnirati elektrohidraulički robotski manipulator sa svim pripadajućim komponentama, potrebno je naći komponente mjernog sustava koji je putem upravljačkog sustava spojen na servoventile, koji određuju poziciju i kut izvršnih elemenata. Znači, potrebno je prikazati i odabrati komponente upravljačkog i mjernog sustava kao što su

linearni enkoder (mjeri poziciju cilindra) i inkrementalni enkoder (mjeri brzinu vrtnje osovine hidromotora).

Da bi se mogle odrediti komponente sustava potrebno je znati količinu fluida koju je potrebno dovesti određenom izvršnom elementu, te će tako i proračun izbora komponenata početi od izvršnih elemenata hidrauličkog sustava.

### 3.3 IZVRŠNI DIO HIDRAULIČKOG SUSTAVA

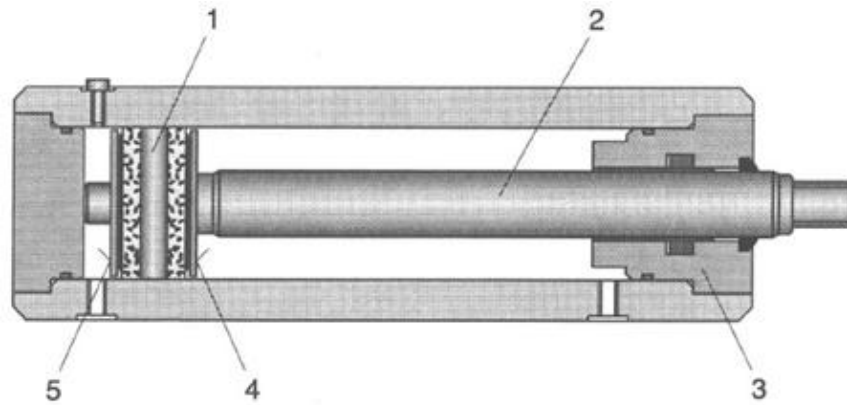
Izvršni dio hidrauličkog sustava se sastoji od dva hidromotora i cilindra. Jedan hidromotor je postavljen ispod stola na koji je pričvršćen robot te mu je svrha zakretati cjeli robot oko svoje osi. Drugi hidromotor je postavljen na prvi članak robota te mu je svrha zakretati članak za maksimalnih 180°. Cilindar ima zadatak rotirati drugi članak oko zgloba te njegov hod iznosi maksimalnih 400 mm.

#### 3.3.1 Cilindar

Hidraulički cilindar je izvršni član trećeg rotirajućeg zgloba. Cilindar pretvara hidrauličku u mehaničku energiju. Gibanje cilindra je pravocrtno. Zbog toga se naziva i „linearni motor“. Postoje dva tipa hidrauličkih cilindara:

- jednoradni cilindar,
- dvoradni cilindar. [4]

Kod izrade robotskog manipulatora koristit će se dvoradni cilindar jer je kod robota bitno da se može pozicionirati u točno određeni položaj što omogućuje dvoradni cilindar koji može tlačiti klip s obadje strane. Shema takvog cilindra prikazana je sljedećom slikom:



Slika 3.4 Dvoradni cilindar

1) klip, 2) klipnjača, 3) ležaj klipnjače, 4) prstenasta površina klipa, 5) površina klipa

Kod dvoradnih cilindara obje strane klipa mogu biti pod tlakom. Tako je omogućeno radno gibanje u oba smjera. Ovi cilindri rade prema sljedećem načelu: Hidraulička tekućina ulazi u prostor klipa i tlači površinu klipa. Unutrašnji i vanjski otpori dovode do rasta tlaka. Prema zakonu:

$$F = p \cdot A \quad (13)$$

sila  $F$  nastaje djelovanjem tlaka  $p$  na površinu  $A$ . Kada tlak prevlada otpore, klipnjača se izvlači. Do toga dolazi uslijed pretvorbe hidrauličke energije u mehaničku u izvršnom uređaju.

Treba imati na umu da se za vrijeme izvlačenja cilindra ulje na strani klipnjače mora vodovima odvesti u spremnik. Pri uvlačenju cilindra, hidraulička tekućina ulazi u prostor na strani klipnjače. Klipnjača se uvlači, a ulje na strani klipa se potiskuje prema spremniku. Dvoradni cilindri s klipnjačom na jednoj strani, zbog razlika u površinama (klipa i klipnog prstena), uz isti protok stvaraju različite sile i brzine pri izvlačenju i uvlačenju. Povratna brzina je veća, jer iako je protok isti, stvarna površina je manja nego pri izvlačenju. [6]

Kao što je već spomenuto potrebna masa, odnosno sila koju cilindar treba podići iznosi 150 kg.

$$F = m \cdot g = 150 \cdot 9.81 = 1472 \text{ N} \quad (14)$$

Pošto se kod proketiranja mora uzeti u obzir dodatna težina prihvatnice, konstrukcije robota i sila koje djeluju u mehanizmu, sila koju robot odnosno cilindar mora biti u stanju podići i savladati iznositi će:

- $F = 1500 \text{ N}$

U tijeku odabira cilindra koristiti se katalog tvrtke „*Rexroth Bosch*“. [7]

Za zadane zahtjeve, koristiti će se cilindar iz kataloga s oznakama  $\phi 25/\phi 18$  te će se zadati hod klipa  $l = 400 \text{ mm}$ . Iz navedenih oznaka mogu se izračunati površine klipa i radni volumen cilindra.

$$A_1 = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} = 490 \text{ mm}^2 \quad (15)$$

$$A_2 = \frac{(D^2 - d^2) \cdot \pi}{4} = 236 \text{ mm}^2 \quad (16)$$

$$A = \frac{A_1 + A_2}{2} = 363 \text{ mm}^2 \quad (17)$$

$$V_c = A \cdot l = 1454.5 \cdot 400 = 0.145 \text{ m}^3 \quad (18)$$

Prethodni izrazi predstavljaju:

- $A_1$  – površina klipa,
- $A_2$  – površina prstena klipa,
- $D$  – promjer klipa,
- $d$  – promjer klipnjače,
- $V_c$  – radni volumen hidrauličkog cilindra.

Zahtjev za izradu hidrauličkog sustava je brzina izvlačenja cilindra koja iznosi  $55 \text{ mm/s}$ . Iz navedenog će se izračunati potrebna količina dobave pumpe za cilindar.

$$Q_c = A_1 \cdot v_{c1} = 1.62 \text{ l/min} \quad (19)$$

$$v_{c2} = \frac{Q_c}{A_2} = 102 \text{ mm/s} \quad (20)$$

$$t_1 = \frac{l}{v_1} = 7.2 \text{ s} \quad (21)$$

$$t_2 = \frac{l}{v_2} = 3.9 \text{ s} \quad (22)$$

Prethodni izrazi predstavljaju:

- $v_1$  – brzina izvlačenja klipa,
- $v_2$  – brzina uvlačenja klipa,
- $t_1$  – vrijeme izvlačenja klipa,
- $t_2$  – vrijeme uvlačenja klipa,
- $Q_c$  - količina protoka cilindra.

Iz sljedećeg izraza će se izračunati potreban tlak u cilindru za podizanje tereta:

$$p = \frac{F}{A} = 48 \text{ bar} \quad (23)$$

Iz zadanih uvjeta, izračunatih izraza i kataloga tvrtke *Rexroth Bosch* odabran je cilindar kojem su kao što je navedeno oznake  $\phi 25/ \phi 18$  i hod klipa  $l = 400$  mm, te je prikazan sljedećom slikom, a u prilogu su prikazani tehnički podaci vezani uz odabir cilindra tvrtke „*Bosch Rexroth*“.



Slika 3.5 Izabrani cilindar tvrtke "Bosch Rexroth"

Iz prethodnog proračuna za izvršnu komponentu cilindra se izračunalo da je potrebna količina dobave cilindra 1.62 l/min. Potrebno je izvršiti proračun za količinu dobave preostala dva izvršna elementa u svrhu odabira pogonskog dijela sustava crpke i elektromotora.

### 3.3.2 Hidraulički motori

Sljedeći izvršni članovi hidrauličkog sustava su hidromotori koji su izvršni članovi prva dva rotirajuća zgloba.

Hidraulički motori su izvršni uređaji (aktuatori), dijelovi izvršnog podsustava. Pretvaraju hidrauličku energiju u mehaničku i proizvode kružna gibanja (zaokretni aktuatori). Uređaju koji imaju kružno gibanje samo u određenom kutnom području nazivaju se zaokretnim motorima. Hidraulički motori imaju iste karakteristične veličine kao i crpke. Umjesto o istisnini kod hidromotora se govori o volumenu punjenja. [4]

Kod odabira hidromotra mora se paziti na brzinu pripadajućih članaka koja se želi postići. Tako je u projektnih zahtjevima postavljeno:

- Kutna brzina cijelog robota:  $\omega_{R1max} = 95 \text{ rad/min}$
- Kutna brzina prvog članka robota:  $\omega_{R2max} = 125 \text{ rad/min}$

Odnosno maksimalan broj okretaja prvog i drugog rotacijskog zgloba robota iznose:

$$n = \frac{\omega}{2\pi} \quad (24)$$

- $n_{R1max} = 15 \text{ }^\circ/\text{min}$
- $n_{R2max} = 20 \text{ }^\circ/\text{min}$

Pošto su brzine okretanja članaka vrlo male s obzirom na broj okretaja koju može hidromotor postići koristi se reduktor tako da smanji broj okretaj hidromotora na brzinu koja je potrebna robotskom manipulatoru. Prijenosni omjer takvog reduktora iznosi:

$$i = \frac{n_{1max}}{n_{R1max}} = 10 \quad (25)$$

$$i = \frac{n_{2max}}{n_{R2max}} = 10 \quad (26)$$

Iz prethodnih izraza proizlazi da maksimalan broj okretaj koju hidromotori moraju postići iznose:

- $n_{1max} = 150 \text{ }^\circ/\text{min}$

- $n_{2\max} = 200 \text{ }^\circ/\text{min}$

Kao i kod odabira cilindra, tako se i ovdje koristi katalog tvrtke „Bosch Rexroth“ te se odabiru hidromotori model br. AZM-F-5.5NG s vanjskim ozubljenjem koji imaju sljedeće karakteristike: [7]

- Radni volumen:  $V = 5.5 \text{ cm}^3$ ,
- Maksimalni tlak:  $p = 250 \text{ bar}$ ,
- Maksimalna brzina vrtnje:  $n_{\max} = 5000 \text{ }^\circ/\text{min}$ ,

Količina dobave potrebna za prvi hidromotor izračunava se sljedećim izrazom:

$$Q_{M1} = n \cdot V = 0.825 \text{ l/min} \quad (27)$$

dok je količina dobave za drugi hidromotor:

$$Q_{M2} = n \cdot V = 1.1 \text{ l/min} \quad (28)$$



Slika 3.6 Hidromotor AZM-F-5.5NG

Tehnički nacrt hidrauličkog motora je prikazan u prilogu.



### 3.4 POGONSKI DIO HIDRAULIČKOG SUSTAVA

U svakom sustavu gdje postoje izvršne komponente također postoje i pogonske komponente. Karakteristika ovog hidrauličkog sustava je da se pogonski dio sastoji od hidrauličke crpke i elektromotora. Crpka služi za napajanje sustava tlačnim fluidom dok elektromotor služi da prenosi rotacijsko gibanje preko osovine na samu crpku.

#### 3.4.1 Hidraulička crpka

Nakon što su odabrani odgovarajući izvršni elementi sustava potrebno je odabrati odgovarajuću crpku koja će napajati hidraulički sustav fluidom.

Crpka u hidrauličkom sustavu (hidraulička crpka) pretvara mehaničku energiju u hidrauličku energiju (energiju tlaka). Crpka istiskuje hidrauličku tekućinu u sustav vodova. Otpori koji se javljaju pri tom protoku stvaraju tlak u hidrauličkom sustavu. Razina tlaka ovisi o ukupnim unutrašnjim i vanjskim otporima i brzini strujanja. [4]

- Vanjski otpori: nastaju uslijed najvećih opterećenja i mehaničkog trenja, odnosno statičkih opterećenja i ubrzanja.
- Unutrašnji otpori: nastaju kao rezultat ukupnog otpora u cjevovodu i uređajima, viskozno trenja i gubitaka protoka (na suženjima).

Iz navedenog proizlazi da tlak u hidrauličkom sustavu nije određen crpkom. Tlak raste s otporima, u krajnjem slučaju do kidanja dijelova sustava. Tlak se ograničava na najveću vrijednost koju podnosi crpka. Tako će se u ovom radu koristiti tlačni ventil za smanjenje i ograničavanje tlaka u sustavu.

Odabirom pumpe ograničavamo količinu dobave u sustavu te se mora paziti na zahtjeve brzine vrtnje hidromotora i brzini izvlačenja cilindra.

Izračunat je maksimalan protok za cilindar i hidromotore:

- Količina protoka za prvi hidromotor:  $Q_{MI} = 0.825$  l/min,

- Količina protoka za drugi hidromotor:  $Q_{M2} = 1.1 \text{ l/min}$ ,
- Količina protoka cilindra:  $Q_C = 1.62 \text{ l/min}$ .

Ukupna količina dobave koju crpka mora ispostaviti iznosi:

$$Q = Q_{M1} + Q_{M2} + Q_C = 3.545 \text{ l/min} \quad (29)$$

Kod odabira crpke mora se paziti na snagu same crpke što je povezano sa odabirom elektromotora, te o radnom prostoru crpke gdje će se koristiti. Koristeći katalog tvrtke „Bosch Rexroth“ odabire se crpka model br. PGF-FS1 unutarnjeg ozubljenja sa sljedećim karakteristikama: [7]

- Snaga pumpe:  $P = 1.2 \text{ kW}$
- Maksimalni tlak:  $p_{max} = 180 \text{ bar}$
- Radni volumen:  $V = 1.7 \text{ cm}^3$
- Maksimalna brzina vrtnje:  $n_{max} = 4500 \text{ }^\circ/\text{min}$



Slika 3.7 Crpka s unutarnjim ozubljenjem

Za maksimalnu količinu dobave potrebna brzina vrtnje ove crpke iznosi:

$$n = \frac{Q}{V} = 2085 \text{ }^\circ/\text{min} \quad (30)$$

Tehnička dokumentacija crpke je prikazana u prilogu.

### 3.4.2 Elektromotor

Kod izbora elektromotora se mora paziti na radne karakteristike crpke. Pošto se pretpostavlja da snaga crpke ne bude veća od 2.2 kW odabire se jednofazni asinkroni elektromotor tvrtke „Končar“ model br. 5AZCD 80B-2 koji ima sljedeće radne karakteristike: [8]

- Brzina vrtnje elektromotora:  $n = 2860$  °/min
- Snaga elektromotora:  $P = 1.1$  kW

Kao što je prikazano u radnim karakteristikama maksimalan broj okretaja zadovoljava uvjete rada crpke te se sa ovim motorom ispunjavaju svi projektni zahtjevi.



Slika 3.8 Jednofazni asinkroni elektromotor

Riječ je o jednofaznom kaveznom asinkronom motoru (motor s povećanim poteznim momentom) s pogonskim i zaletnim kondenzatorom. Izrađen je za napon od  $U = 230$  V i frekvenciju 50 Hz, te nalazi primjenu u pogonima s raznim uvjetima rada.

U prilogu su prikazani tehnički podaci i nacrt vezani uz odabrani elektromotor tvrtke „Končar“.

### 3.5 VENTILI I MJERNI UREĐAJI

Elektrohidraulički robotski manipulator koji se dizajnira mora imati mogućnost pozicioniranja i vršenja zadanih radnji. Zbog toga su potrebni mjerni uređaji koji omogućuju da se preko upravljačkog sustava vrši pozicioniranje izvršnih elemenata. U ovom hidrauličkom sustavu izvršne elemente čine dva hidromotora i cilindar koji se upravljaju pomoću servoventila odnosno određenog upravljačkog uređaja.

Mjerni uređaji služe da bi prenosili signal o hodu cilindra, brzini vrtnje hidromotora upravljačkom sustavu koji vrši proračun razlike stvarne pozicije i željene pozicije. Na osnovu toga upravljački sustav šalje signal na servoventile te se oni otvaraju i zatvaraju s obzirom na zadatak koji se treba izvršiti. Pošto se sustav sastoji od dva hidromotora i cilindra, na cilindar se postavlja linearni enkoder, a na hidromotore enkoder zakreta.

#### 3.5.1 Servoventili

Servoventili se montiraju na izvršne elemente te se spajaju na priključnu ploču koju crpka kontinuirano napaja s fluidom. Servoventili služe da bi ograničili protok, odnosno dobavu crpke na izvršne elemente koje u ovom slučaju čine dva hidromotora i cilindar. [3]

Elektrohidraulički servo ventili su ventili koji se kontroliraju preko elektronike te se pomoću njih kontrolira koliko se fluida doprema do izvršnih elemenata odnosno aktuatora. Transformiraju analogni ili digitalni ulaz na točno željeni hod cilindra ili zakret motora.

Kod odabira servoventila mora se paziti na količinu protoka koja se želi kontrolirati. Koristeći katalog tvrtke „*Bosch Rexroth*“ odabrani su servoventili model br. 4WS.2EM 6 te su prikazani sljedećom slikom. [7]



Slika 3.9 Servoventil

Upravljački signali koje primaju ovi servoventili kreću se u području od -10 V do +10 V. Servoventili koji upravljaju hidromotorima imaju maksimalan protok od 2 l/min. U prilogu svi prikazani svi tehnički podaci vezani uz odabrani tip servoventila.

### 3.5.2 Ventil za ograničenje tlaka

Tlačni ventili upravljaju i reguliraju tlak u hidrauličkom sustavu i elementima sustava. Tlačni ventil se montira u sustav nakon crpke te smanjuje tlak u cijelom sustavu. Koristi se tlačni ventil koji ograničava tlak u sustavu na željenu vrijednost. Ventil za ograničenje tlaka se postavlja na 160 bar.



Slika 3.10 Ventil za ograničenje tlaka

Odabran je tip tlačnog ventila br. DBT-G1-1X/315 kojem je raspon tlaka na koji se ventil može podesiti između 3 bar i 315 bar. [7]

Tehnički podaci tlačnog ventila su prikazani u prilogu.

### 3.5.3 Linearni enkoder

Na cilindar se spaja linearni enkoder koji služi da podatak o poziciji klipnjače signalom šalje na upravljački uređaj, koji je u ovom slučaju stolno računalo. Kod odabira linearnih enkodera koristi se katalog tvrtke „Heidenhain“ te se odabire enkoder model br. LC 183 zatvorenog tipa koji ima sljedeće karakteristike: [9]

- Maksimalna duljina mjerenja: 440 mm,
- Točnost mjerenja:  $\pm 3 \mu\text{m}$ ,
- Napon i jakost struje:  $U = \text{DC } 3.6\text{-}5.25\text{V}$ ,  $I = 300 \text{ mA}$



Slika 3.11 Linearni enkoder

### 3.5.4 Inkrementalni enkoder

Da bi se mogli pozicionirati prva dva stupnja rotacije elektrohidrauličkog manipulatora, na hidromotore je potrebno montirati inkrementalne enkodere koji mjere broj okretaja samog hidromotora te šalju signal upravljačkom uređaju odnosno računalu. Zbog toga je potrebno

odrediti karakteristike samog enkodera. Izabran je enkoder tvrtke „Heidenhain“ model br. ECN 113 koji ima unutarnje ležajeve te ima sljedeće karakteristike: [9]



Slika 3.12 Inkrementalni enkoder

- Maksimalna brzina vrtnje mjerenja:  $n = 4000 \text{ }^\circ/\text{min}$ ,
- Veličina osovine:  $l < 50 \text{ mm}$ ,
- Napon i jakost struje:  $U = 5\text{V} \pm 5\%$ ,  $I = 180 \text{ mA}$ ,
- Točnost mjerenja:  $\pm 20''$

### 3.6 OSTALE KOMPONENTE

U hidraulički sustav ugrađuju se još neke komponente koje su isto važne za pravilan rad sustava:

- Sigurnosni nepovratni ventil
- Filteri
- Hidraulički vodovi
- Manometar

U sustav se spaja manometar nakon tlačnog ventila koji pokazuje tlak u sustavu te služi za kontrolu tlaka u sustavu. Odabran je manometar tvrtke „Baroli“ koji pokazuje vrijednost tlaka do 400 bar.

Nepovratni ventil služi da u hidrauličkom sustavu spriječi protok ulja u jednom smjeru, a dozvoli slobodan protok u suprotnom smjeru. Nepovratni ventil je konstruiran kao ventil sa sjedištem tako da u zatvorenom položaju nema curenja. U ovom slučaju nepovratni ventil se koristi sa svrhom da spriječi protok fluida prema crpki.



Slika 3.13 Manometar

Pouzdanost hidrauličkih sustava ovisi o čistoći sustava odnosno o filtriranju. Zadatak filtera je da reducira nivo nečistoća na zadovoljavajuću razinu te na taj način radi zaštitu elemenata koji su podložni trošenju. U samom sustavu koristimo i hidrauličke vodove preko kojih se dovodi radni fluid do izvršnih elemenata.

Regulacija samog procesa preko servoventila vrši se pomoću računala, međutim potrebno je također ugraditi te spojiti s hidrauličkim dijelom, određeni elektroormar kojim će se upravljati uključivanje i isključivanje sustava. Na njemu su napravljena tipkala za uključivanje i isključivanje motora, te cijelog sustava u obliku glavne sklopke. Na taj je način razdvojeno upravljanje napajanjem od same regulacije procesa putem računala.



## 4. PRIHVATNICE ZA KONKRETNU PRIMJENU

U prethodnim poglavljima odredili su se konstrukcija elektrohidrauličkog robotskog manipulatora, izvršni i pogonski dio sustava, te mjerni i upravljački dio sustava. No time je određena samo pozicija robota, odnosno u koju poziciju u prostoru se može dovesti sam robot. Takav robotski manipulator nema konkretnu primjenu u industriji. Iz tog razloga potrebno je konstruirati prihvatnice.

Prihvatnica može djelovati kao hvataljka u robotu za opsluživanje i montažu, može biti alatka tehnoloških robota ili senzora mjernih robota. U elektrohidrauličkom manipulatoru se koristi hvataljka koja ima različite funkcije. U današnje vrijeme nema dobrog rješenja za neku hvataljku opće namjene, već se projektiraju specifična rješenja za posebne namjene. Tako hvataljke, koje će se projektirati, imaju funkciju prenošenja predmeta iz jedne točke u drugu, te držanja predmeta dok ga neki drugi stroj obrađuje ili slično.

Izbor i izrada hvataljki pripada području strojarских konstrukcija, pa se konstruktorima postavljaju zahtjevi u kojima se moraju definirati: [1] [10]

- Karakteristike robotske ruke s dozvoljenom težinom hvataljke i predmeta,
- Karakteristike manipuliranog predmeta, npr. težina, krutost (čvrstoća ili gipkost), materijal (krhkost, grubost površine, magnetičnost), geometrija (dimenzije i struktura), položaj za vrijeme rada,
- Uvjeti rada hvataljke (mogućnost brze zamjene, prilagodljivost promjenama predmeta manipulacije),
- Uvjeti okoline (temperatura, vlažnost, smještaj robota).

Hvataljke se mogu razvrstati prema različitim kriterijima. Najlogičnija je podjela prema vrsti organa za hvatanje, prema kojoj postoje sljedeće izvedbe:

- Mehanička kliješta,
- Mehanički prsti,
- Pneumatska hvataljka,
- Vakuumska hvataljka,
- Magnetska hvataljka.

Postoji i podjela hvataljki prema prihvatnom djelovanju:

- Jednostrano (pneumatska, vakuumska, magnetska),
- Dvostrano (mehanička kliješta),
- Mnogostrano (mehanički prsti).

Hvataljke se još mogu podijeliti prema tome s koje strane hvataju predmet:

- Unutrašnjom stranom hvataljke,
- Vanjskom stranom hvataljke.

Kod projektiranja hvataljke za konkretnu primjenu u ovom radu koristit će se gore navedene odrednice. Zadatak rada je projektirati prihvatnice za konkretnu primjenu. Zbog toga će se u obzir uzeti određeni izradci iz industriji te će se s obzirom na njih projektirati nekoliko vrsta prihvatnica.

#### 4.1 PRIMJERI INDUSTRIJSKIH IZRADAKA

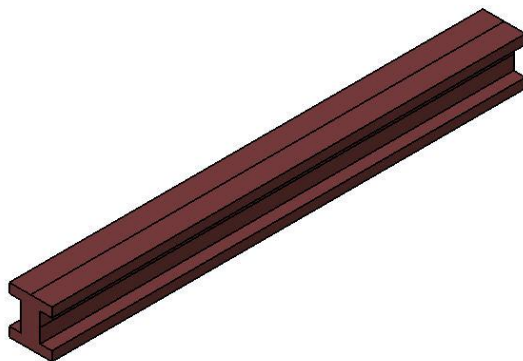
Prvi izradci prema kojima će se projektirati prihvatnica su tipičan I ili H profili koji se dobivaju u ljevaonicama te se koriste u industriji i građevinarstvu te mogu biti različitih duljina. Naravno to ne moraju biti I ili H profili, nego to može jednostavno biti neka greda, neki nosač ili pravokutne cijevi određenih dimenzija.



Slika 4.1 I i H profil

U ovom radu se koristi I i H profil te su prikazani na slikom gore. Dimenzije i težine ovakvih predmeta mogu biti različite.

Sljedećom slikom prikazan je I profil prema kojem će se projektirati prihvatnica odnosno hvataljka:

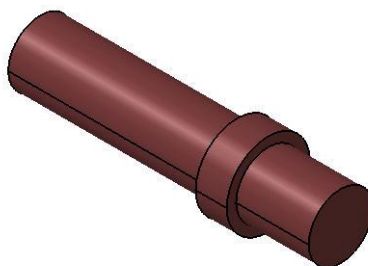


Slika 4.2 Primjer I profila u *Catia*-i

Ali što ako se u automatiziranoj industriji moraju prenositi ili obraditi neki cilindrični predmeti poput osovina ili cijevi, ali i nekog drugog predmeta cilindričnog oblika koji se poslužuju nekom tokarskom stroju ili slično. Tada je za takav predmet potrebno projektirati drukčiju prihvatnicu. Primjeri takvih predmeta su prikazani sljedećom slikom.

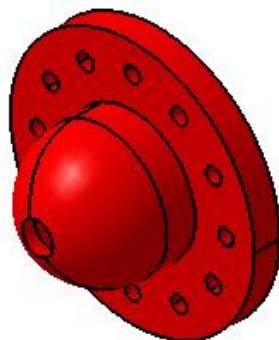


Slika 4.3 Cijevi



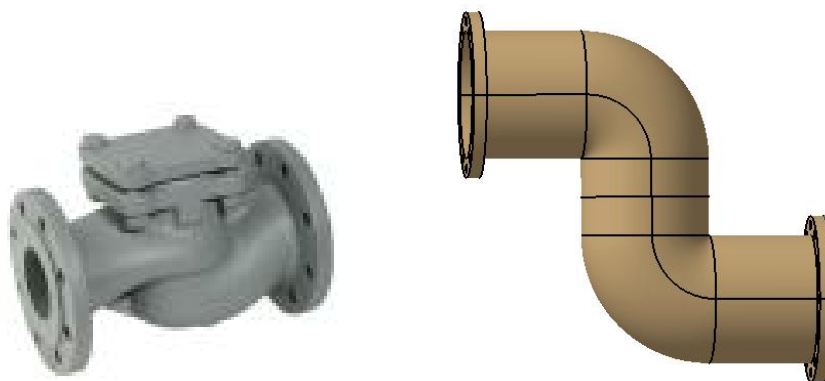
Slika 4.4 Osovina

Ako je predmet složeniji ili nije uobičajenog oblika, onda se ne mogu koristiti prethodne prihvatnice. U tom slučaju će se projektirati prihvatnica koja ima mogućnost prenesti takav premet s jednog mjesta na drugo tako da bi se proizvod mogao dalje nadograđivati ili obraditi. Primjer takvog predmeta je određeno kućište ili poklopac, odnosno završetak neke cijevi koji se dobiva ljevanjem te je prikazan slikom.



Slika 4.5 Poklopac

Za primjer će se također koristiti ventil koji se dobiva ljevanjem, a koristi se u različitoj industriji kao što rafinerije ili elektrane gdje ima puno cjevovoda armature.

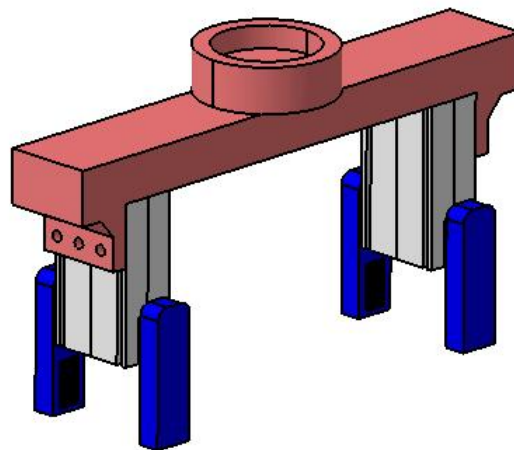


Slika 4.6 Primjer nepovratnog ventila i S oblik cijevi

## 4.2 PRIHVATNICA S DVA PARA PRSTIJU (HVATALJKI)

Za podizanje, prenošenje i manipuliranje tereta kao što su I ili H profili ne može se koristiti hvataljka koja ima samo jedan par prstiju. Ne može se koristiti iz tog razloga što se takav teret ne može podići takvom običnom hvataljkom. U tom slučaju projektira se hvataljka sa dva para prstiju koja raspoređuje teret, odnosno stisak prstiju, na dva mjesta, te se u tom slučaju rasterećuje sama prihvatnica. Naravno, vezano uz to, lakše se manipulira objektom, odnosno proizvodom.

Zbog gore navedenih zahtjeva konstruirala se sljedeća prihvatnica sa dva para prstiju.

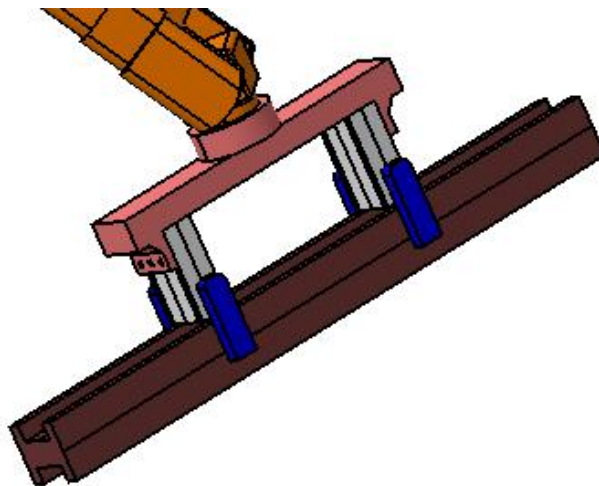


Slika 4.7 Prihvatnica s dva para prstiju

Na slici je vidljivo da se prihvatnica sastoji od samog nosača hvataljki i dvije hvataljke („eng. *grippers*<sup>3c</sup>). Gornji dio nosača se montira na šaku robota te se sama prihvatnica pozicionira onako kako je pozicioniran robotski manipulator. Prsti same hvataljke se izvlače, te kad se nađu oko predmeta koji se želi prenesti na drugu poziciju onda se uvlače te pritiskuju predmet tako da se sa predmetom može slobodno manipulirati. Na sljedećoj slici je prikazana prihvatnica robotskog manipulatora u trenutku prenošenja predmeta. U ovom slučaju to je I profil.

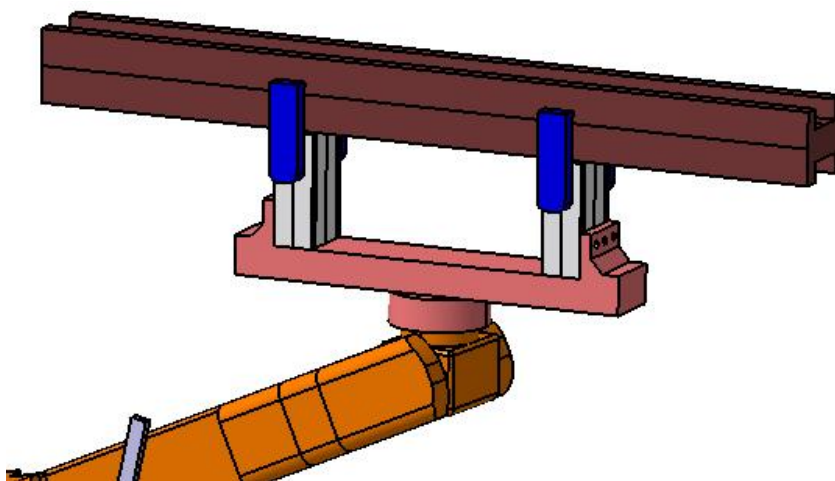
---

<sup>3</sup> eng. gripper - hvataljka



Slika 4.8 Primjer transportiranja I profila

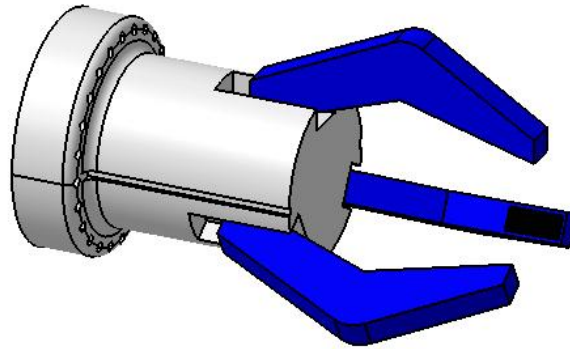
Ako je potrebno, I profil, H profil, neka greda ili nosač mogu se i prihvatiti s donje strane. U tom slučaju se obradni strojevi mogu posluživati na različite načine, te se robotski manipulator može pozicionirati u razne pozicije ovisno o potrebi.



Slika 4.9 Primjer transportiranja I profila (s donje strane)

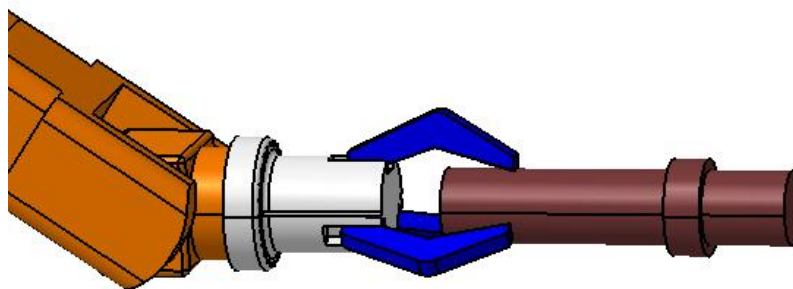
### 4.3 CILINDRIČNA PRIHVATNICA

Prihvatnica ovakvog tipa prikazana je slikom 4.10.



Slika 4.10 Cilindrična prihvatnica

Projektirana je prihvatnica sa tri prsta koja su usmjerena u centar kružnice. Svrha ovakvog tipa hvataljke je da može prenositi cilindrične predmete kao što su cijevi, osovine i slično. Također karakteristika ove prihvatnice je da prima cijev sa kraja te je u tom slučaju drugi kraj slobodan za obradu na drugom stroju. Prihvatnica se ne mora nužno koristiti za prenošenje predmeta iz jedne točke u drugu ili da poslužuje drugi stroj, može se koristiti u svrhu finog slaganja cijevi ili osovine u određene palete. Na sljedećoj slici će se prikazati na koji način prihvatnica pritiskuje i uzima osovinu.

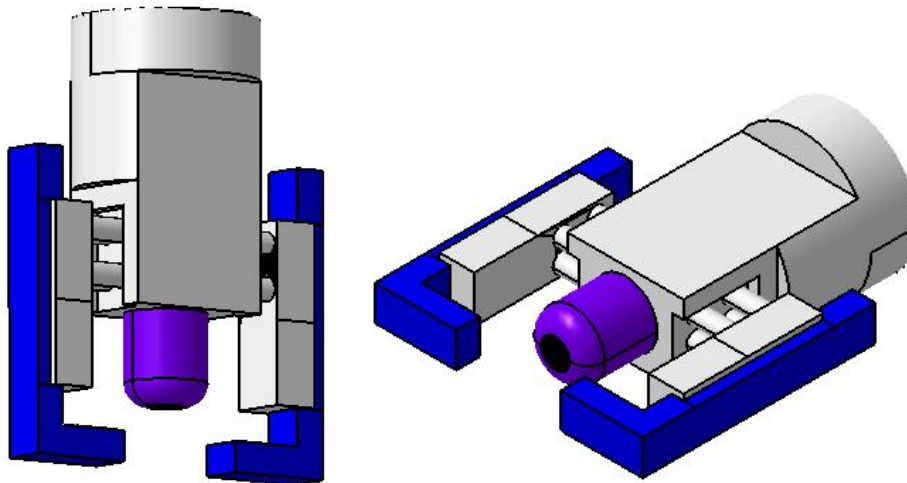


Slika 4.11 Primjer prenošenja osovine horizontalno

Znači prihvatnica ima mogućnost uzimanja osovine ili cijevi iz verikalnog i horizontalnog položaja. Pošto robotski manipulator ima mogućnost pozicioniranja u prostoru, osovina ili cijev se mogu prihvaćati pod određenim kutem te se isto tako mogu posluživati dalje pod tim kutem i u bilo kojoj poziciji.

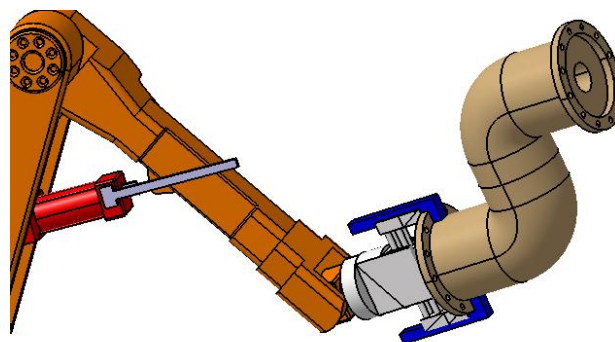
## 4.4 PRIHVATNICA S DRŽAČEM

Za složenije predmete kao što su ventili ili poklopci projektirana je prihvatnica sa držačem.



Slika 4.12 Prihvatnica s držačem

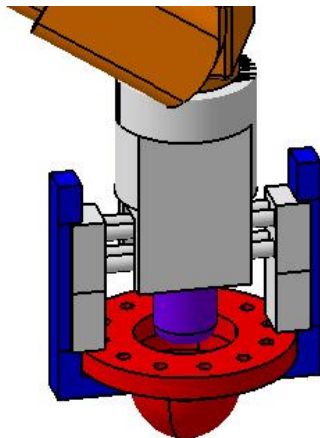
Kao što je vidljivo na prethodnim slikama prihvatnica ima jedan par prstiju (plava boja) koji prihvaćaju predmet sa strane, ali isto tako pridržavaju predmet s donje strane. Dio hvataljke koji se nalazi u sredini, prikazan ljubičastom bojom (držač), je klip koji se izvlači ili uvlači s obzirom na to dali prihvatnica treba stisnuti ili otpustiti predmet. Taj dio služi za bolje pridržavanje predmeta te ga učvršćuje ako je predmet sklon izmicanju s prsti prihvatnice. Na slikama su prikazani neki primjeri izradaka koji se mogu manipulirati pomoću ovog tipa prihvatnice.



Slika 4.13 Primjer prenošenja S oblika cijevi

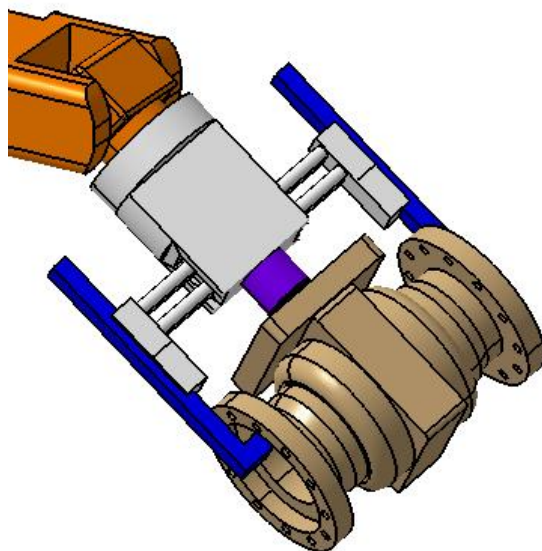


Kao i s ostalim prihvatnicama koje su navedene, ova prihvatnica se isto tako koristiti u različite svrhe. Neke od njih su prenošenje predmeta, manipuliranje s proizvodom tokom obrade te isto tako spremanje objekata na određene palete horizontalno i vertikalno.



Slika 4.14 Primjer prenošenja poklopca

Kao što je već spomenuto, ovakva prihvatnica ima mogućnost prenošenja raznih oblika predmeta. Primjer jednog predmeta u obliku ventila koji se može koristiti u armaturi u nekom pogonu je prikazan sljedećom slikom.



Slika 4.15 Primjer prenošenja ventila

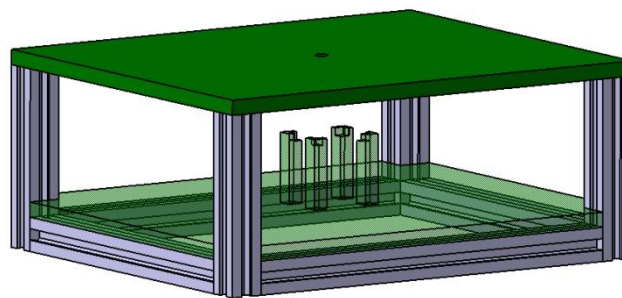
## 5. SIMULACIJA ROBOTSKOG MANIPULATORA

U prethodnim poglavljima se proveo postupak po kojem se kreće u projektiranje elektrohidrauličkog robotskog manipulatora. U drugom poglavlju su se prodiskutirale različite strukture robota te se odabrala najpovoljnija struktura za navedeni robotski manipulator. Nakon što se izabrala struktura elektrohidrauličkog robotskog manipulatora napravljen je proračun i odabir izvršnih, pogonskih, mjernih i upravljačkih komponenti. Naravno svaki robot nebi imao svoju primjenu bez određenih prihvatnica koje služe za manipuliranje sa određenim predmetima. U tu svrhu su u prethodnom poglavlju projektirane prihvatnice za razne primjene kao što su prenošenje gredi, I ili H profila, raznih osovina te poklopaca i ventila.

Nakon što su izabrani svi dijelovi i komponente sustava simulirat će se rad robotskog manipulatora u virtualnom okruženju. Za simuliranje elektrohidrauličkog robotskog manipulatora u virtualnom okruženju koristi se program „*Catia v5r16*“.

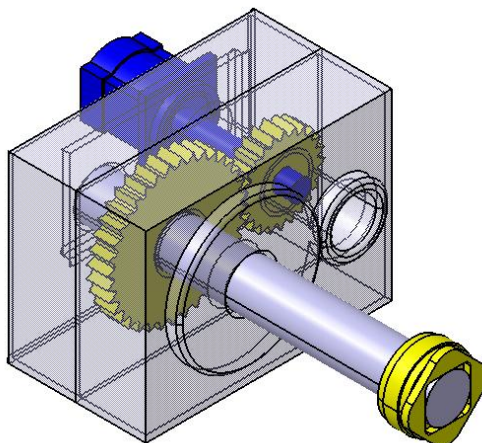
U ovom poglavlju opisat će se komponente sustava koje je bilo potrebno dodatno projektirati. Neke od takvih komponenti su radni stol, priključna ploča, sklop elektromotora, crpke i spremnika i reduktor. Prikazat će se cijeli sustav te položaj komponenti u hidrauličkom sustavu, odnosno robotu, te će se prikazati rad cijelog robotskog manipulatora u virtualnom okruženju.

Svaki robotski manipulator mora imati određeno postolje na koje će se učvrstiti. Stol, odnosno učvršćenje manipulatora, kompenzira sile koje se javljaju tijekom gibanja robota. Tako je za projektirani hidraulički manipulator dizajniran radni stol koji je prikazan na sljedećoj slici.



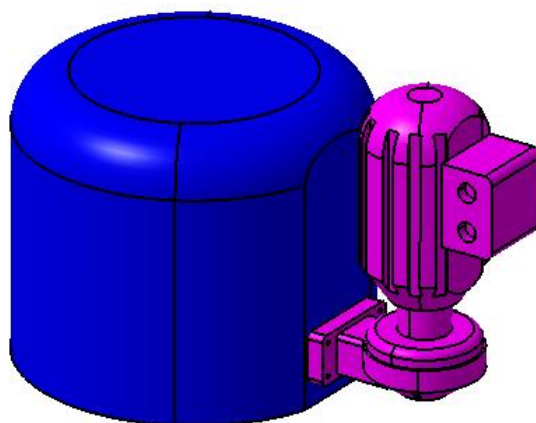
Slika 5.1 Radni stol

Kao što je vidljivo iz prehodne slike radni stol ima određene suporte koji služe za pridržavanje i povećavaju stabilnost hidromotora i reduktora prvog hidromotora. Na sljedećoj slici 5.2 prikazan je dizajn reduktora koji se koristi kod smanjenja prijenosnog omjera osovine hidromotora na osovinu koja pokreće prva dva rotacijska zgloba robota. Na slici su u sklopu prikazani hidromotor, osovine i inkrementalni enkoder.



Slika 5.2 Projektirani reduktor

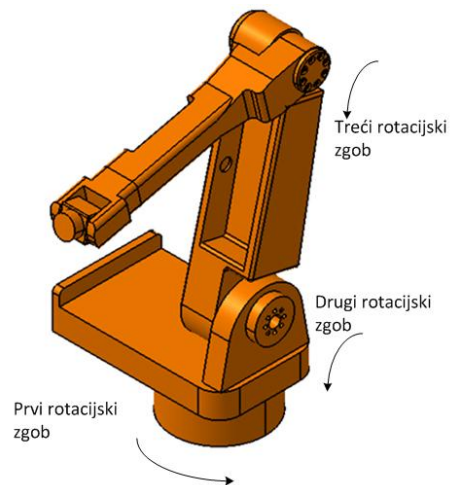
Pogonski dio sustava, koji se sastoji od elektromotora i crpke, je projektiran kao zajednički sklop, te takav povezan sa spremnikom. Sklop je prikazan sljedećom slikom.



Slika 5.3 Sklop spremnika elektromotora i crpke

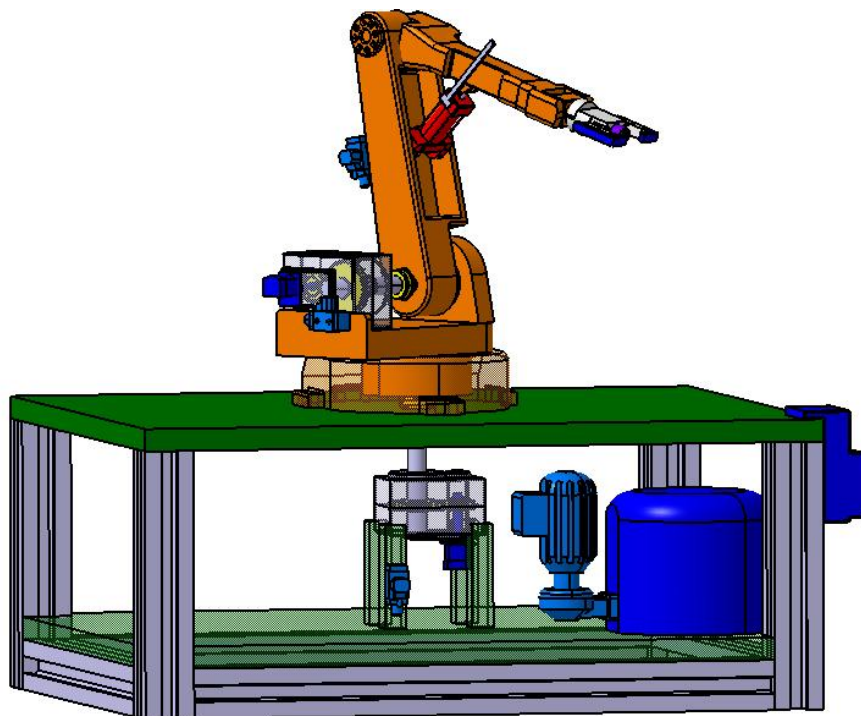
U drugom poglavlju je bilo potrebno izabrati strukturu robota, te je s obzirom na veličinu radnog prostora te mogućnosti boljeg pozicioniranja izabrana RRR struktura. RRR struktura

elektrohidrauličkog robotskog manipulatora projektirana je koristeći program „Catia“ te kostur robota, odnosno mehanički dio, je prikazan sljedećom slikom:



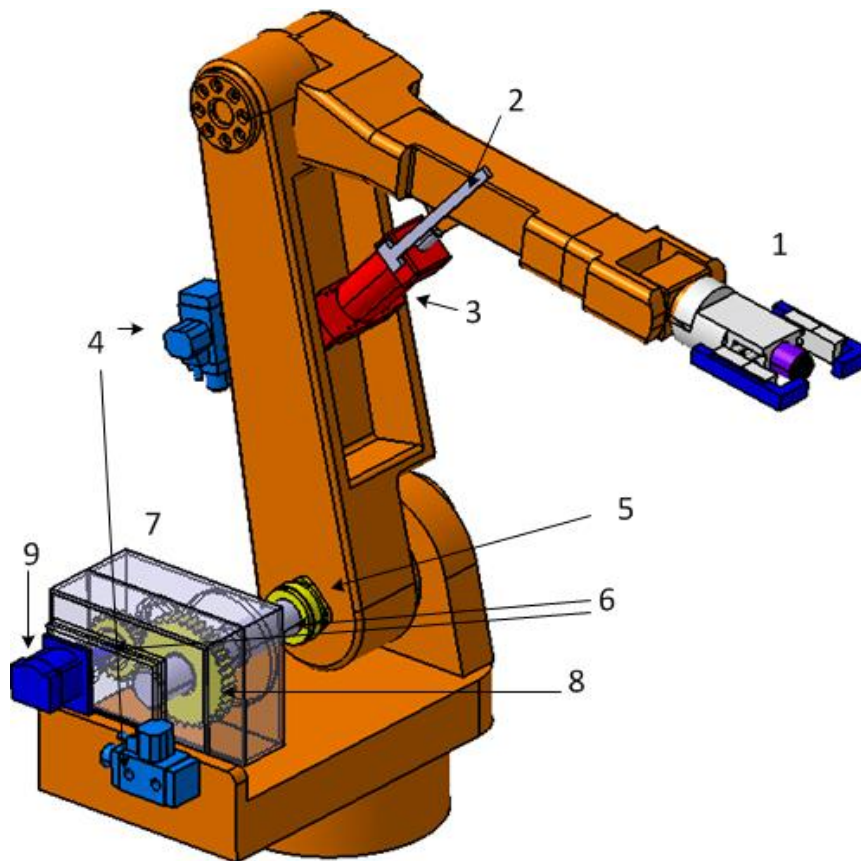
Slika 5.4 Projektirana struktura robotskog manipulatora

Prvi rotacijski zgob zakreće cijelo tijelo robota zajedno sa pripadajućim komponentama. Drugi rotacijski zgob zakreće preostala dva članka robota. Ta dva rotacijska zgloba su pogonjena putem hidromotora, dok je treći rotacijski zgob pogonjen pomoću cilindra. Slikom 5.5 prikazan je kompletan sustav robota na radnom stolu u virtualnom okruženju.



Slika 5.5 Robot u virtualnom okruženju

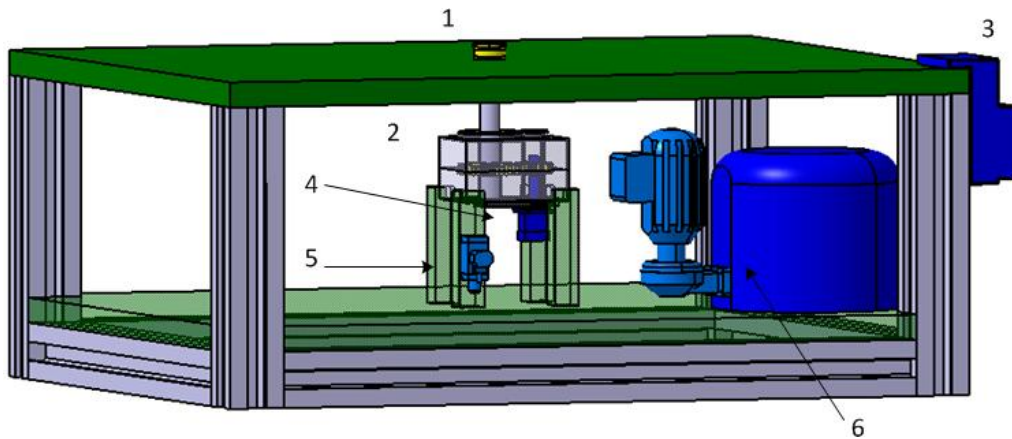
Na slikama 5.6 i 5.7 označene su komponente sustava.



Slika 5.6 Mehanizam robota s komponentama

- 1) Prihvatnica
- 2) Linearni enkoder
- 3) Cilindar
- 4) Servoventili
- 5) Inkrementalni enkoder
- 6) Osovine
- 7) Kućište reduktora
- 8) Zupčanici
- 9) Hidromotor

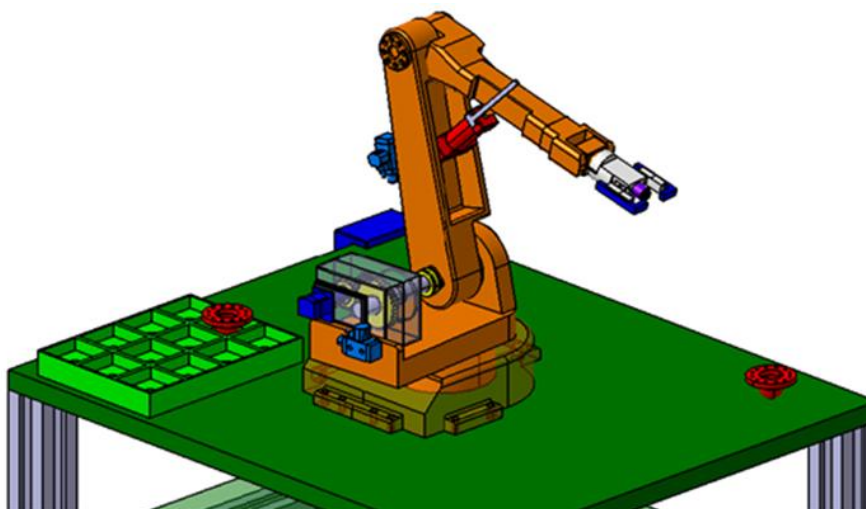
Elektrohidraulički robotski manipulator funkcionira tako da se pomoću inkrementalnih enkodera i linearnog enkodera mjeri pozicija robota te se signal šalje na upravljački uređaj, što je u ovom slučaju računalo. Računalo izračunava razliku zadane i trenutne pozicije te šalje upravljački signal na servoventile pomoću kojih se upravlja izvršnim elementima sustava. Na taj način se robot dovodi u željenu poziciju.



Slika 5.7 Pogonski dio sustava robota

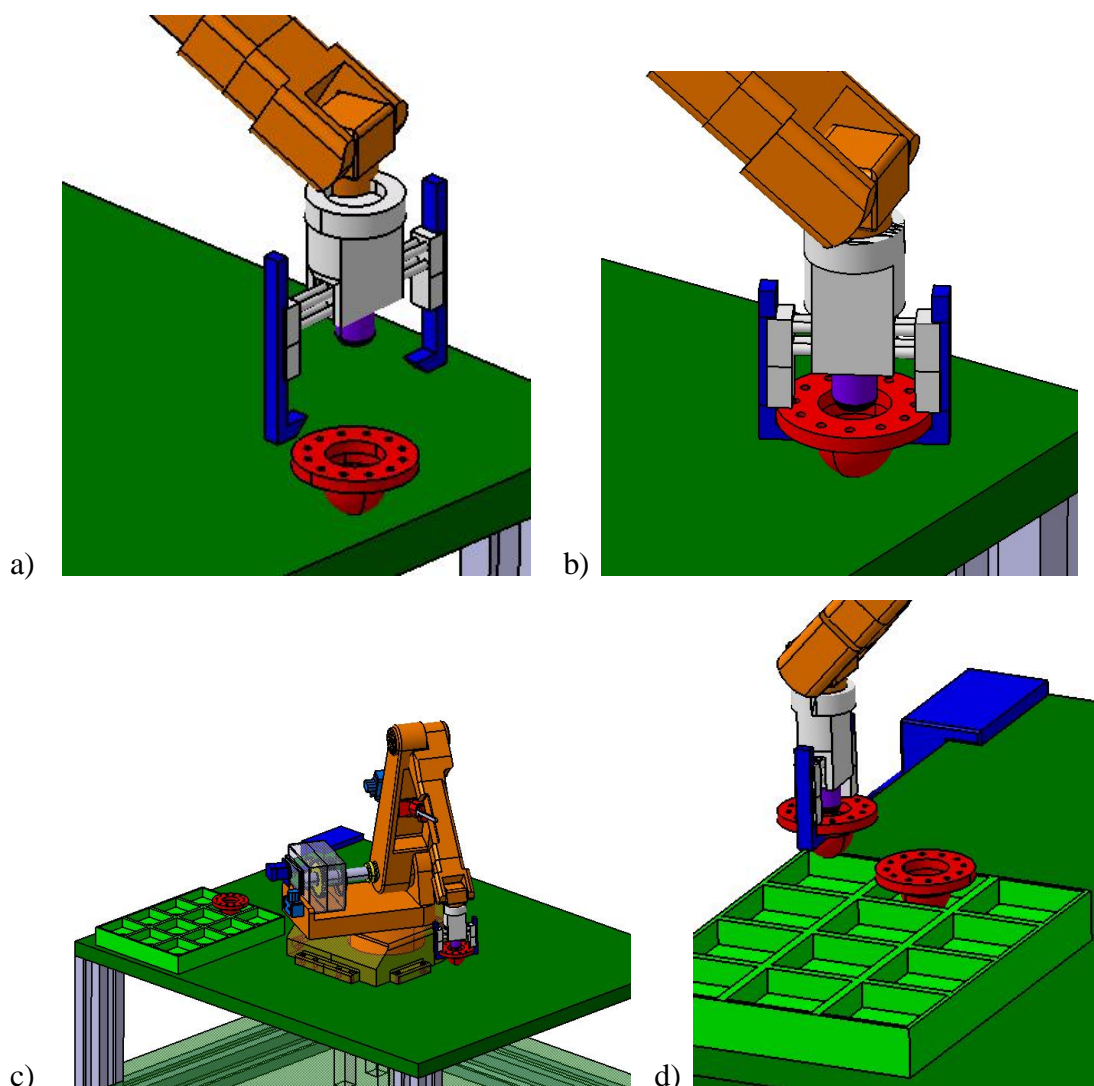
- 1) Inkrementalni enkoder
- 2) Reduktor
- 3) Razvodna kutija
- 4) Hidromotor
- 5) Servoventil
- 6) Sklop spremnika, elektromotora i crpke

Na sljedećem primjeru će se prikazati manipuliranje poklopcem pomoću robotskog manipulatora. Zadatak robota je pozicionirati se iznad poklopca, spustiti se u područje poklopca i prihvatiti poklopac pomoću uvlačenja hvataljki. Nakon toga, robot manipulira objektom te ga dovodi u poziciju iznad palete, zatim slijedi spuštanje poklopca na određenu razinu te njegovo otpuštanje. Manipulator se vraća u početni položaj iz kojeg može izvoditi predviđenu radnju neograničeno puno puta ili koliko je potrebno. Na slici 5.9 redosljedom će se prikazati opisana radnja.



Slika 5.8 Primjer zadatka robotskog manipulatora





Slika 5.9 Princip rada manipulatora kod slaganja u paletu

- a) Položaj manipulatora iznad objekta
- b) Hvatanje objekta pomoću hvataljki
- c) Manipuliranje objektom
- d) Položaj iznad palete te otpuštanje prihvatnice

Prethodnim primjerom je prikazan rad robota u svrhu slaganja predmeta u palete. Za različite tipove prihvatnica robot može imati različite namjene. Zbog toga je kod projektiranja uvijek potrebno znati svrhu robota koji se želi napraviti, ali i mogućnost izbora prihvatnica koje omogućuju upotrebu samog elektrohidrauličkog robotskog manipulatora u različite svrhe.

## 6. ZAKLJUČAK

U radu je izvršeno projektiranje elektrohidrauličkog robotskog manipulatora koji daje povoljne karakteristike u automatiziranim industrijskim pogonima.

Postavljeni su zahtjevi projektiranja prema kojima je bilo potrebno odabrati strukturu robotskog manipulatora i komponente hidrauličkog sustava. Zahtjevi su bazirani na radnim preformansama robota kao što su: brzina gibanja rotacijskih zglobova robota, brzina izvlačenja klipa cilindra, masa tereta te radijus radnog prostora.

Prema zahtjevima projektiranja elektrohidrauličkog robotskog manipulatora izvršen je proračun potrebne količine protoka. Prema proračunu je izvršen izbor komponenti izvršnog i pogonskog dijela hidrauličkog sustava. Pogonski dio hidrauličkog sustava čine elektromotor i crpka koja daje potrebnu količinu fluida izvršnim elementima. Izvršni dio hidrauličkog sustava čine hidromotori, koji pokreću prva dva rotacijska zglobova robota, te cilindar koji rotira treći rotacijski zglob. Odabrane su komponente mjernog sustava (inkrementalni i linearni enkoder) koje omogućuju upravljanje robotskim manipulatorom putem računala. Računalo šalje signal servoventilima koji se otvaraju ili zatvaraju te puštaju fluid prema izvršnim komponentama ovisno o zadatku koji robot mora izvršiti.

Projektirani elektrohidraulički robotski manipulator, kao i svi industrijski roboti, ne može izvršavati zadane operacije bez pripadajuće prihvatnice. Iz tog razloga su projektirane tri različite vrste prihvatnica za konkretne proizvode. Neki od tih proizvoda su I ili H profili, cijevi, ventili te razni poklopci i kućišta.

Računalnim programom „*Catia*“ projektiran je elektrohidraulički robotski manipulator u virtualnom okruženju. Na konkretnom primjeru slaganja poklopaca kućišta u palete prikazan je rad manipulatora.

Ovim radom se pokazalo da se u današnje vrijeme, koristeći servo tehnologiju, uspješno može koristiti hidraulika za pokretanje industrijskih robota.



## LITERATURA:

- [1] Šurina, T., Crneković, M.: Industrijski roboti, Školska knjiga, Zagreb, 1990.
- [2] Schmitt, A.: Hidraulik trener, G.L. Rexroth GmbH, Lohr am Main,
- [3] Šitum Ž.: Regulacija hidrauličkih i pneumatskih sustava, materijali s predavanja, 2011.
- [4] Merkle, D., Schrader, B., Thomes, M.: Hidraulika – Osnovni tečaj, Festo Didactic, 1998.
- [5] Parr, A.A.: Hydraulics and Pneumatics, Elsevier Science & Technology Books, 1999.
- [6] Ban, S.: Projektiranje i regulacija hidrauličkog sustava, diplomski rad, FSB, 2006.
- [7] Katalog tvrtke „Bosch Rexroth“, [www.boschrexroth.com](http://www.boschrexroth.com), listopad, 2011.
- [8] Katalog tvrtke „Končar“, <http://www.koncar-mes.hr>, listopad 2011.
- [9] Katalog tvrtke „Heidenhain“, <http://www.heidenhain.co.uk>, listopad, 2011.
- [10] Monkman, G.J., Hesse, S., Steinmann, R., Schunk, H.: Robot Grippers, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2007.

## **PRILOG**

## Product information

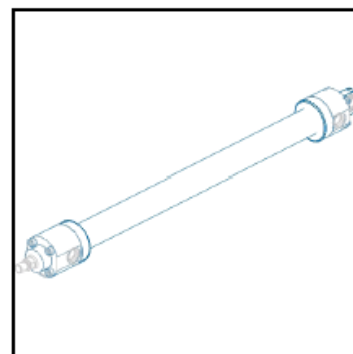
### Mill type cylinder

**Rexroth**  
Bosch Group

**Model code** CDM1MP5/25/18/400A2X/R22CHUMWW  
**Konfiguration**

#### Description

Mode of operation	<b>CD</b>	Single rod cylinder
Range	<b>M1</b>	Range M1 to ISO 6020/1
Mounting types	<b>MP5</b>	Self-aligning clevis at cap
Bore diameter	<b>25</b>	D = 25 mm
Piston rod diameter	<b>18</b>	d = 18 mm
Stroke length	<b>400</b>	Stroke length = 400 mm
Design principle	<b>A</b>	Flanged head and cap
Component series	<b>2X</b>	20 to 29 unchanged installation and connection dimensions
Port connection / types	<b>R</b>	Metric ISO thread (DIN/ISO 6149-1)
Line connection/located at head	<b>2</b>	Right - viewed on the piston rod
Line connection/located at base	<b>2</b>	Right - viewed on the piston rod
Piston rod version	<b>C</b>	Hard chromium-plated
Piston rod end	<b>H</b>	Thread (VW standard VW 39 D 920) KK = M12 x 1,25 A = 16 NV = 14
End position cushioning	<b>U</b>	Without
Seal version	<b>M</b>	Standard seal system (suitable for mineral oil to DIN 51 524 HL, HLP)
Option 1	<b>W</b>	Without option
Option 2	<b>W</b>	Without option



#### Note:

The stated operating pressures are valid for applications with shockfree operation. For extrem loads, as for example fast cycling, the mounting elements and piston rod thread connection must be designed for fatigue.

## Product information

### Mill type cylinder

**Rexroth**  
Bosch Group

**Model code** CDM1MP5/25/18/400A2X/R22CHUMWW

#### Technical data

##### Inputs

System press.	160 bar
Pushing Force	1.5 kN
Pulling Force	1.5 kN
Stroke length	400 mm
Inst. angle	20 °
With self-aligning clevis	No
Load guided	Yes

##### Result

##### Safety factors

- Buckling calculation at load pressure (sf1)	2.6
- Bending calculation at load pressure (sf2)	23.8
- Buckling calculation at system pressure (sf3)	0.7
- Bending calculation at system pressure (sf4)	11.4
Load pressure p k (at p r = 0)	31 bar
Load pressure p r (at p k = 0)	63 bar
Damping calculation has been taken into account	No
Standards	ISO 6020/1, VW 39 D 920, NF E 48-015
check damping capacity	No

#### Accessories

Mounting element	Swivel clevis head Forked clevis Fork bearing block for mounting on the piston rod with the self-aligning clevis Fork bearing block for mounting on the cylinder floor
------------------	---

#### Spare parts

<b>Material number</b>	<b>Designation</b>
R407026529	Seal kit

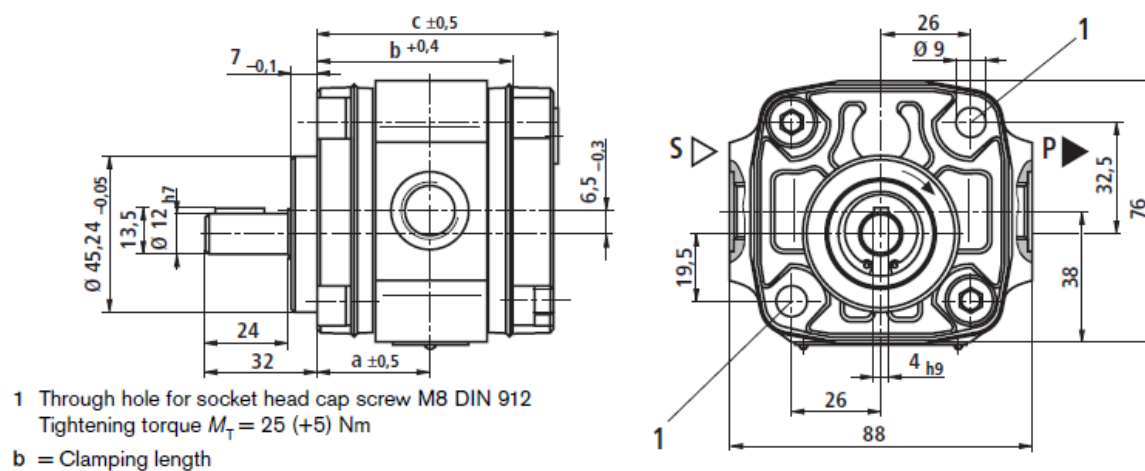




## CRPKA PGF-PS1 (katalog tvrtke „Bosch Rexroth“)

Frame size 1			
Size			1,7
Displacement	$V_{g \max}$	cm <sup>3</sup>	1,7
Operating pressure, continuous	$p_{\max}$	bar	180
Operating pressure, intermittent	$p_{\max}$	bar	210
Power <sup>1)</sup>	$P$	kW	1,2
Speed range	$n_{\max}$	rpm	4500
Weight (approx.)	$m$	kg	0,8

Type	Size	Material no. "R" clockwise	Material no. "L" counter-clockwise	Dimensions				
				a	b	c	S	P
PGF1-2X/ 3,2 .A01VP1		R900932135	R900961100	31.5	53.0	66.4	G 3/8; 14	G 1/4; 12.5

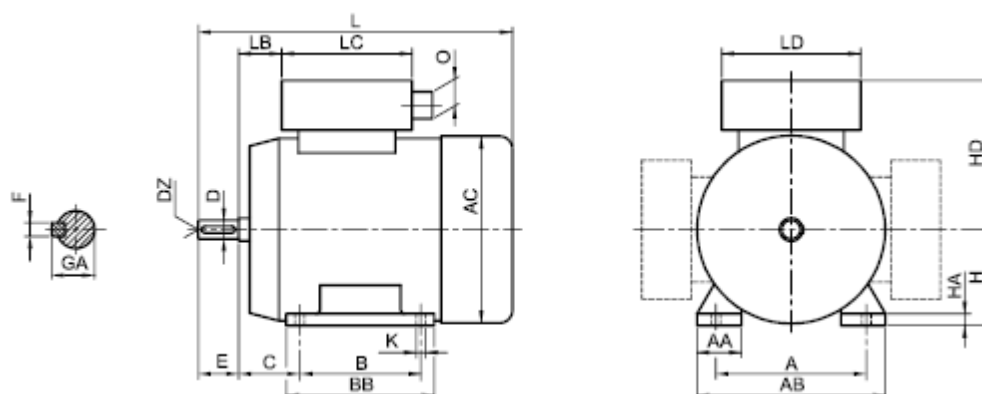


Dimenzije su u milimetrima (mm)

## ELEKTROMOTOR 5AZCD 80B-2 (Katalog tvrtke „Končar“)

Tehnički podaci:

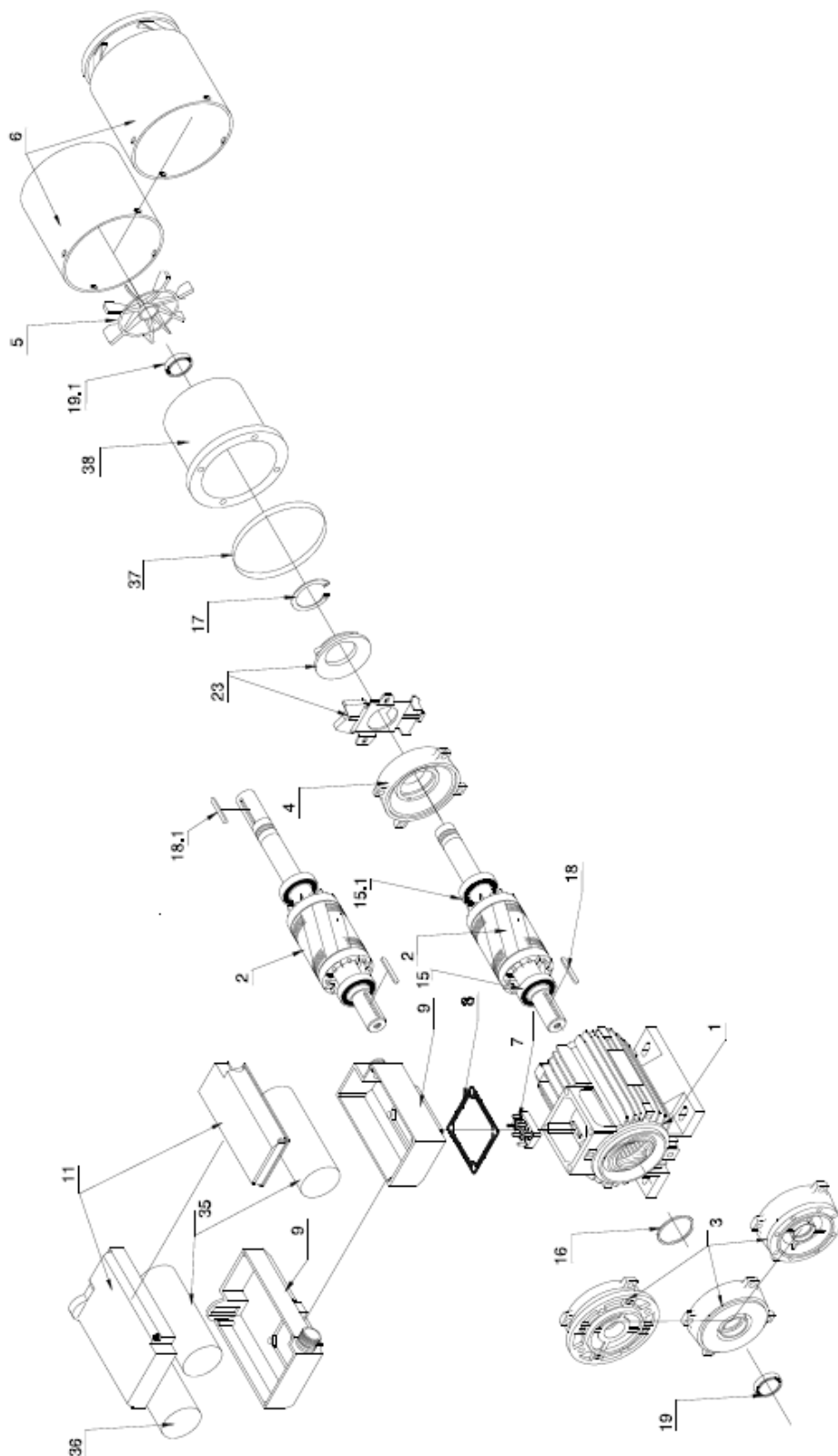
2p=2		50Hz				3000 min <sup>-1</sup>				
P (Kw)	Motor type	n (min <sup>-1</sup> )	η (%)	cos φ	I <sub>n</sub> (A)	$\frac{I_k}{I_n}$	$\frac{M_k}{M_n}$	C (μF)	U (V)	m (kg)
1.1	5AZCD 80B-2	2860	69	0.84	8.4	4.3	2.0	25 80-100	450 280	11.5



Type	IM B3, IM B5, IM B14											IM B3 / IM 1001									
	AC	D	DZ	E	F	GA	HD	L	LB	LC	LD	O	A	AA	AB	B	BB	C	H	HA	K
5AZCD 80	156	196	M6	40	6	21,5	154	317	55	175	125	Pg16	125	36	160	100	125	50	80	11	8x16

Dimenzije su u milimetrima (mm).





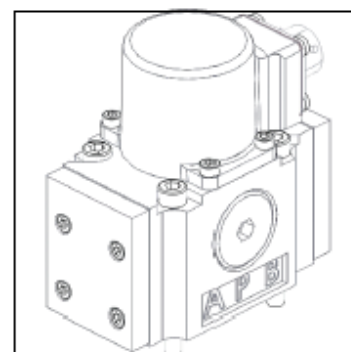
Prikaz komponenta elektromotora

## Product information

### Servo directional valves

**Rexroth**  
Bosch Group

**Model code** 4WS2EM6-2X/2B11ET210K17DV  
**Material number** R901168900  
**Konfiguration**

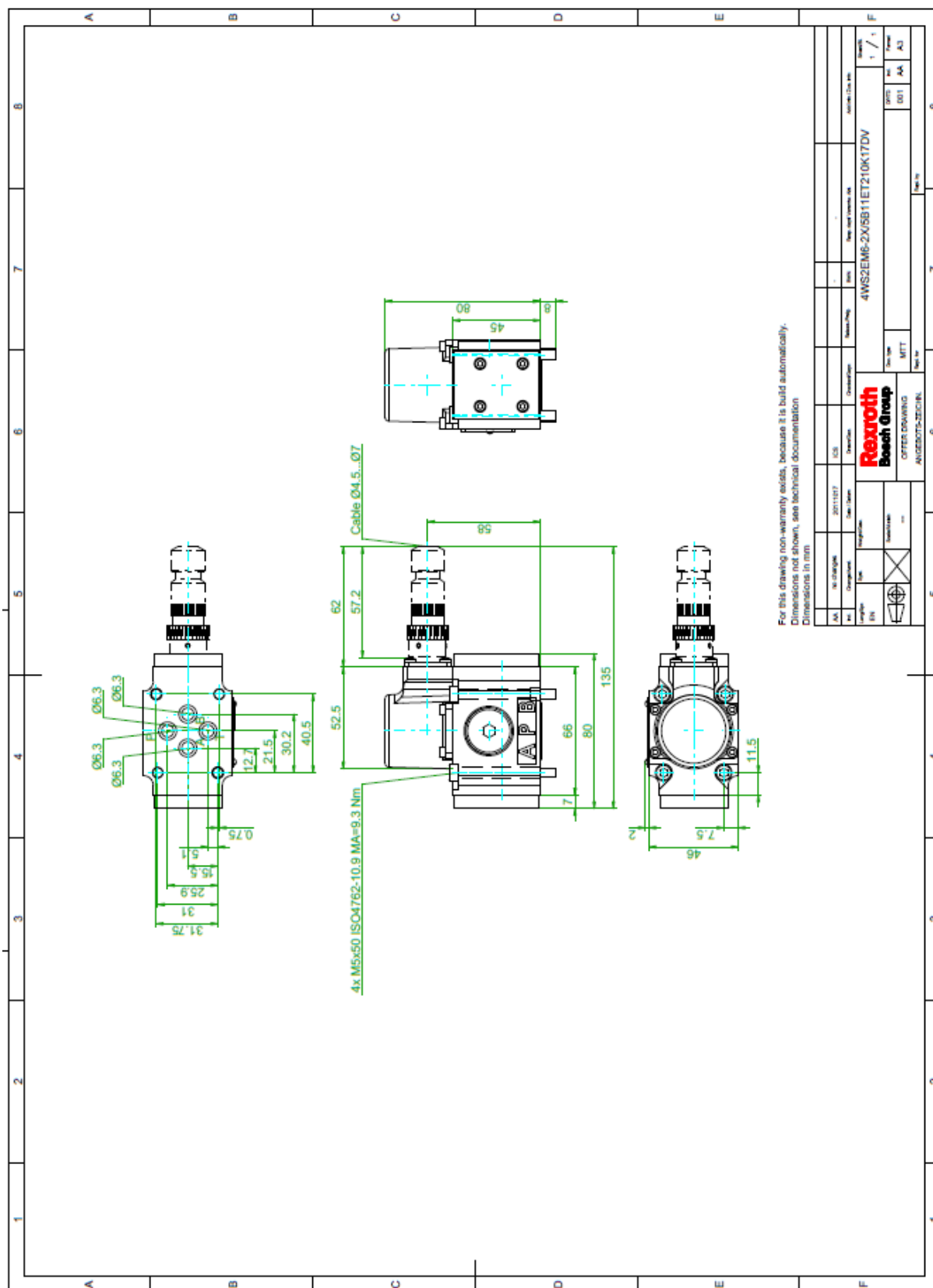


### Description

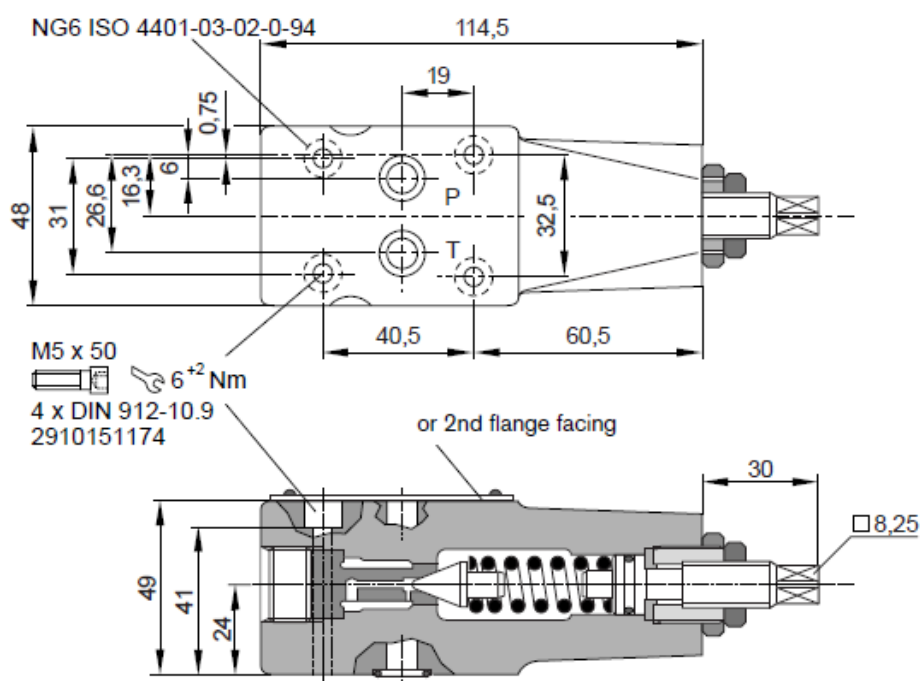
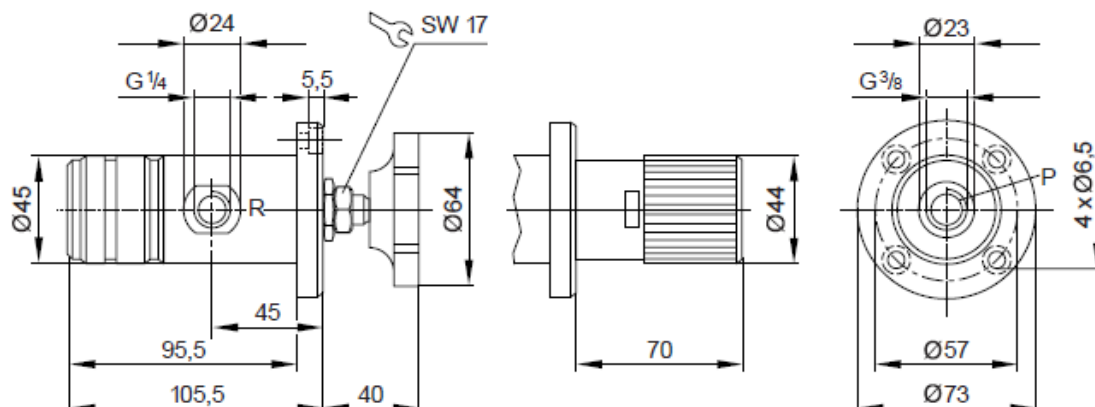
<b>Product type</b>	<b>4WS2E</b>	Servo valves for external electronics 2 stage
<b>Feedback</b>	<b>M</b>	Mechanical feedback
<b>Nominal size</b>	<b>6</b>	Nominal size 6 Connection locations to ISO 4401, Code: 4401-03-02-0-94
<b>Series</b>	<b>2X</b>	Series 20 to 29
<b>Flow</b>	<b>2</b>	2 L/min, valve pressure differential = 70 bar
<b>Electrical control</b>	<b>11</b>	Coil no. 11 (30mA/100 Ohm per coil)
<b>Pilot oil</b>	<b>ET</b>	Internal supply, internal drain
<b>Input pressure</b>	<b>210</b>	10 to 210 bar
<b>Electrical connection</b>	<b>K17</b>	Component plug VG 95 328, without plug-in connector (MAT. No.:00005414)
<b>Overlap</b>	<b>D</b>	0...0.5% positive
<b>Seal</b>	<b>V</b>	FKM seals, compatible with mineral oil (HL, HLP) toDIN 51 524, further fluids on request.

### Electronics

Analogue amplifier in Eurocard format	R900976645	VT-SR2-1X/0-100
	R900033111	VT-SR2-1X/0-60
	R900976646	VT-SR2-1X/1-100
	R900938817	VT-SR2-1X/1-60
Amplifier of modular design	R900019567	VT 11021-1X/



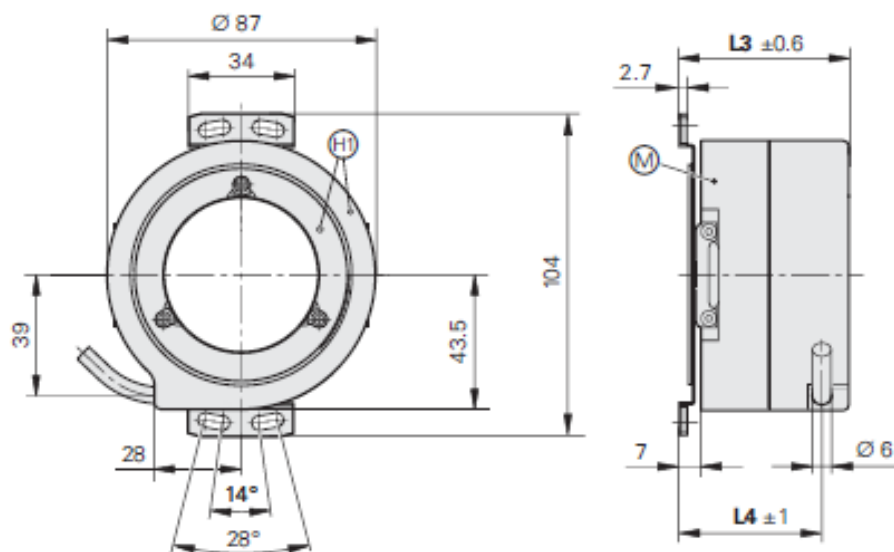
## TLAČNI VENTIL br. DBT-G1-1X/315 „Bosch Rexroth“



Sve dimenzije su u milimetrima (mm)



## INKREMENTALNI ENKODER br. ECN 113 (Tvrtka „Heidenhain“)



Sve dimenzije su u milimetrima (mm).