

# Hidraulički cilindri

---

**Kolić, Mislav**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:009448>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-11**



**Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**  
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



**uniri** DIGITALNA  
KNJIŽNICA



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**MISLAV KOLIĆ**

**HIDRAULIČKI CILINDRI**

**ZAVRŠNI RAD**

Rijeka, 2024.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**HIDRAULIČKI CILINDRI  
HYDRAULIC CYLINDERS**

**ZAVRŠNI RAD  
BACHELOR THESIS**

Kolegij: Brodska hidraulika i pneumatika

Mentor: mr. sc. Rikard Miculinić

Student: Mislav Kolić

Studijski smjer: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112083684

Rijeka, srpanj 2024.

Student: Mislav Kolić

Studijski program: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112083684

### IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom "HIDRAULIČKI CILINDRI"

izradio samostalno pod mentorstvom mr.sc. Rikarda Miculinića

U radu sam primijenio metodologiju izrade stručnog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u završnom radu na uobičajen, standardan način citirao sam i povezao s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student



Ime i prezime studenta:

Mislav Kolić

Student: Mislav Kolić

Studijski program: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112083684

IZJAVA STUDENTA – AUTORA  
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor završnog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa završnim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog završnog rada kao autorskog djela pod uvjetima *Creative Commons* licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Student



Ime i prezime studenta:

Mislav Kolić

## SAŽETAK

Hidrauličke cilindre definiramo kao mehaničke aktuatori koji iskorištavaju hidraulički fluid kako bi generirali linearnu silu i pokret. Možemo ih naći u širokom spektru primjene u svakodnevnom životu. U ovom radu opisivat će se vrste, izvedbe te upotreba hidrauličkih cilindara u pomorstvu, što je danas vrlo širok i opširan pojam. U prvom dijelu rada opisuje se izvedba samog cilindra, njegove komponente te vrste izvedbi. Drugi dio rada opisivati će vrste koje su u čestoj općoj primjeni. Na kraju rada navest će se jedan primjer koji nam ukazuje na važnost hidrauličkih cilindara u razvitku i poboljšanju performansi broda kao cjeline.

**Ključne riječi:** Hidraulički cilindri, konstrukcija hidrauličkih cilindara, specijalne vrste hidrauličkih cilindara, MIL cilindri.

## SUMMARY

We define hydraulic cylinders as mechanical actuators that use hydraulic fluid to generate linear force and movement. We can find them in a wide range of applications in everyday life. This paper will describe the types, performance and use of hydraulic cylinders in maritime, which today is a very broad and comprehensive term. The first part of the paper describes the performance of the cylinder itself, its components and types of performance. The second part of the paper will describe the species that are frequently used in maritime affairs. At the end of the paper, an example will be given that indicates the importance of hydraulic cylinders in the development and improvement of the performance of the ship as a whole.

**Keywords:** Hydraulic cylinders, construction of hydraulic cylinders, special types of hydraulic cylinders, MIL cylinders.

# SADRŽAJ

<b>SADRŽAJ.....</b>	<b>I</b>
<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. HIDRAULIČKI CILINDAR.....</b>	<b>2</b>
2.1. KONSTRUKCIJA HIDRAULIČKIH CILINDARA.....	2
2.1. Osnovna konstrukcija.....	2
2.2. SIMBOLI HIDRAULIČKIH CILINDARA.....	4
2.2.1. Simboli.....	4
2.3. RJEŠENJA ZA BRTVLJENJE I NAČINI MONTIRANJA.....	5
2.3.1. Rješenja za brtvljenje.....	5
2.3.2. Brtve klipa.....	6
2.4. RJEŠENJA ZA MONTAŽU.....	7
2.4.1 Upute za montažu.....	7
2.5. HOD I AMORTIZACIJA.....	8
2.6. TABLICA KARAKTERISTIČNIH DIMENZIJA, RADNIH TLAKOVA TE UPOTREBE U INDUSTRIJI ZA HIDRAULIČKE CILINDRE.....	9
<b>3. OSNOVNI PRINCIP RADA HIDRAULIČKOG CILINDRA.....</b>	<b>12</b>
3.1 Princip rada.....	12
3.2 IZRAZI I DIJAGRAMI ZA PRORAČUNE CILINDRA.....	13
3.2.1. Tlak, površina i sila.....	13
3.2.2. Volumetrijska brzina protoka, brzina, površina.....	16
3.2.3. Prijenos volumetrijskog protoka.....	17
3.2.3. Sila kočenja i proračun sile kočenja.....	18
<b>4. POSEBNE VRSTE HIDRAULIČKIH CILINDARA.....</b>	<b>19</b>
4.1. Tandem cilindri.....	19
4.2. Cilindri sa brzim hodom.....	20
4.2.1. Jednosmjerni cilindar sa brzim hodom.....	20
4.2.1. Dvosmjerni cilindar sa brzim hodom.....	21
4.3 Teleskopski cilindri.....	21
4.3.1. Jednosmjerni teleskopski cilindar.....	21
4.3.2. Dvosmjerni teleskopski cilindar.....	22

4.4. Cilindri za zglobom.....	23
4.4.1. Hidraulički cilindar s pričvršćenjem prirubnice na glavi cilindra.....	24
4.4.2. Hidraulički cilindar s montažom preko svornjaka na bazi cilindra.....	25
4.5. Cilindri sa povećanom robusnošću (Mill - tip).....	25
4.5.1 MT 2 Serija cilindara proizvođača Parker.....	26
4.5.2. Hidraulički cilindar sa povećanom robusnošću sa montažom na prirubnicu na glavi cilindra.....	27
<b>5. SERVO CILINDRI I SUSTAVI SERVO CILINDARA.....</b>	<b>28</b>
5.1. Sustavi servo cilindara.....	28
5.2. Servo cilindar.....	29
5.2.1. Servo cilindri s kanalnim ležajevima.....	30
5.2.2. Servo cilindri sa hidrostatskim „ozubljenim” ležajevima.....	31
5.2.3. Servo razdjelnik.....	32
<b>6. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>34</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>35</b>
<b>KAZALO KRATICA.....</b>	<b>36</b>
<b>POPIS TABLICA.....</b>	<b>37</b>
<b>POPIS GRAFIKONA.....</b>	<b>37</b>
<b>POPIS SHEMA.....</b>	<b>37</b>
<b>PRILOG 1.....</b>	<b>38</b>



## 1. UVOD

Hidraulika postepeno nalazi primjenu u praktički svim područjima. Sve stroži ekološki zahtjevi, te potreba za ekonomičnim poslovanjem zahtijevaju sve efikasnije strojeve. Pri tom je ključno da cijena proizvoda ostane konkurentna. Stoga je nužan neprekidan razvoj. Razvoj hidraulike obilježava evolucija svih komponenti, te sustava u cjelini.

Hidraulički cilindri temeljni su dijelovi hidrauličkog kruga, koji služe pretvaranju hidrauličke energije fluida u mehanički rad, koji u ovom slučaju rezultira linearnim pomakom. Definiramo ih još i kao mehaničke aktuatore, koje danas možemo naći u širokoj primjeni u strojevima i sustavima u raznim industrijama kao što su građevina, poljoprivreda, pomorstvo te mnogi drugi sektori.

Princip rada hidrauličkih cilindara zasniva se na načelu Pascalovog zakona, koji nam govori da se „Sila primijenjena na stlačeni fluid prenosi se u svim smjerovima, djeluje sa jednakom silom po svim područjima i pod pravim kutom prema njima.“. Ovaj nam princip u hidrauličkom krugu omogućuje prijenos snage te generiranje velikih sila.

Kada pričamo o ulozi hidrauličkog cilindra u samom hidrauličkom krugu, on nam predstavlja komponentu koja kroz ventile prima hidraulički fluid pod pritiskom pumpe, te pretvara tu energiju u korisni(mehanički) rad.

U ovom radu cilj je približiti važnost hidrauličkog cilindra za suvremenu industriju, te ga predstaviti kao neiscrпно rješenje u širokom spektru korištenja.

## 2. HIDRAULIČKI CILINDAR

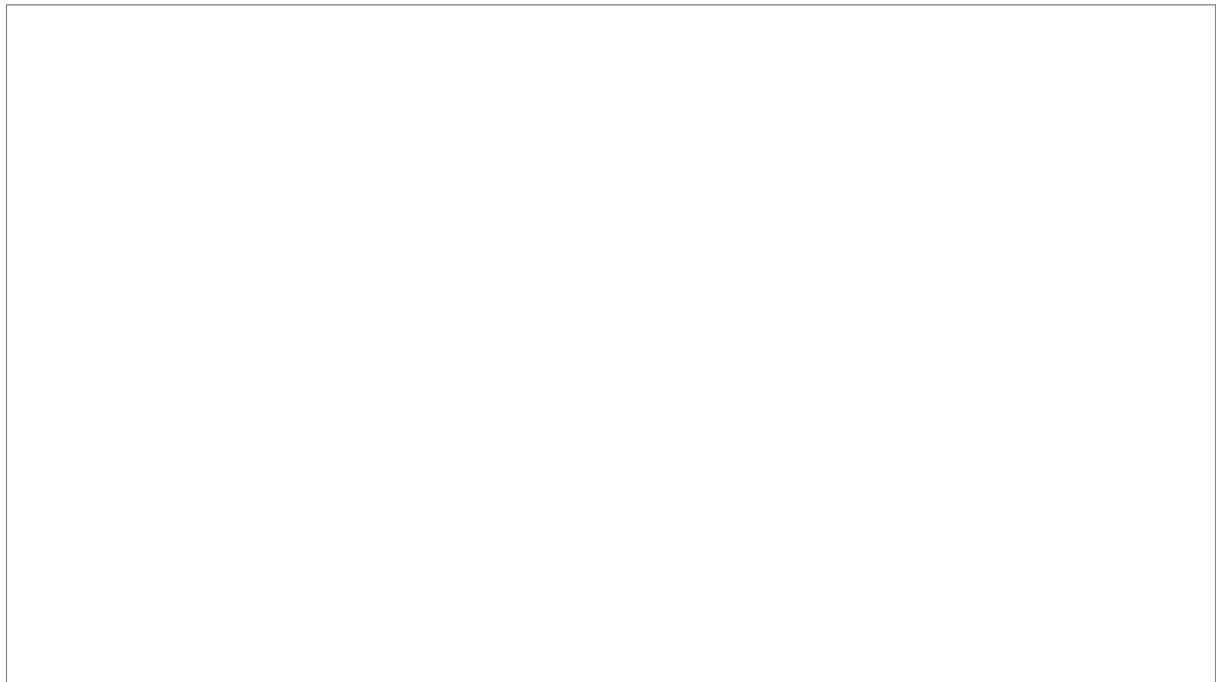
### 2.1. KONSTRUKCIJA HIDRAULIČKIH CILINDARA

#### 2.1. Osnovna konstrukcija

U osnovnu konstrukciju hidrauličkog cilindra uključujemo nekoliko važnih komponenti koje nam omogućuju pouzdan rad i visoku funkcionalnost ovih elemenata.

Osnovne komponente hidrauličkog cilindra čine:

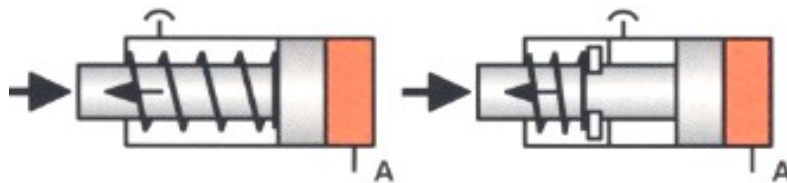
- |                      |                              |
|----------------------|------------------------------|
| 1. Tijelo cilindra   | 6. Klipna brtva              |
| 2. Klip              | 7. Klipni ležaj              |
| 3. Klipnjača         | 8. Brtva klipnjače           |
| 4. Baza cilindra     | 9. Vodicica klipnjače        |
| 5. Poklopac cilindra | 10. Brisač/strugač klipnjače |



*Slika 1. Tipična konstrukcija hidrauličkog cilindra; Preuzeto iz literature (2)*

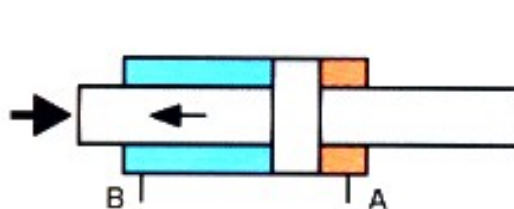
Iako smo je naveden generalizirani primjer konstrukcije hidrauličkog cilindra, njih možemo naći u različitim vrstama:

1. Jednosmjerni hidraulički cilindar – ovi cilindri koriste hidraulički pritisak za pomicanje klipa samo u jednom smjeru, u pravilu, klip u početni položaj vraća vanjska sila. Na slici ispod prikazan je primjer jednoradni cilindra sa oprugom.



*Slika 2. Primjer jednosmjernog cilindra s oprugom; Preuzeto iz literature (1)*

2. Dvosmjerni hidraulički cilindar - ova vrsta cilindra koristi hidraulički tlak za pomicanje klipa u oba smjera, omogućujući preciznu kontrolu i vraćanje klipa bez potrebe za dodatnim vanjskim silama. Na slici ispod prikazan je primjer dvosmjernog cilindra sa dvostrukom klipnjačom.



*Slika 3. Primjer dvosmjernog cilindra sa dvije klipnjače; Preuzeto iz literature (1)*

Materijali za tijelo cilindra, klip i klipnjaču moraju se odabrati na temelju zahtjeva čvrstoće i otpornosti na habanje i koroziju. Često se koristi čelik, ali također i aluminij i nehrđajući čelik za specifične primjene.

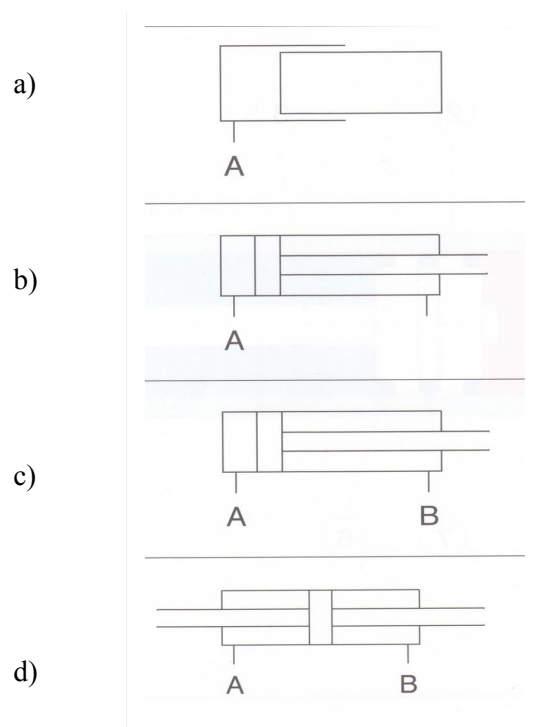
Nakon sklapanja, hidraulički cilindar se testira pod pritiskom kako bi se provjerilo da li postoje curenja ili nedostaci. Testiranje se obično vrši hidrauličkim uljem pod radnim pritiskom.

Pravilna konstrukcija hidrauličkog cilindra zahtijeva pažljivo planiranje i preciznu izradu kako bi se osigurala dugotrajnost i pouzdanost u radu.

## 2.2. SIMBOLI HIDRAULIČKIH CILINDARA

### 2.2.1. Simboli

Kao i drugi dijelovi hidrauličkog kruga, cilindri su predstavljeni u dijagramima i shemama pomoću standardnih simbola. Ono što je različito u usporedbi s drugim dijelovima kruga, simboli cilindra su vrlo slični samom dizajnu cilindra. U često upotrebi možemo naći sljedeće standardne simbole:



*Slika 4. Neki od primjera simbola različitih izvedbi hidrauličkih cilindra: a) Jednosmjerni klipni cilindar, b) Jednosmjerni cilindar sa jednom klipnjačom, c) Dvosmjerni cilindar sa jednom klipnjačom, d) Dvosmjerni cilindar sa dvosmjernom klipnjačom; Preuzeto iz literature (2)*

## 2.3. RJEŠENJA ZA BRTVLJENJE I NAČINI MONTIRANJA

### 2.3.1. Rješenja za brtvljenje

Efikasno brtvljenje je ključno za pouzdanost i performanse hidrauličkih cilindara, te je pravilno održavanje i izbor materijala od vitalnog značaja. Brtve se mogu podijeliti na dinamičke i statičke, kod statičkih brtvimo nepomične dijelove, dok dinamičke služe za brtvljenje pomičnih dijelova. Tako kod cilindara postoje različite vrste brtvi, koje obavljaju različite svrhe brtvljenja u cilindrima.



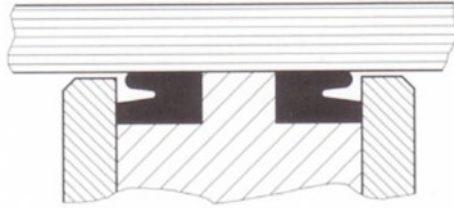
*Slika 5. Primjer "O" ring statičke brtve između tijela cilindra i glave cilindra; Preuzeto iz literature (2)*

Više je segmenata koji pospješuju efikasno brtvljenje, kao što su:

1. Pravilan izbor brtvi
2. Redovno održavanje brtvi
3. Precizna montaža

Kod brtvi može se i napraviti podjela po mjestu obavljanja funkcije, tako kod hidrauličkih cilindara nalaze se brtve klipa (piston seals), brtve klipnjače (piston rod seals), brtve krajeva cilindra (end cap seals) te brisači (wipers).

Od materijala za brtve najčešći su nitrilna guma, fluoroelastomeri te poliuretan.

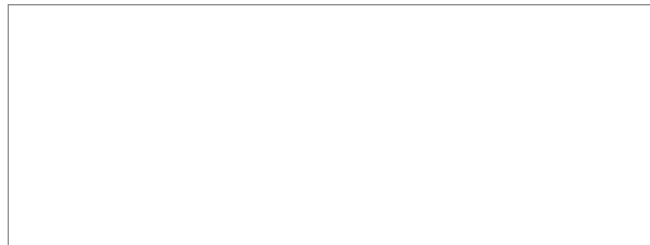


*Slika 6. Primjer dinamičke "Lip seal ring" brtve između klipa i cijevi cilindra; Preuzeto iz literature (2)*

Lip seal ring – meka brtva, vrlo učinkovita izvedba meke brtve koja dobro podnosi i velike i male tlakove.

### **2.3.2. Brtve klipa**

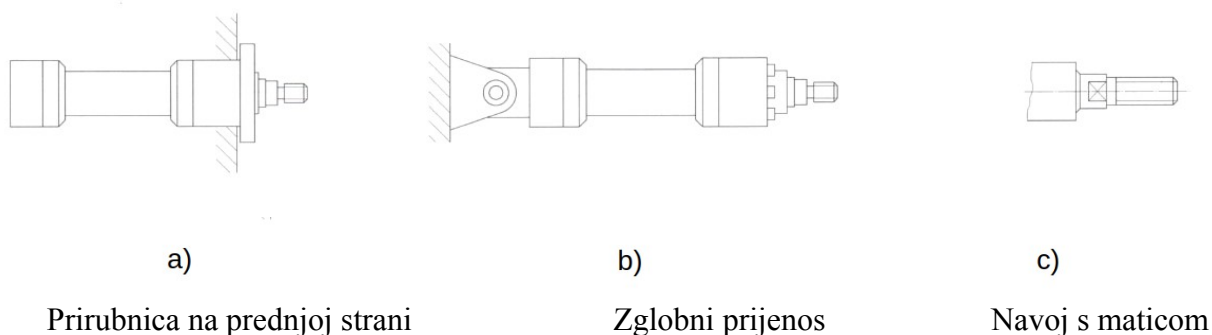
Najizdržljivija brtva klipa izrađena je od lijevanog željeza, čelika ili kromiranog čelika. Loša karakteristika metalnih brtvenih prstenova je sklonost većim propuštanjima od ostalih tipova, no koriste se često zbog njihove izdržljivosti i zbog toga što dobro podnose visoke temperature. Kod brtvi klipa često se upotrebljava U i V izvedba brtvi te su one vrlo učinkovite u sprječavanju curenja.



*Slika 7. Primjer seta brtvi sa kliznim prstenom manjeg trenja (za servo cilindre); Preuzeto iz literature (2)*

## 2.4. RJEŠENJA ZA MONTAŽU

Kod montaže hidrauličkih cilindara možemo naći više načina montaže samog cilindra. Sama montaža zahtjeva preciznost i oprez pri izvršenju. Kako imamo više načina montaže, moramo odabrati pravilnu i sigurnu vrstu montaže s obzirom na specifične uvjete u kojima će cilindar raditi. Osim same montaže, vrlo je važno ono što prethodi te slijedi montaži, a to su priprema montaže te testiranje poslije montaže.



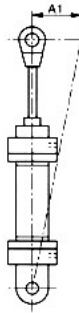
*Slika 8. Primjeri montaže hidrauličkih cilindara; Preuzeto iz literature (1)*

Montaže hidrauličkih cilindara također imaju više vrsta, tako razlikujemo fiksnu montažu, dinamičku montažu te pričvršćivanje za klipnjaču. Metode ugradnje ugrađene su u konstrukciju glave cilindra, u samom cilindru ili na dnu cilindra, ili su ugrađene u modularni sustav za ugradnju glavnog cilindra. Montaža je uz sve ostale elemente rada hidrauličkog cilindra ključni element za njegovu dugotrajnost i visoku funkcionalnost.

### 2.4.1 Upute za montažu

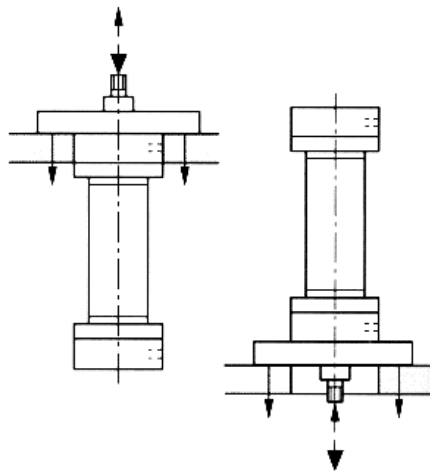
Svaki cilindar dolazi u uputama za montažu. Prilikom ugradnje hidrauličkih cilindara moraju se uzeti u obzir različiti kriteriji. U ovom dijelu navedeno je par primjera uputa za montažu hidrauličkih cilindara

Klizni ležaj na oba kraja - Os se smije pomicati samo u smjeru spojnice



*Slika 9. Prikaz montaže cilindra s kliznim ležajem na oba kraja; Preuzeto iz literature (1)*

Kod montaže na prirubnicu glave cilindra, preporuča se vertikalno postavljanje, u slučaju glavnog naprezanja, pričvršni vijci ne smiju biti izloženi naprezanju na prirubnici. Stoga su prikazani načini instalacije poželjniji



*Slika 10. Primjer montaže na prirubnicu glave cilindra; Preuzeto iz literature (1)*

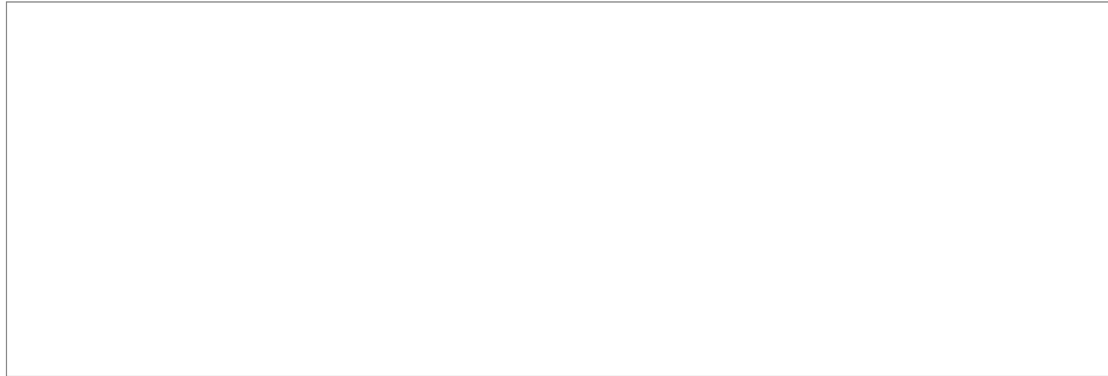
## 2.5. HOD I AMORTIZACIJA

Hod hidrauličkog cilindra definira se kao maksimalna udaljenost koju klip može proći unutar cilindra. Ovaj parametar također govori te određuje koliko daleko klip može pomjeriti teret. Postoji par faktora koji utječu na hod, a dva najbitnija su duljina samog cilindra te radni tlak u hidrauličkom krugu. Snažni udarci klipa mogući su u glavi cilindra ili u dnu cilindra



kada klip dođe do kraja svog hoda. Zato je i kod hidrauličkih cilindara kao i kod drugih strojeva u svakodnevnoj upotrebi bitna amortizacija tih sila i tlakova. Amortizacija hidrauličkog cilindra odnosi se na sposobnost cilindra da apsorbira vibracije i udarce, te da smanjuje nagle promjene brzine i smjerove kretanja klipa.

Amortizacija je ključan segment za produljenje vijeka trajanja te maksimalnu funkcionalnost cilindra, kao i za zaštitu sve povezane opreme.



*Slika 11. Primjer amortizacije cilindra sa stalnim razmakom amortizacije; Preuzeto iz literature (2)*

## 2.6. TABLICA KARAKTERISTIČNIH DIMENZIJA, RADNIH TLAKOVA TE UPOTREBE U INDUSTRIJI ZA HIDRAULIČKE CILINDRE

Type	C 80 H	C 160 CH	C 160 CH-BH	C 20 H	C 250 H
Standard	CNOMO	ISO 6020-2 DIN 24 554	ISO 6020-1 CETOP R 58	ISO 6020-1 VW 39 D 920	ISO 6022 DIN 24 333
Output pressure (bar)	80	160	160	200	250
Piston- $\phi$ (mm)	32-160	25-200	32-160	32-160	50-320
Piston rod- $\phi$ (mm)	18-110	18-140	16-110	18-110	32-220
Application	Light material-handling equipment Mounting Automation Manipulators	Machine-tools Clamping devices Trans-manipulators	Gigs General mechanical engineering Molding Heavy industry		Machine-tools General mechanical engineering Manipulators

*Slika 12. Tablica karakterističnih veličina za hidraulički cilindar; Preuzeto iz literature (2)*

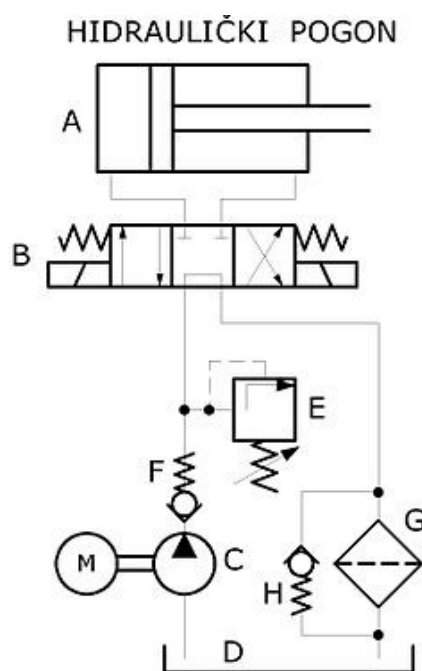
Po tablici vidimo važnost dimenzija elemenata hidrauličkog cilindra kao što su promjer klipa, promjer klipnjače te nazivni tlak. Na parametar nazivnog tlaka primjetno utječe veličina dimenzija klipa i klipnjače. Kako slijedi u tablici možemo također uočiti da svaki model ima karakteristične veličine ali i industrijsku upotrebu.



### 3. OSNOVNI PRINCIP RADA HIDRAULIČKOG CILINDRA

#### 3.1 Princip rada

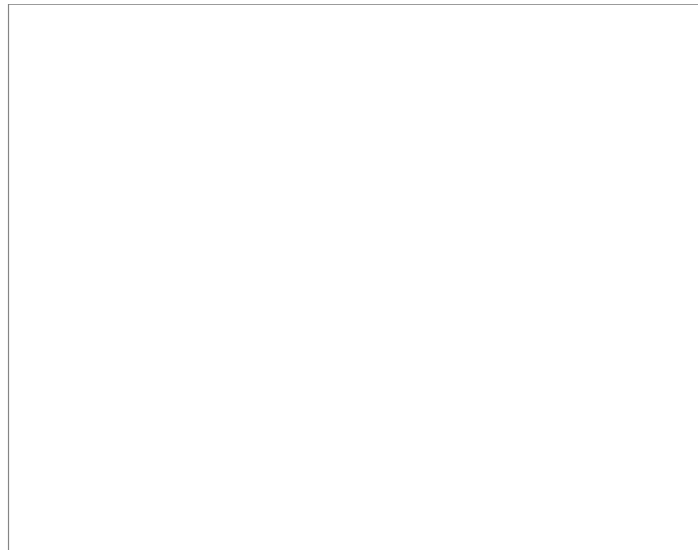
Princip rada ovih elemenata zasniva se na osnovi Pascalovog zakona, koji tvrdi da tlak primijenjen na tekućinu u zatvorenom sustavu prenosi tu silu jednoliko u svim smjerovima. Taj način rada ima nekoliko faza, a počinje tako da se radna tekućina isporučuje pod pritiskom kroz otvore cilindra u klip ili u prstenastom području. Taj pritisak dovodi do razvoja linearnog gibanja klipa i klipnjače, što posljedično potiče da se to gibanje prenosi na stroj na koji je klipnjača postavljena.



Slika 13. Principijelna shema hidrauličkog kruga; Preuzeto iz literature (4)

Razumijevanje principa rada hidrauličkog cilindra omogućuje učinkovito korištenje i održavanje svih njegovih komponenti, čineći cilindar ključnim dijelom mnogih strojnih sustava. Princip rada ovih elemenata zasniva se na osnovi Pascalovog zakona, koji tvrdi da

tlak primijenjen na tekućinu u zatvorenom sustavu prenosi tu silu jednoliko u svim smjerovima.



*Slika 14. Konstrukcijska izvedba u tipu RAM; Preuzeto iz literature (3)*

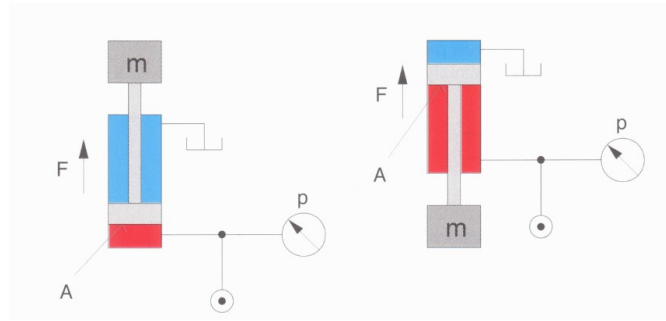
Na slici prikazan je klasičan jednoradni cilindar izveden u tipu RAM te je u dvije slike prikazan njegov način operacije, to jest princip rada.

## **3.2 IZRAZI I DIJAGRAMI ZA PRORAČUNE CILINDRA**

### **3.2.1. Tlak, površina i sila**

Po Pascalovom zakonu, u izrazu imamo vezu između tri osnovna parametra, a to su sila, tlak i površina. Pascalov zakon glasi:

$$p = \frac{F}{A}$$



*Slika 15. Prikaz parametara tlaka, površine i sile na shematskom prikazu hidrauličkog cilindra; Preuzeto iz literature (2)*

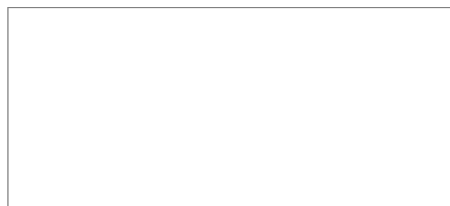
Površinu se izračunava preko promjera, a koristimo slijedeći izraz:

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

Ako se želi dobiti suma svih sila, koristi se izraz:

$$F > F_{gen} = F_G + F_a + F_R$$

Učinkovitost ovisi o vrsti brtvljenja, kvaliteti površine cilindra i klipnjače kao i o izlaznom tlaku. Navedene se neke tipične vrijednosti za efikasnost u ovisnosti o radnom tlaku:



*Slika 16. Tablica usporedbe radnih tlakova i efikasnosti hidrauličkog cilindra;  
Preuzeto iz literature (2)*

### 3.2.2. Volumetrijska brzina protoka, brzina, površina

Poveznica ovih tri parametara dana je jednačbom kontinuiteta

$$q_v = A \cdot v$$



*Slika 17. Prikaz parametara protoka, brzine i površina na shematskom prikazu hidrauličkog cilindra; Preuzeto iz literature (2)*

Slijedeće bazične jednačbe koristimo za izračun slijedećih veličina:

Izraz za izlazni protok:

$$q_v = A \cdot v \cdot 10^{-1}$$

gdje je :

$q_v$  = izlazni protok [l/min]

$v$  = brzina [m/min]

$d$  = promjer [mm]

Izraz za površinu:

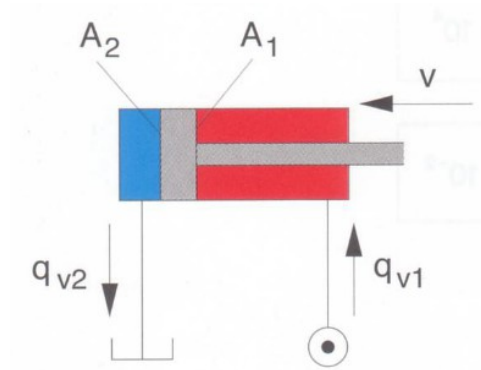
$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot 10^{-2}$$

$A$  = površina [cm<sup>2</sup>]

$d$  = promjer [mm]

### 3.2.3. Prijenos volumetrijskog protoka

Kada su cilindri sa jednostranom klipnjačom u položaju potpuno uvučenom prema kraju klipnjače, treba uzeti u obzir učinak prijenosa volumetrijske brzine protoka.



*Slika 18. Prikaz prijenosa volumetrijskog protoka u hidrauličkom cilindru; Preuzeto iz literature (2)*

Slijedi izraz:

$$\frac{q_{v2}}{q_{v1}} = \frac{A_2}{A_1}$$



### 3.2.3. Sila kočenja i proračun sile kočenja

Amortizacija krajnjeg položaja mora omogućiti kontrolirano usporavanje krajnje brzine u oba krajnja položaja. Kada amortizacija započne, sve efektivne energije ne smiju premašiti maksimalnu radnu sposobnost amortizacije, a tome pridonosi sila kočenja.

Izračun sile kočenja:

Sila kočenja hidrauličkog cilindra koji je postavljen horizontalno može se izračunati slijedećim postupkom:

Ulaz (dolazak klipa u krajnji položaj):  $F_B = m \cdot a + A_k \cdot p$

$F_B$  – sila kočenja [ N ]

$m$  - masa [ kg ]

$a$  - akceleracija [ m/s<sup>2</sup> ]

$A_k$  – površina klipa [ cm<sup>2</sup> ]

$p$  – radni tlak sustava [ N/cm<sup>2</sup> ]

Izlaz (odlazak klipa iz krajnjeg položaja):  $F_B = m \cdot a + A_r \cdot p$

$F_B$  – sila kočenja [ N ]

$m$  - masa [ kg ]

$a$  - akceleracija [ m/s<sup>2</sup> ]

$A_r$  – prstenasto područje [ cm<sup>2</sup> ]

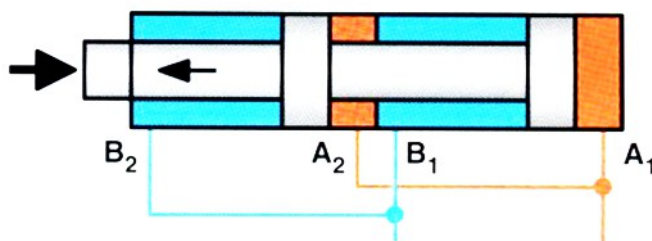
$p$  – radni tlak sustava [ N/cm<sup>2</sup> ]

## 4. POSEBNE VRSTE HIDRAULIČKIH CILINDARA

Postoje određena područja primjene kojima se standardni cilindri sa jednostrukim ili dvostrukim djelovanjem mogu koristiti u praksi samo uz uvjet poduzimanja posebnih dodatnih mjera i postupaka koji uključuju puno napora. Najčešći od ovih slučajeva je kada su potrebni dugi hodovi s ekstremno malim prostorom za ugradnju ili gdje je potrebna najveća sila za najmanji promjer klipa. Ovaj zahtjev i niz drugih zahtjeva doveli su do proizvodnje niza modela posebnog dizajna koji su djelomično kompleksniji i iziskuju više truda i vremena za proizvodnju.

### 4.1. Tandem cilindri

Kod tandem cilindra, to jest cilindrima s dvostrukim djelovanjem koji rade u tandemu, postoje dva cilindra koji su međusobno povezani na takav način da klipnjača jednog cilindra gura dno drugog cilindra do njegovog područja klipa. Korištenjem ovakve izvedbe cilindra površine se tako reći zbrajaju te se mogu prenijeti velike sile za relativno male vanjske promjere bez povećanja radnog tlaka. U obzir se kod ovog modela mora uzeti duljina samog elementa, koja je nešto duža nego obično.



Slika 19. Prikaz izvedbe tandem cilindra; Preuzeto iz literature (1)

## 4.2. Cilindri sa brzim hodom

Cilindri s brzim hodom koriste se primarno u prešama. U ovom cilindru, sve dok nije potrebna maksimalna radna sila, samo će se dio efektivne površine klipa, zajednički spojeni klip s brzim hodom nalaziti pod pritiskom. Ta cijela efektivna površina klipa naknadno se spaja na hidrauličku pumpu preko upravljačkog sustava, najčešće pomoću regulacijskih tlačnih ventila ili graničnih sklopki.

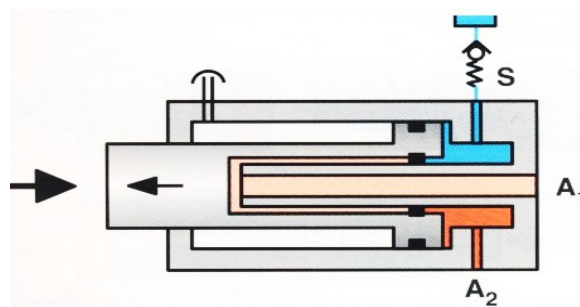
Neke od prednosti ovakve izvedbe su:

- velika brzina brzog hoda zbog malog volumena
- velika sila pritiska zbog velike efektivne površine klipa

Kao i kod standardnih, kod cilindra s brzim hodom podjela se zasniva na 2 vrste:

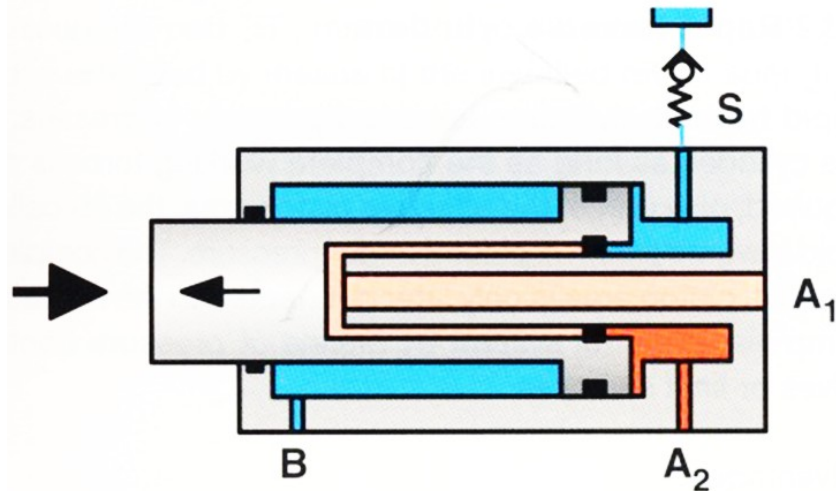
- Jednosmjerni cilindri sa brzim hodom
- Dvosmjerni cilindri sa brzim hodom

### 4.2.1. Jednosmjerni cilindar sa brzim hodom



Slika 20. Prikaz jednosmjernog cilindra sa brzim hodom; Preuzeto iz literature (1)

#### 4.2.1. Dvosmjerni cilindar sa brzim hodom



Slika 21. Prikaz dvosmjernog cilindra s brzim hodom; Preuzeto iz literature (1)

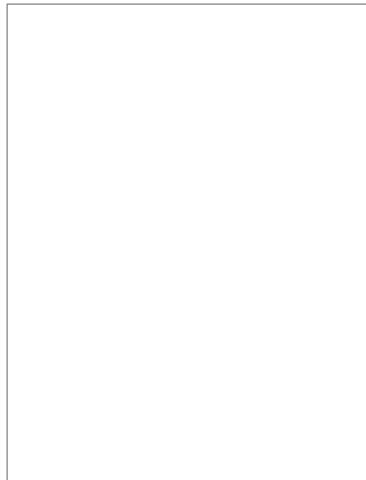
### 4.3 Teleskopski cilindri

Teleskopski cilindri razlikuju se od normalnih cilindara po tome što im je potrebno samo malo prostora za ugradnju. Uvučeni su u usporedbi sa standardnim cilindrima s istim hodom. Smanjeni prostor potreban za ugradnju je takve izvedbe zbog klipnjača koje klize jedna u drugu. Uvučena duljina teleskopskog cilindra obično je između polovice i četvrtine hoda cilindra. Ovisno o prostoru potrebnom za ugradnju, ovi cilindri su dostupni s dva, tri, četiri ili pet stupnjeva. Teleskopski cilindri se koriste u hidrauličnim dizalima, platformama za iskopavanja, gospodarskim vozilima, platformama za podizanje, antenama itd.

#### 4.3.1. Jednosmjerni teleskopski cilindar

Ako su klipovi pod tlakom preko priključka "A", oni se izvlače jedan za drugim. Tlak ovisi o veličini opterećenja i efektivnoj površini. Stoga klip s najvećom učinkovitošću

površinom prvi rasteže. Pri konstantnom tlaku i protoku, produljenje počinje najvećom silom i najmanjom brzinom, a završava najmanjom silom i najvećom brzinom.

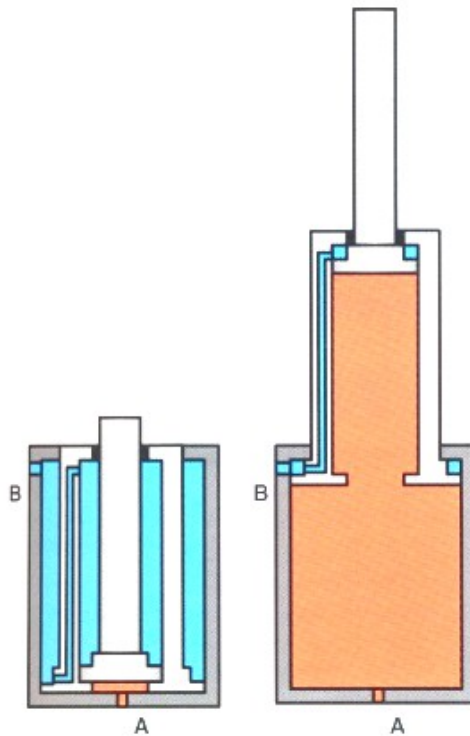


*Slika 22. Prikaz jednosmjernog teleskopskog cilindra; Preuzeto iz literature (1)*

#### **4.3.2. Dvosmjerni teleskopski cilindar**

U dvosmjernim cilindrima klipovi su izvučeni na isti način kao u jednosmjernim cilindrima. Redoslijed uvlačenja pojedinih stupnjeva ovisi o veličini područja prstena i vanjskom opterećenju. Klip s najvećom površinom prstena prvi se vraća u svoj početni položaj kada je pod pritiskom preko priključka cijevi "B".

Teleskopski cilindri s dvostrukim djelovanjem također se koriste kao sinkronizirani teleskopski cilindri. U ovom modelu, različiti stupnjevi se istovremeno produžuju ili povlače.



*Slika 23. Prikaz dvosmjernog teleskopskog cilindra; Preuzeto iz literature (1)*

#### **4.4. Cilindri za zglobov**

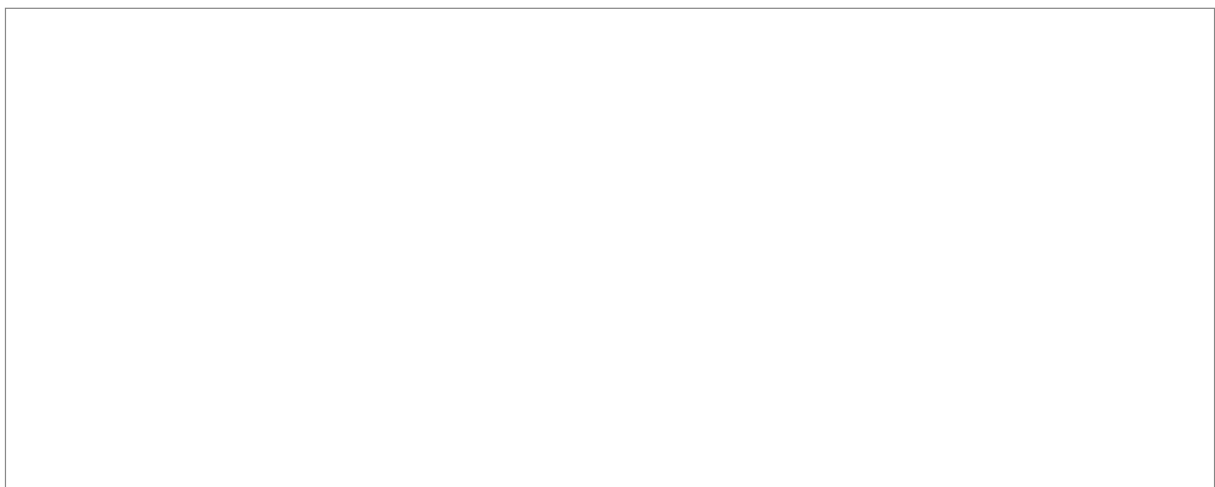
U cilindrima sa zateznom šipkom-sponom, glava cilindra i dno cilindra spojeni su zajedno s zateznom šipkom. Glavna značajka cilindra spone je njegova vrlo kompaktna konstrukcija i dizajn. Budući da su ovi cilindri kompaktni i štede prostor, prvenstveno se koriste u industriji alatnih strojeva i u uređajima za proizvodnju, kao što su prijenosne linije i obradni centri u automobilske industriji.



*Slika 24. Hidraulički cilindar sa zglobnom izvedbom s pravokutnom prirubnicom na glavi cilindra; Preuzeto iz literature (1)*

#### **4.4.1. Hidraulički cilindar s pričvršćenjem prirubnice na glavi cilindra**

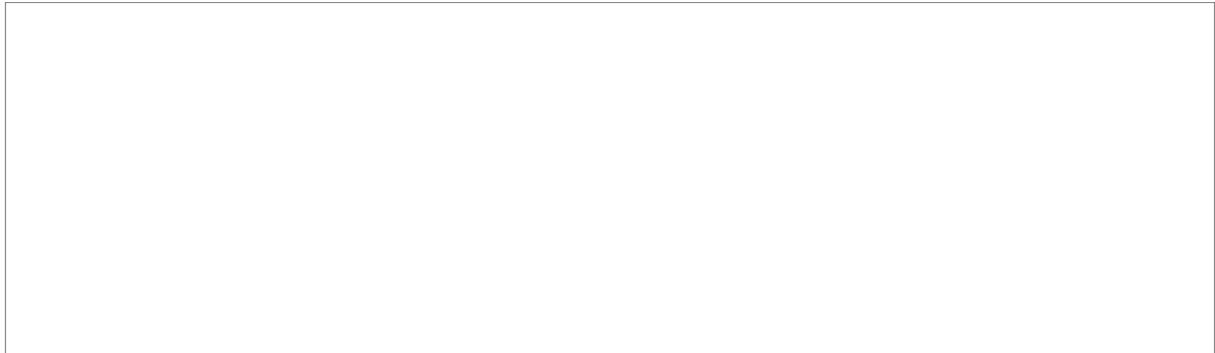
Kod ove izvedbe cilindra spona, glava cilindra i baza fiksirani su na cilindar pomoću spona. Vodeća čahura je uvrnuta u glavu cilindra, dok kao brtvu koristi klizni prsten ili prsten s utorima. Amortizacija krajnjeg položaja nalazi se na oba kraja, a amortizacijske čahure podupiru plivajući ležajevi. Prigušni i povratni ventili su na oba kraja, kao i standardni odzračni ventili.



*Slika 25. Prikaz hidrauličkog cilindra spona s pričvršćenjem prirubnice na glavi cilindra;  
Preuzeto iz literature (1)*

#### **4.4.2. Hidraulički cilindar s montažom preko svornjaka na bazi cilindra**

Kod ove malo kompleksnije izvedbe, krajevi cilindra pričvršćeni su na cijev pomoću spona. Vodicica i poklopac prirubnice su utisnuti u glavu cilindra, dok za brtvljenje koristimo 2 kombinacije: brtvu/užlijebljeni prsten ili klizni prsten/žljebasti prsten. Posebnost ove izvedbe jest samo poravnavajuća spojnica koja se montira na bazu cilindra.



*Slika 26. Prikaz hidrauličkog cilindra spona s montažom preko svornjaka na bazu cilindra;  
Preuzeto iz literature (1)*

#### **4.5. Cilindri sa povećanom robusnošću (Mill - tip)**

Kod cilindara sa povećanom robusnošću glava cilindra i baza cilindra mogu biti pričvršćeni vijcima, zavareni ili čvrsto spojeni pomoću vijaka ili specijalnih pričvrstnih prstenova. Zbog svoje robusne izvedbe i dizajna, cilindri mlinskog tipa vrlo su prikladni u primjenama s ekstremnim radnim uvjetima.



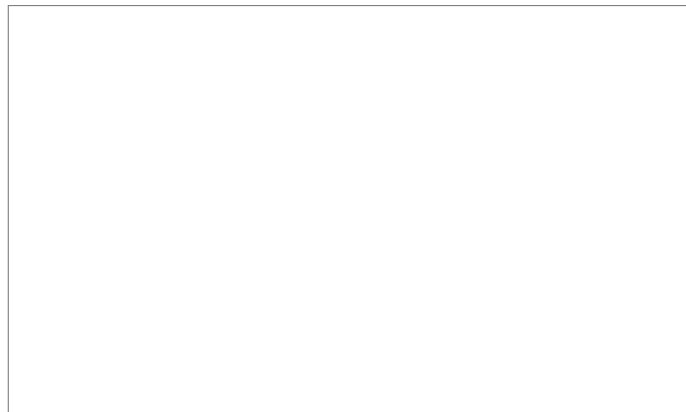


*Slika 27. Primjer „Mill type“ cilindra; Preuzeto iz literature (1)*

Glavne primjene ovih cilindara su u općoj primjeni u strojarstvu, valjaonicama, željezarama, prešama, dizalicama, pokretnim strojevima, niskogradnji, brodogradnji itd..

#### **4.5.1 MT 2 Serija cilindara proizvođača Parker**

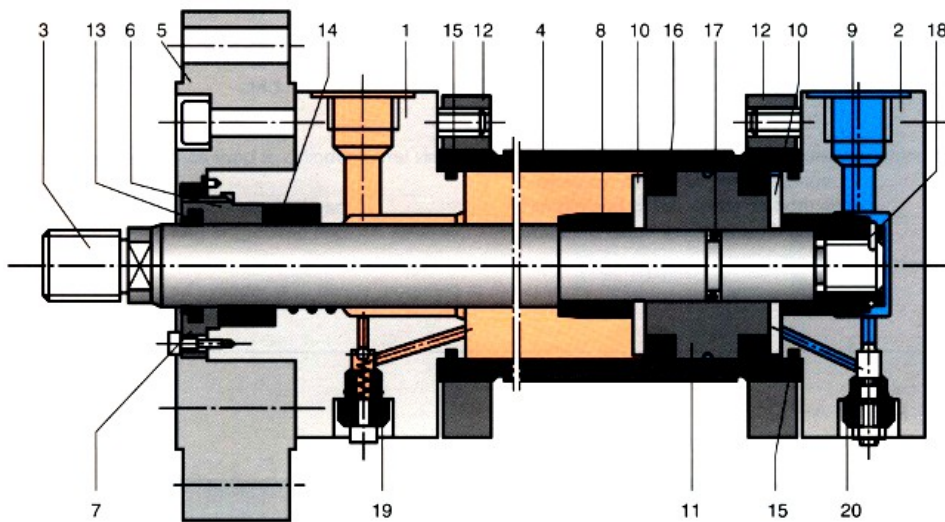
Ova vrsta cilindara osim što se razlikuje performansama, razlika je primjetna i u kvaliteti i čvrstoći materijala samog cilindra, vijaka, čvrstoći zavora, te cjelokupnog dizajna. Mill-tip cilindri prate najviše standarde proizvodnje u suvremenoj industriji te se po pravilu koriste samo kod „ekstremu“ u bilo kojoj grani industrije.



*Slika 28. MT2 cilindar s povećanom robusnošću proizvođača Parker; Preuzeto iz literature (5)*

Cilindri serije MT2 za teške uvjete rada dizajnirani su za usluge u čeličanicama i u drugim teškim primjenama gdje potreban je robusan, pouzdan cilindar. Tijelo cilindra je robusno izrađeno od čelika s teškim stijenkama, izbrušen do 15 mikro - inča kako bi se maksimalno produžio vijek brtve.

#### 4.5.2. Hidraulički cilindar sa povećanom robusnošću sa montažom na prirubnicu na glavi cilindra



Slika 29. Prikaz konstrukcije cilindra Mill tipa sa montažom na prirubnicu na glavi cilindra;  
Preuzeto iz literature (1)

- Oba kraja cilindra učvršćena su prirubnicama
- Čahura za vođenje je uvijena u glavu cilindra
- Chevron brtve
- Amortizacija krajnjeg položaja na oba kraja cilindra
- Prigušni i nepovratni ventili su na oba kraja cilindra
- Odzračni ventili su na oba kraja cilindra

## 5. SERVO CILINDRI I SUSTAVI SERVO CILINDARA

### 5.1. Sustavi servo cilindara

Sustavi servo cilindara jedinstvena su podskupina hidrauličkih cilindara. Oni nisu kategorizirani u skladu s njihovim općim tehničkim dizajnom kao industrijski i mobilni cilindri, već su kategorizirani u skladu s tipom ležaja klipnjače. Cilindri s hidrostatskim ležajevima koriste se u primjenama gdje je potrebno nisko trenje i/ili visoke frekvencije oscilacija s malim amplitudama.

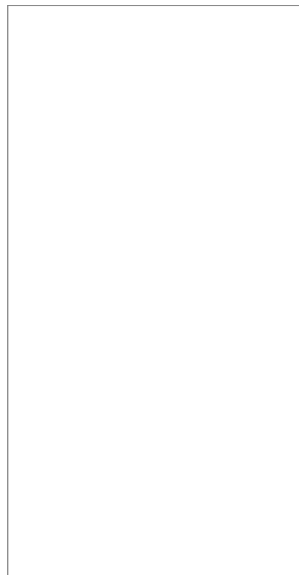
Servo cilindri se primarno koriste u simulatorima kretanja, uređajima za ispitivanje materijala i komponenti te u svim primjenama gdje su potrebni vrlo visoki dinamički odzivi i točnost linearnog pogona.

Sustavi servo cilindara u osnovi se sastoje od sljedećih komponenti:

Servo cilindar

Servo razdjelnik

Upravljačka elektronika



*Slika 30. Prikaz servo cilindra sa montiranim servo razdjelnikom; Preuzeto iz literature (1)*

## 5.2. Servo cilindar

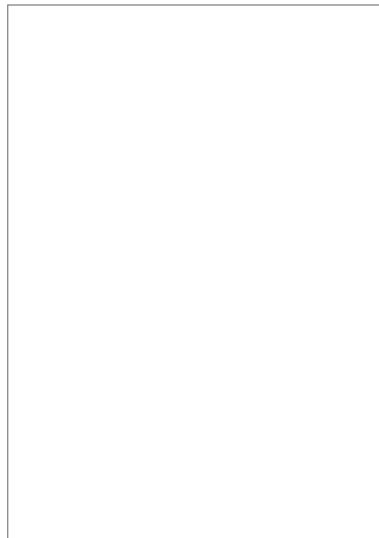
Za određivanje vrste cilindra koji će se koristiti koriste se četiri karakteristike:

- 1) dopušteni iznos trenja cilindra u radnim uvjetima
- 2) poprečna sila opterećenja na klipnjaču
- 3) potrebne brzine cilindra
- 4) najmanje amplitude ili kontrola pokreta

Uzimajući u obzir radne uvjete ove izvedbe cilindra, najčešće dvije koje su u širokoj upotrebi su servo cilindri s hidrostatskim klinastim ležajevima klipnjače bez brtvi pod pritiskom ili servo cilindri s punim hidrostatskim ležajevima klipnjače bez brtvi pod pritiskom.

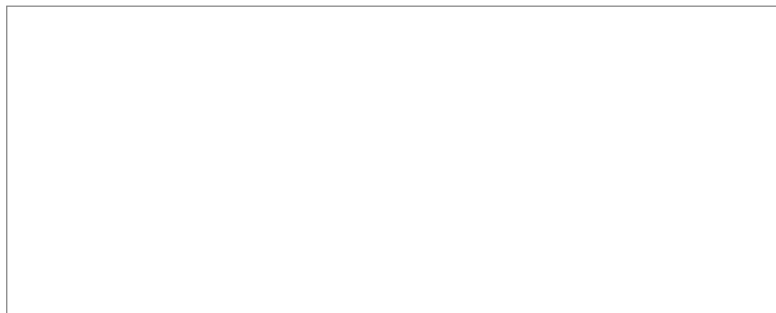
### 5.2.1. Servo cilindri s kanalnim ležajevima

Servo cilindri s kanalnim ležajevima koriste se u primjenama s brzinama do  $v_{\max} = 2$  m/s i malim poprečnim opterećenjima. Ovaj tip cilindra predviđen je za radne tlakove do 210 bara i za nazivne sile od 1 do 4000 kN. Najčešći načini montaže su klizni ležaj na bilo kojem kraju, prirubnice na bilo kojem kraju ili montaža na osovinu.



*Slika 31. Prikaz servo cilindra sa klinastim ležajevima; Preuzeto iz literature (1)*

Servo cilindri kod ove izvedbe isporučuju se s internim induktivnim sustavom za mjerenje putanje sa senzorom blizine. S ovim sustavom mjerenja putanje, mjeri se hod klipa i stvarni ventil se šalje upravljačkoj elektronici. Brtve ugrađene u servo cilindre nisu pod pritiskom tlaka komore. Stoga se u ovoj vrsti ležaja postiže iznimno nisko trenje. Izbjegava se ometajući učinak sklizanja i klizanja.

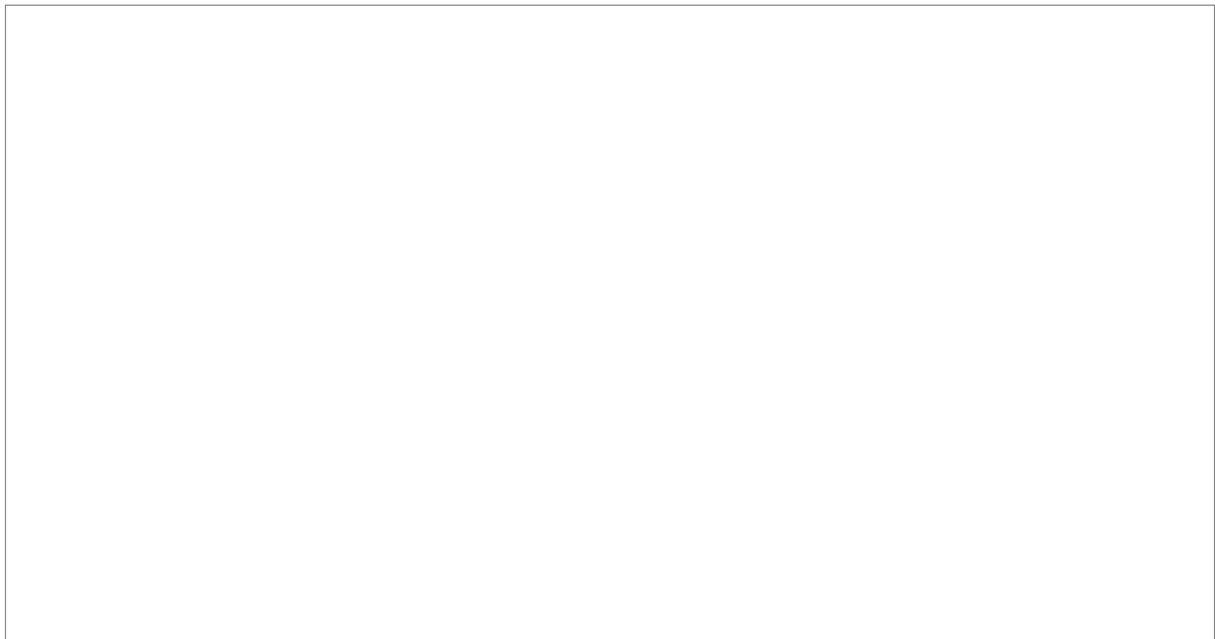


A,B = radni tlak    L = curenje ulja    P = operativni tlak/tlak ležaja    B = pretvarač staze

*Slika 32. Shematski prikaz servo cilindra sa klinastim ležajem koji podupire klipnjaču;  
Preuzeto iz literature (1)*

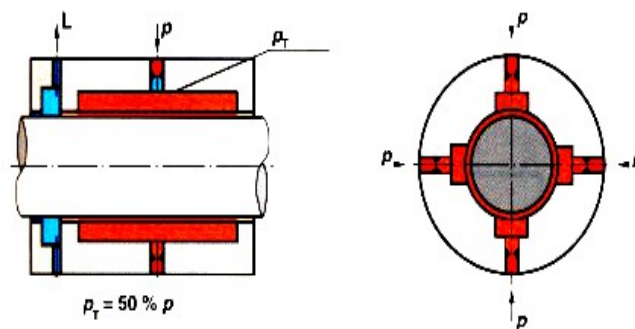
### **5.2.2. Servo cilindri sa hidrostatskim „ozubljenim” ležajevima**

U cilindrima koji se koriste pri velikim i malim brzinama te koji ne mogu biti pod velikim opterećenjem poprečne sile, koristi se izvedba servo cilindra sa hidrostatskim „ozubljenim” ležajevima. Posebni su po tome što su predviđeni za radni tlak od 280 bara i nazivne sile sve od 10 do 10,000 kN. Neki od mogućih načina montaže ovih cilindara su sa pribudnicom na bilo kojem kraju cilindra ili montažom na osovinu. Ovaj dizajn ima četiri šupljine raspoređene po obodu ležaja. Oni osiguravaju klipnjaču s četiri spojena tlačna polja, čime se istovremeno centrira ležaj klipnjače.



*Slika 33. Shematski prikaz servo cilindra sa hidrostatskim zupčastim ležajem; Preuzeto iz literature (1)*

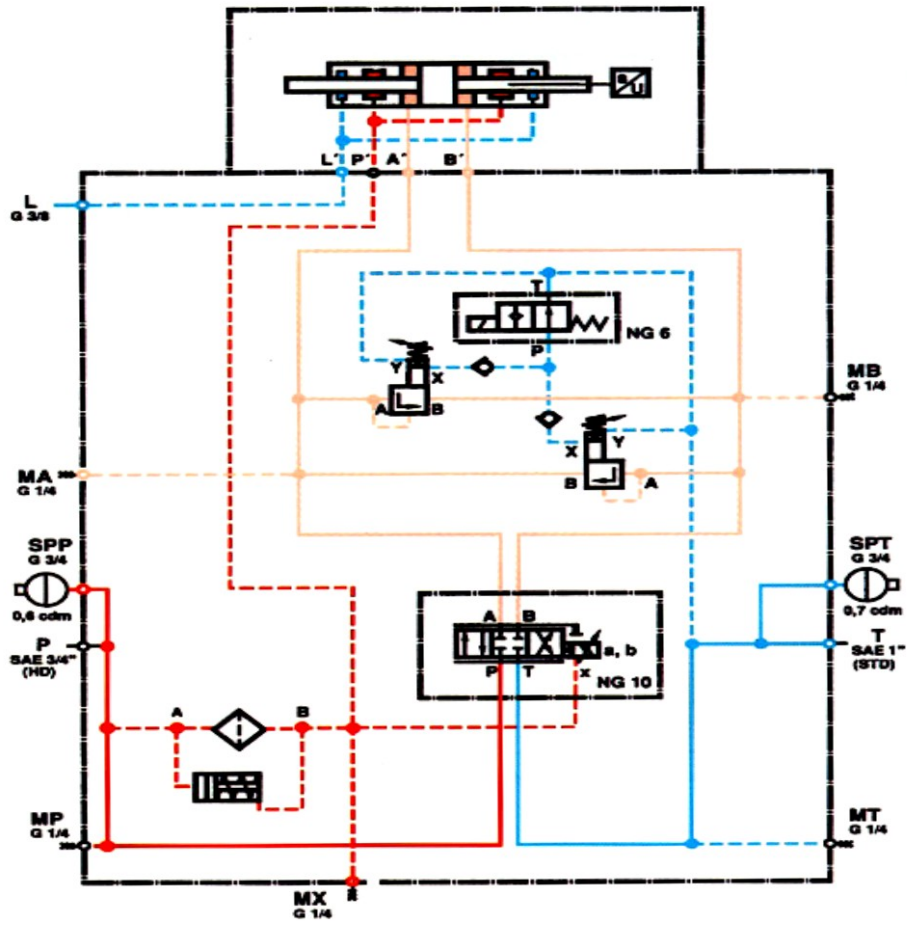
Tlak ležaja u šupljini je jednak 50% radnog tlaka ako se zanemari učinak opterećenja poprečne sile. Ako poprečna sila djeluje na klipnjaču, pritisak ležaja se povećava u suprotnoj šupljini. Stoga se klipnjača drži u središnjem dijelu ležaja. Količina trenja koja se javlja u hidrostatskim zupčastim ležajevima ista je kao i kod ležajeva s klinastim raspорom. Međutim, ova količina trenja također vrijedi u ležajevima sa šupljinom s opterećenjima poprečnim silama, budući da klipnjača ne može trljati o površine ležaja i stoga ne ulazi u područje mješovitog trenja.



Slika 34. Shematski prikaz hidrostatskog zupčastog ležaja klipnjače; Preuzeto iz literature (1)

### 5.2.3. Servo razdjelnik

Kako se ne bi nepotrebno smanjila dobra dinamička karakteristika hidrauličkih pogona, duljine cijevi između upravljačkog i servo cilindra moraju biti što je moguće kraće. Kako bi se to postiglo, servo razvodnik se montira izravno na servo cilindar. Cjevovod do agregata ili do izolacijskog sustava realizira se preko servo razdjelnika. Dodatne funkcije, kao što su ograničavanje sile, filtriranje pilotskog ulja i ulja za ležajeve te skladištenje tlaka već su uključene u ovaj razvodnik.



Slika 35. Shemtatski prikaz servo razdjelnika; Preuzeto iz literature (1)



## **6. ZAKLJUČAK**

Hidraulički cilindri su osnovni izvršni elementi u hidrauličkom prijenosniku snage. U radu se pokušao dati pregled funkcioniranja izvršnih članova koji su najčešći izbor u današnjim hidrauličkim sustavima te se htjelo predstaviti ove elemente kao ključne u mnogim industrijskim upotrebama. Hidraulički cilindri jedinstveni su u industriji te jedni od najdugovječnijih i najpouzdanijih elemenata hidrauličkog kruga. Jedini su prijenosnici snage u kojima na izlazu prenesenu snagu gledamo kroz silu i brzinu, zbog ta dva parametra unikatni su u industriji.

## LITERATURA

1. Hydraulics. Basic Principles and Components – H. Exner, R. Freitag, Dr. Ing, H GeisB- ISBN 3-933698-32-4
2. BOSCH Automation, Hydraulics. Theory and applications, Robert Bosch – ISBN 3-9805925-3-7, 1998
3. EATON Industrial Hydraulic Manual ISBN -13: 978-0-9788022-2, 2008
4. [https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidraulicki\\_cilindar](https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidraulicki_cilindar)
5. Parker Cylinder, Mill Type Cylinders Series MT2, Catalog 0996-1 / CDN
6. PW 100 TRAINING MANUAL, Pratt and Whitney Canada, 1998

## **KAZALO KRATICA**

**POPIS TABLICA**

**POPIS GRAFIKONA**

**POPIS SHEMA**

## **PRILOG 1**

