

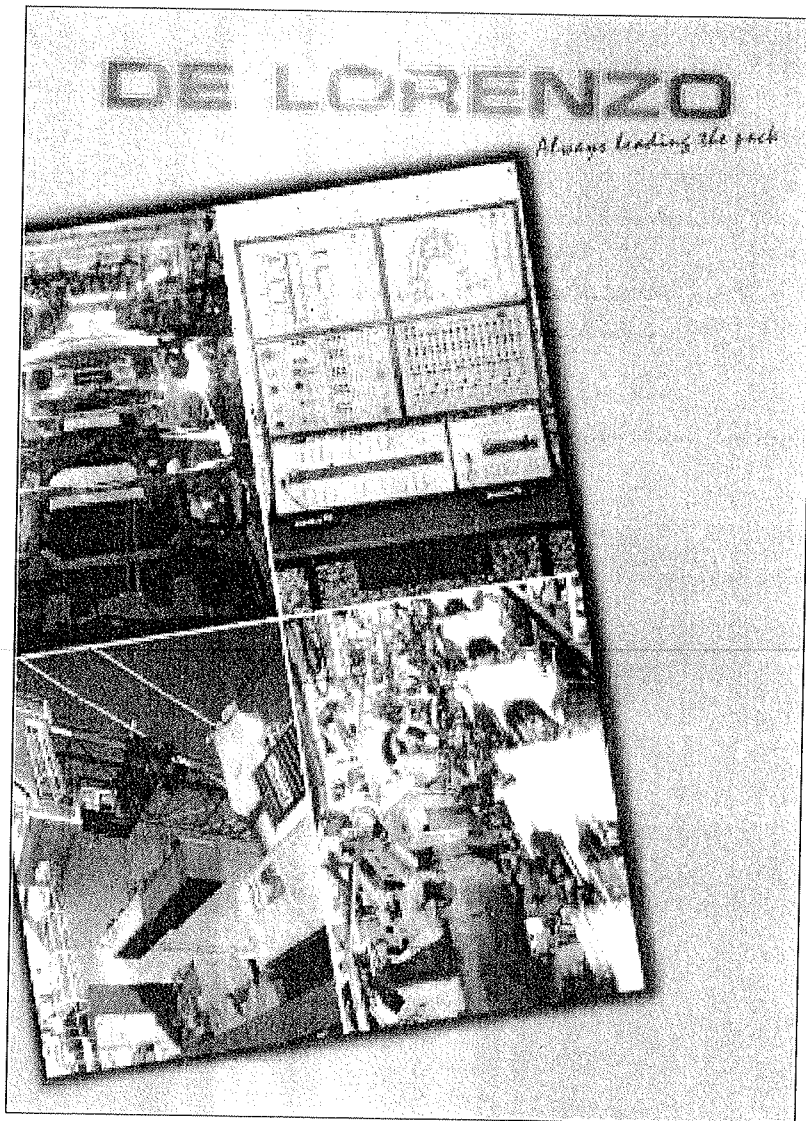
# DE LORENZO

*Always leading the pack*

## HIDRAULIKA

Teorija i vježbe

Laboratorij automatizacije



---

---

---

## Sustav za vježbe iz područja hidraulike

### Predgovor

Sustav DL9115SR omogućava proučavanje osnova hidrostatike i hidrodinamike, te osnovnih zakona fizike. Upoznaje učenika s potrebnim oznakama i dijelovima hidrauličkih krugova u svrhu samostalnog **očitanja hidrauličkih dijagrama.**

Sustav je lako prenosiv, a s obzirom da se sve vježbe izvode pri niskim tlakovima ne postoji opasnost od ozljeda pri pravilnom rukovanju.

Svi modeli koji se koriste u DL9115SR sustavu izrađeni su od pleksiglasa kako bi se učeniku pružio što bolji uvid u procese koji se odvijaju prilikom hidrauličkog upravljanja i prijenosa energije.

Iz svega gore navedenog jasno je da sustav DL9115SR predstavlja vrijedno školsko pomagalo za svakoga kome je potrebno osnovno razumjevanje hidrauličkih procesa.

---

1. DIO: Tehničke značajke:  
Tlačenje,  
pronalazak kvara, zaštita na radu,  
oznake i sheme hidrauličkih krugova,  
lista komponenata.
2. DIO: Vježba 1\* Zupčasta hidraulička crpka, zaporni ventil, manometar  
Vježba 2\* Sigurnosni tlačni ventil (izravno upravljani)  
Vježba 3\* Upravljački ventil  
Vježba 4\* Jednoradni cilindar  
Vježba 5\* Dvoradni cilindar  
Vježba 6\* Nepovratni ventil  
Vježba 7\* Ventil za kontrolu protoka (prigušnica)  
Vježba 8 Ventil za kontrolu protoka (dvosmjerni)  
Vježba 9\* Tekućinsko trenje  
Vježba 10\* Diferencijalni krug  
Vježba 11\* Prigušenje  
Vježba 12 Spoj za upravljanje brzinom  
Vježba 13\* Jednosmjerna prigušnica  
Vježba 14 Nepovratni ventil upravljani pilot signalom  
Vježba 15 Meter-in upravljanje  
Vježba 16 Meter-out upravljanje  
Vježba 17 Tlačno upravljanje slijedne funkcije  
Vježba 18 Tlačni regulacijski ventil

\* Može se provoditi s Minifluid osnovnim setom. Za sve ostale vježbe potreban je dodatni set.

\*\* Teorijske vježbe koje se izvode bez pribora.

Vježbe u kojima se ne provode mjerenja (listovi 3 i 4): 10, 11, 12, 19, 20, 21, 22.

Vježbe koje se izvode zajedno: 4 i 5, te 8 i 15.

2) Dodatna oprema: diferencijalni tlačni ventil 13.017840

## 1 Dodatni izvori napajanja

- MFL-A3E agregat, koji obuhvaća:  
električni motor IP 44, 0,12 kW/220 V/50 Hz/2700 okretaja u minuti, brzina hidrauličke crpke 0,5 l/min; kondenzator s integriranim sigurnosnim ventilom postavljen na fiksni tlak  $p = 6$  bar i spremnik zapremine 2,5 litre

ili

- ručno pokretani MFL-A3H agregat s:  
2 cm<sup>3</sup>/okret i spremnik tekućine zapremine 2,5 litre.

Pri korištenju ručno pokretane hidrauličke crpke dotok tekućine trebao bi biti zaštićen sigurnosnim ventilom postavljenim na maksimalno 6 bara.

U nekim vježbama potrebno je koristiti dodatni manometar i/ili crpku stalnog protoka. Stoga se preporuča nabavka MFL-A3E napajanja s električnim motorom.

- 2 Vodovi s brzo-sastavljivim spojevima: prolaz je omogućen tek nakon što se spoje oba kraja voda.
- 3 Pronalazak kvara: Svi priključci Minifluid sustava mogu se rastaviti ukoliko je sustav pod tlakom bez gubitka tekućine.
- 4 Sigurnost na radu

Osnovne mjere predostrožnosti prilikom popravka uređaja:

Prije pokušaja popravka, isključite opremu. Popravak možete započeti tek nakon što svi manometri pokažu smanjenje tlaka. Osigurajte uređaj kako ne bi došlo do slučajnog pokretanja bilo kojeg dijela. Na postrojenjima s akumulatorom rastlačite uljni krug akumulatora. Ne izljevajte ulje iz bilo kojeg dijela uređaja jer postoji opasnost od klizanja, a ukoliko dođe do izljevanja, proliveno ulje odmah uklonite. Budite oprezni prilikom rada s masnim rukama jer postoji opasnost od klizanja.

Držite sve dijelove tijela podalje od klipnjače, kontrolnih klipova i sl. Ne dodirujte rotirajuće dijelove uređaja.

Budite oprezni pri korištenju teško zapaljivih tekućina, pridržavajte se uputa proizvođača.

## 5 Hidrauličke oznake

**Općenito**

Grafičke oznake koriste se prilikom dizajniranja, upravljanja i održavanja hidrauličkih sustava. Svaka oznaka predstavlja pojedini uređaja i njegove funkcionalnosti. Grafički simboli u skladu su s

DIN-ISO 1219 Fluid power systems and components

U svakoj vježbi promatrani sustav opisan je grafičkim oznakama, koje su, ukoliko je potrebno, i dodatno pojašnjene.

**Oznake vodova**

Hidraulički uređaji povezani su vodovima:

Grafički simbol prema  
DIN-ISO 1219:

Radni vodovi: protok energije ili povratni protok



Upravljački vodovi: aktiviranje hidrauličnih uređaja

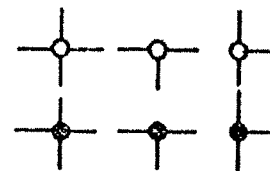


Drenažni vodovi: odvođe ulje iz sustava prilikom curenja (bez tlaka)

**Spojevi**

vijčani spojevi (nisu prema DIN-ISO standardima)

fiksni priključci, npr. lemljeni, zavareni

**Ukršteni vodiči**

Prijelaz dva vodiča



## 6 Sheme hidrauličkih krugova

Crtanje dijagrama spoja koristeći grafičke simbole DIN-ISO 1219 preporuča

VDI 3225 Ulje za hidrauličke krugove.

Između ostalog preporučuje se priprema hidrauličkog kruga u smjeru prema gore u skladu s tokom energije.

Međutim, tehnika uzdužnih i okomitih povezivanja zahtijeva različite načine označavanja prema VDI 3225, list 1, stranica 3, tako da se danas dijagram kruga crta okomito i horizontalno. Potonji je pogodan za duge formate poput DIN A4 × 3 ili DIN A4 × 4.

Uređaj		Vježba																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Zupčasta hidr. crpka, zaporni ventil, manometar		✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓							
Sigurnosni tlačni ventil (izravno upravljivan)		✓	✓	✓															
Upravljački ventili																			
Jednoradni cilindar																			
Dvoradni cilindar																			
Nepovratni ventil																			
Ventil za regulaciju protoka																			
Ventil za regulaciju protoka (dvosmjerni)																			
Tekućinsko trenje																			
Diferencijalni krug																			
Prigušenje																			
Spoj za upravljanje brzinom																			
Jednosmjerna prigušnica																			
Nepovratni ventil upravljivan pilot signalom																			
Meter-in upravljanje																			
Meter-out upravljanje																			
Tlačno upravljanje slijedne funkcije																			
Tlačni regulacijski ventil																			
Izvediv s osnovnom opremom		✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓					
Električno napajanje ili Ručno pokretano		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tlačni ventil (tanjurasti)		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tlačni ventil (cijevasti)																			
4/2 upravljački ventil				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2/2 upravljački ventil																			
Zaporni ventil																			
Jednoradni cilindar					1														
Dvoradni cilindar						1	1	1		1	1	1	1		1	1	1	1	1
Ventil za regulaciju protoka		1	1	1				1	1	1				(1)	1	1	1		
Nepovratni ventil							1						1	(1)		1	1	1	1
Nepovratni ventil, pilotom upravljani															1				
Nepovratni ventil													1	1					1
Diferencijalni tlačni ventil									1						1	1			
Tlačni regulacijski ventil																			1
Razvodnik protoka 6			1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Razvodnik protoka 4															1	1	1	1	
Manometar		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Prozirne cijevi		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Dodatni cijevi								1							1	1	1	1	1
Šablona													1						
Standardna oprema		- Vježba se može provesti samo s el. napajanjem																	
1) Može se koristiti																			

Vježbe 1 - 11 Osnovne vježbe\*

Vježbe 12 - 18 Napredne vježbe

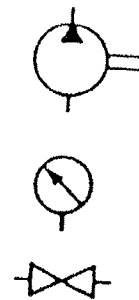
Struktura	List 1	Postavljanje problema i spojne sheme
	List 2	Obrada teme
	List 3	Praktični rad (ne u svakoj vježbi), spoznaje (ponekad na listu 2, ako nema lista 3)
	List 4	Ispunjeni obrazac sa zaključcima

\*) Zaporni ventil koji nije isporučen s osnovnom opremom u prvoj je vježbi zamijenjen ventilom za regulaciju protoka (vježba 7), koja obavlja istu funkciju.

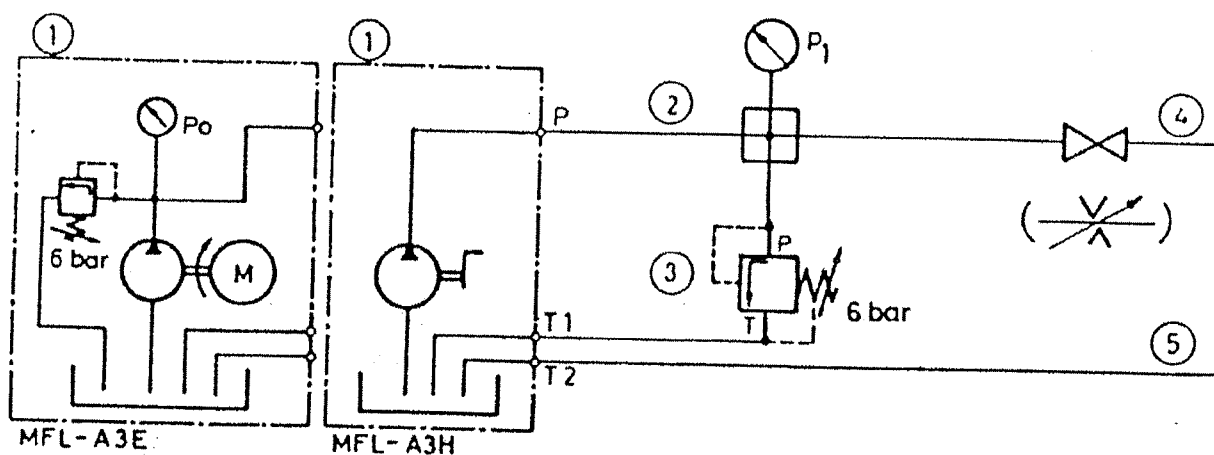


## OPIS VJEŽBE

- Složite hidraulički sustav u skladu sa shemom
- Promatrajte promjenu protoka podešavanjem zapornog ventila (ili protočnog upravljačkog ventila), uređaj 4
- Izračunajte koliko je konjskih snaga potrebno za pogon crpke



## SHEMA

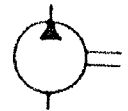


## POTREBNA OPREMA

1. napajanje
2. manometar
3. sigurnosni tlačni ventil
4. zaporni ventil (ili protočni upravljački ventil)
5. prozirne cijevi

## NAPOMENE

- Opis sigurnosnog tlačnog ventila dan je u Vježbi 2
- Ukoliko se koristi MFL-A3E napajanje s električnim pogonom, može se izostaviti sigurnosni ventil 3
- U ovoj i svim sljedećim vježbama tlak ne smije prelaziti 6 bara
- Odvod sigurnosnog tlačnog ventila uvijek mora imati zasebne vodove koji ne tlače na spremnik



## OPĆENITO

Zupčasta crpka pretvara mehaničku energiju u hidrauličku. Radi na principu potiska. Zupčanci A i B pokreću se u smjeru strelica. Tekućina u sustav pristiže iz spremnika spojenog s usisnim prostorom S. Zupčanci tekućinu odnose u tlačni prostor P. Većina tekućine potiskuje se na izlaz koji je povezan s trošilom, a dio koji ostaje vraća se u usisni prostor.

## DIJELOVI CRPKE

Zupčasta crpka sastavljena je od sljedećih dijelova, sl. 1:

- |     |                          |
|-----|--------------------------|
| 1   | Kućište                  |
| 2/3 | Prednje / stražnje ploče |
| 4   | Zupčanci                 |
| 5/6 | Vratilo / osovina        |

Zupčanci su pričvršćeni na kućište i ploče kako bi se smanjila mogućnost curenja.

## PRINCIP RADA

Zupčanik A pokreće se u smjeru strelice, te svojim gibanjem uzrokuje gibanje zupčanika B.

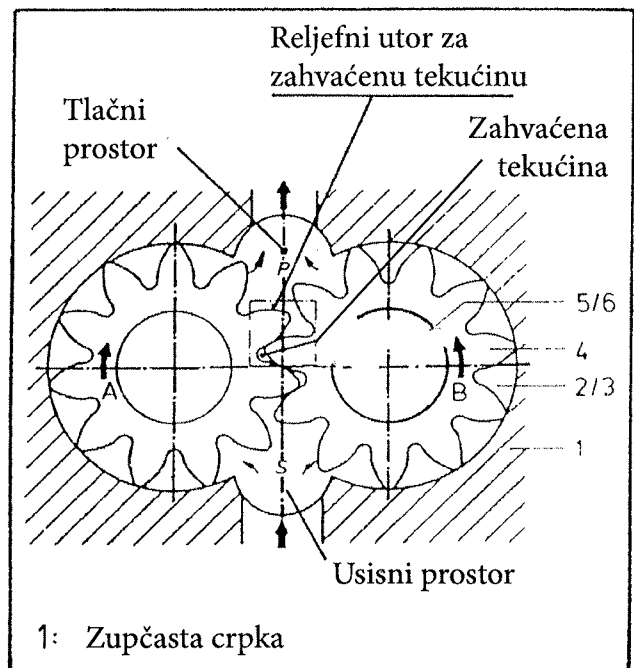
Usisni prostor S spojen je na spremnik. Njegov usisni priključak prilagođen je usisnoj brzini. Umanjeni usisni presjek daje veću brzinu strujanja. Prema jednadžbi strujanja smanjio bi se tlak, a kavitacija bi uništila crpku, o čemu se mora voditi računa pri projektiranju crpke.

Pokretanjem zupčanika stvara se unutarnji podtlak koji usisava tekućinu iz spremnika. Tekućina dolazi na zupce zupčanika. Zupci prenose tekućinu iz područja nižeg u područje višeg tlaka. Tekućina dolazi u tlačni prostor P i isporučuje se trošilu.

Količina prenesene tekućine po jednom okretaju uvijek je konstantna. Mjera količine prenesene tekućine naziva se volumen dobave V. Izražava se u kubnim centimetrima po okretu (odnosno taktu) [cm<sup>3</sup>/okret]. Volumen dobave tekućine u minuti označava se s Q i jednak je umnošku

## GRAFIČKA OZNAKA

Jednosmjerna hidraulična crpka s konstantnim volumenom.



volumena dobave V i brzine vrtnje n. Izražava se u litrama po minuti [l/min].

Zupčanci okretanjem smanjuju radni volumen i potiskuju tekućinu. Dio tekućine ostaje na zupcima i vraća se u usisni prostor. U prostoru između zupčanika zahvaćena tekućina izlazi kroz kanal u tlačni prostor koji je povezana sa potrošačem.

## TLAČENJE

Tekućina koju je istisnula zupčasta crpka transportira se do zapornog ventila. Ako ne postoji otpor zaporni ventil je otvoren i tekućina se ne tlači. Tekućina se tlači jedino u slučaju suženja vodova ili postojanja otpora pojedinih dijelova kruga protoku tekućine.

U ovoj vježbi se može promatrati promjena otpora pomoću zapornog ventila. Otvaranjem ili zatvaranjem ventila mijenja se tlak  $P$  u sustavu. Grafička oznaka: vidi list 1.

Kako bi se spriječila pojava visokog tlaka u sustavu, zaporni ventil treba postaviti tako da obavlja funkciju sigurnosnog ventila (vidi vježbu 2). Tlak  $P$  može se mjeriti manometrom.

Što je viši tlak  $P$ , veće je i trenje i gubitak tekućine u crpki. Iz tog razloga na višim tlakovima manja je dobava tekućine potrošaču.

## Spoznaje

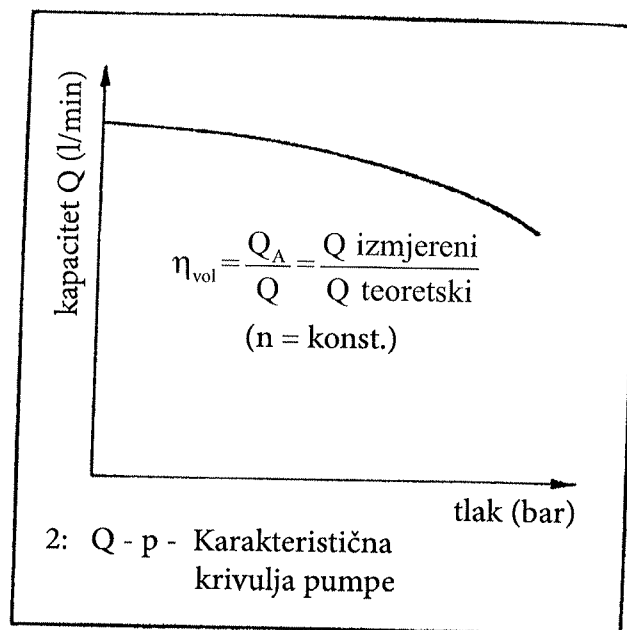
Zaporni ventil utječe na tlak tekućine koja prolazi kroz ventil, ali ne i na dobavu tekućine potrošaču.

Iznimka: zaporni ventil (prilikom kontrole protoka tekućine) je u potpunosti zatvoren.

## KARAKTERISTIČNE KRIVULJE

Kada se izvrše mjerenja, a izmjerene vrijednosti nanesu na dijagram dobije se tzv. karakteristična krivulja crpke (slika 2). Iz krivulje se može iščitati volumetrijska učinkovitost crpke.

Što je viši tlak crpke, veći je gubitak tekućine u crpki.



Što je crpka starija, veći je gubitak tekućine u crpki.

Mjerenja čiji rezultati daju karakteristične krivulje moraju se obavljati pri jačem protoku tekućine i višim tlakovima od onih koji se mogu postići Minifluid opremom.

## PRIMJENA

Protok u hidrauličkim sustavima

Protok maziva

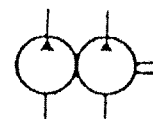
Crpka s dva stupnja

Određeni hidraulički krugovi zahtijevaju dvije neovisne isporuke trošilu. Navedeno se može ostvariti pomoću trobrzinske zupčane crpke (3 zupčanika u kućištu i jedna pogonska osovina).

U PRAKSI

Ventil za ograničenje tlaka često se koristi pri podešavanju otpora kruga (vježba 2). Prednost takvog korištenja je u neovisnosti kontrole protoka i djelovanja zapornog ventila.

GRAFIČKA OZNAKA



Pri korištenju tlačnog ventila ne postoji opasnost slučajne blokade kao u slučaju zapornog ventila. Stoga se zaporni ventil ne koristi za tlačenje.

### CRPKE - općenito

#### ZNAČAJKE

- Volumen dobave  $V$  [cm<sup>3</sup>/okret]

- Volumen dobave  $Q$  [l/min]

tekućine u minuti

Obje navedene veličine su dobivene teorijski.

$$Q = \frac{V \cdot n}{1000} \quad (\text{teorijski})$$

Stvarni volumen dobave  $Q_D$  crpke pod tlakom je

$$Q_D = Q \cdot \eta_v \quad (\text{l/min})$$

gdje je:

$V$  [cm<sup>3</sup>/okret] volumen dobave

$Q$  [l/min] volumen dobave u minuti

$n$  [okret/min] brzina crpke

$\eta_v$  [-] volumetrijska učinkovitost (<1)

#### NAPAJANJE

Konjska snaga  $P_s$  ( $S$  = usisavanje) potrebna za pogon crpke izračunava se na sljedeći način:

$$P_s = \frac{Q \cdot p}{600 \cdot \eta_{mh}} \quad (\text{kW})$$

$Q$  [l/min] = volumen dobave tekućine u minuti (teorijski)

$p$  (bar)\* = tlak

$\eta_{mh}$  (-) = mehaničko-hidraulička učinkovitost, uvijek manja od 1. Ako je nepoznata, izračunava se pomoću ukupne učinkovitosti  $\eta_t$  prema izrazu:

$$\eta_t = \eta_v \cdot \eta_{mh}$$

Napomena

Ako je  $Q_D$  poznato, primjenjuje se sljedeći izraz:

$$P_E = \frac{Q_D \cdot p}{600 \cdot \eta_t} \quad (\text{kW})$$

\* 1 bar =  $1 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} = 10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \cong 1 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2}$   
 $= 10^5 \text{ Pa} = 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$

## PRIMJER

Nazivne vrijednosti zupčaste crpke:

$$V = 25 \text{ cm}^3/\text{okret}$$

$$p = 160 \text{ bar}$$

potrebno je izračunati:

volumen dobave u minuti  $Q$   
snagu potrebnu za pogon crpke  $P_s$

poznate vrijednosti:

$$n = 1500 \text{ okreta/min}$$

$$\eta_t = 0.85$$

$$Q = \frac{V \cdot n}{1000} = \frac{25 \cdot 1500}{1000} = 37.5 \text{ l/min}$$

(teorijske isporuke)

$$P_s = \frac{Q \cdot p}{600 \cdot \eta_{mh}} \cong \frac{Q \cdot p}{600 \cdot \eta_t} \\ = \frac{37.5 \cdot 160}{600 \cdot 0.85} = 11.7 \text{ kW}$$

Za pogon crpke treba se koristiti električni motor veće snage od izračunate.

## CRPKE - općenito

## PRINCIP RADA

Hidrauličke crpke rade na principu potiska. To znači da potiskuju tekućinu pod tlakom u vodove prema potrošačima (cilindri ili hidraulički motori).

Pozitivni potisak fluida uzrokuje klip, lopatica, vijak ili zubi zupčanika, kao u slučaju zupčaste crpke.

Navedeno omogućuje različite konstrukcije sa zajedničkim svojstvom pozitivnog potiska fluida u smjeru radnog elementa. Promjena broja klipova/zubi zupčanika/lopatice uzrokuje malu do srednju pulsaciju isporuke: neparni brojevi klipova rezultiraju značajno manjim pulsiranjem u odnosu na paran broj klipova.

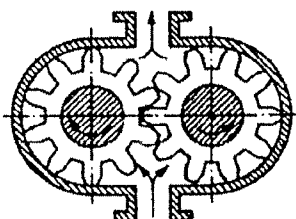
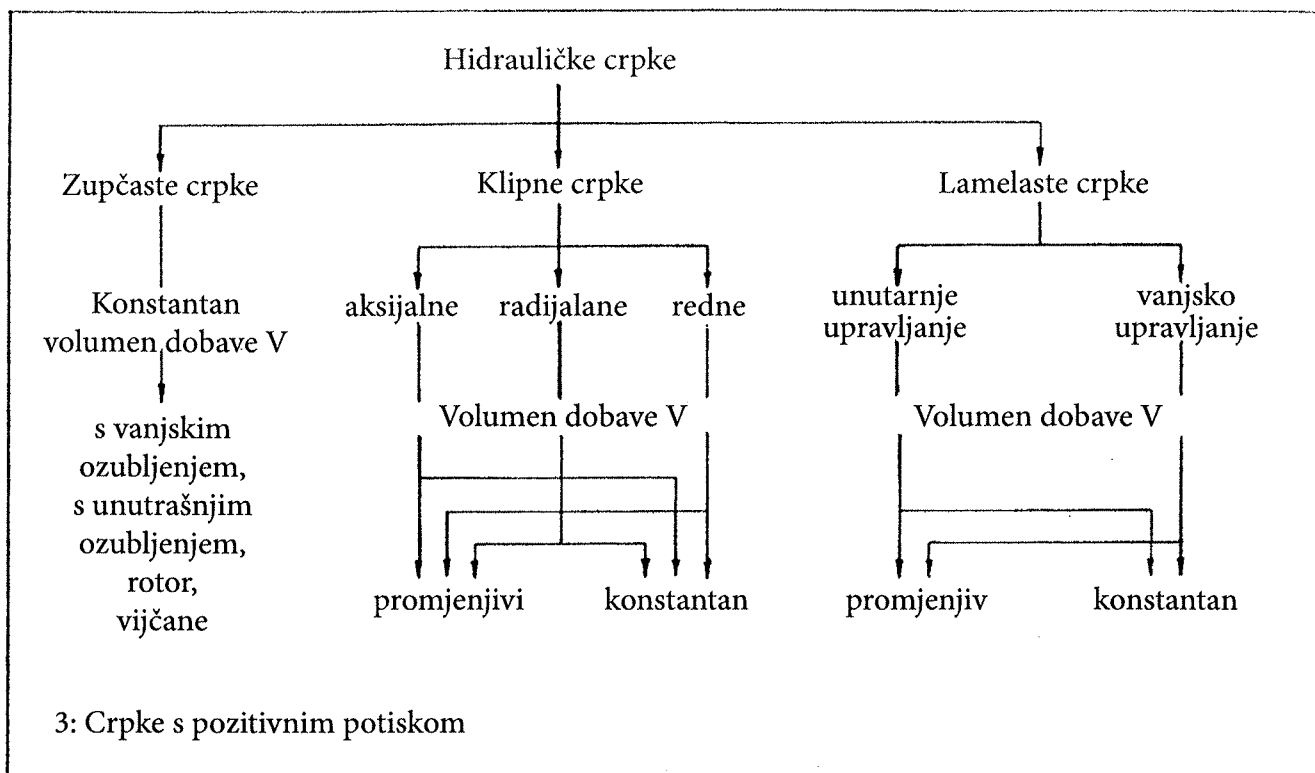
Samo vijčane crpke ne uzrokuju pulsiranje.

Centrifugalne crpke nisu crpke s pozitivnim potiskom, već pripadaju turbinama.

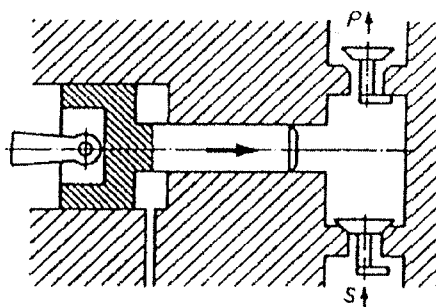
Isporuka većine crpki može se mijenjati. U tu se svrhu mijenja volumen komore crpke.

## GRAFIČKA OZNAKA

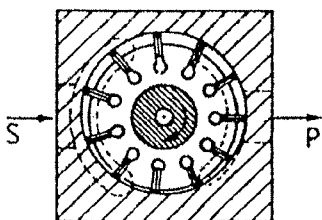




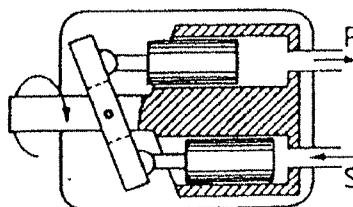
Vanjska zupčasta crpka



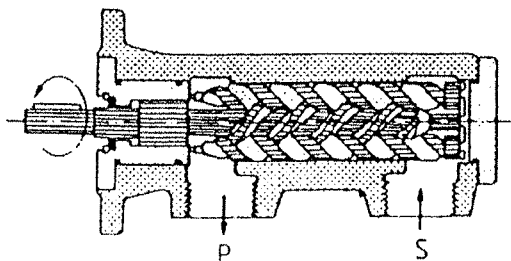
Klipno-redna crpka (samo 1 klip prikazan)



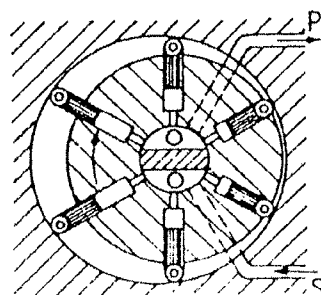
Lamelasta (krilna) crpka



Klipno-aksijalna crpka s nagibnom pločom



Vijčana crpka



Klipno-radijalna crpka

## MANOMETAR

(Bourdonova cijev)

## DIJELOVI MANOMETRA

Manometar je izrađen od sljedećih dijelova, sl. 4:

1. Kućište
2. Bourdonova cijev
3. Poveznica
4. Segmentni zupčanik
5. Rotirajući zupčanik
6. Pokazivač
7. Mjerna skala
8. Priključak s regulatorom

## PRINCIP RADA

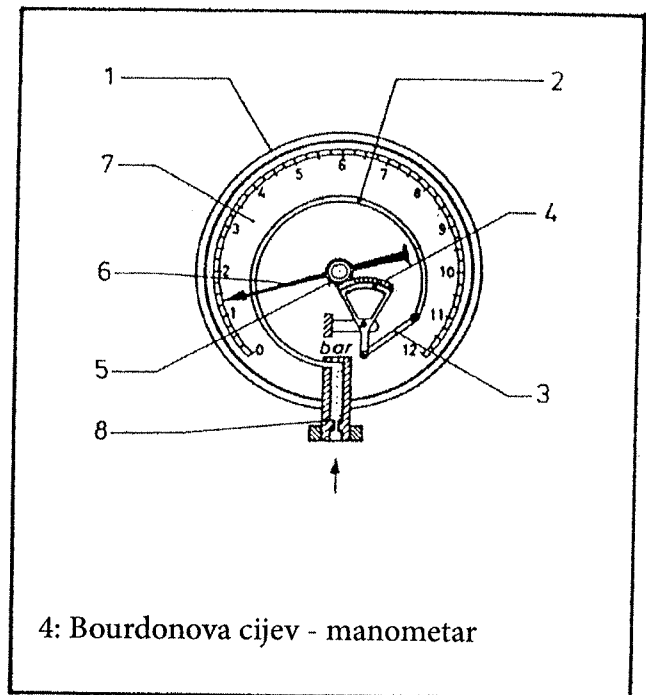
Manometar radi na principu deformacije Bourdonove cijevi zbog razlike vanjskog i mjenog tlaka.

Što je veći tlak, to veća sila djeluje na cijev. Pomak cijevi usred savijanja pretvara se preko poveznice, segmentnog i rotirajućeg zupčanika u zakret kazaljke instrumenta. Mjereni pritisak očitava se na mjernoj skali.

Manometar se priključuje posredstvom regulatora 8 radi regulacije nagle promjene tlaka kako ne bi došlo do oštećenja uređaja.

## GRAFIČKA OZNAKA

Manometar



4: Bourdonova cijev - manometar

## ZAPORNI VENTIL

(isključni ili cijevni)

Zaporni ventil koristi se za kontrolu protoka tekućine.

## DIJELOVI ZAPORNOG VENTILA

Zaporni ventil sastavljen je od sljedećih dijelova, sl. 5:

1. Kućište
2. Rotacijska cijev
3. Brtve
4. Ručka

## PRINCIP RADA

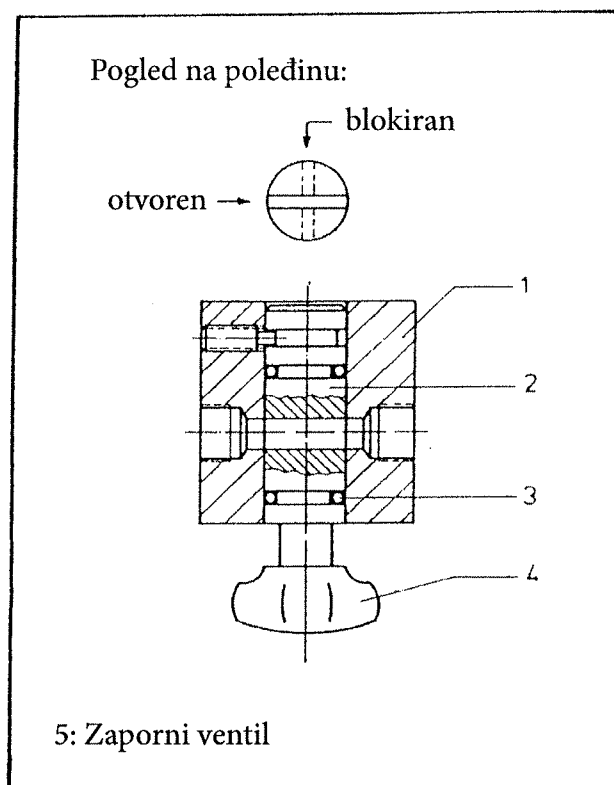
Ventil se može otvoriti ili zatvoriti okretanjem ručke za 90°. Položaj je prikazan na pozadini rotacijske cijevi. Ova vrsta ventila primjenjuje se ukoliko je potrebno ručno otvarati ili zatvarati vodove. Na taj način kontrolira se protok, a samim tim i pritisak unutar sustava.

Protočni upravljački ventil koji se nalazi u osnovnoj opremi može poslužiti istoj svrsi, jer oba rade na istom fizikalnom principu. Vidi vježbu 7.

## GRAFIČKA OZNAKA



Zaporni ventil, isključni ili cijevni



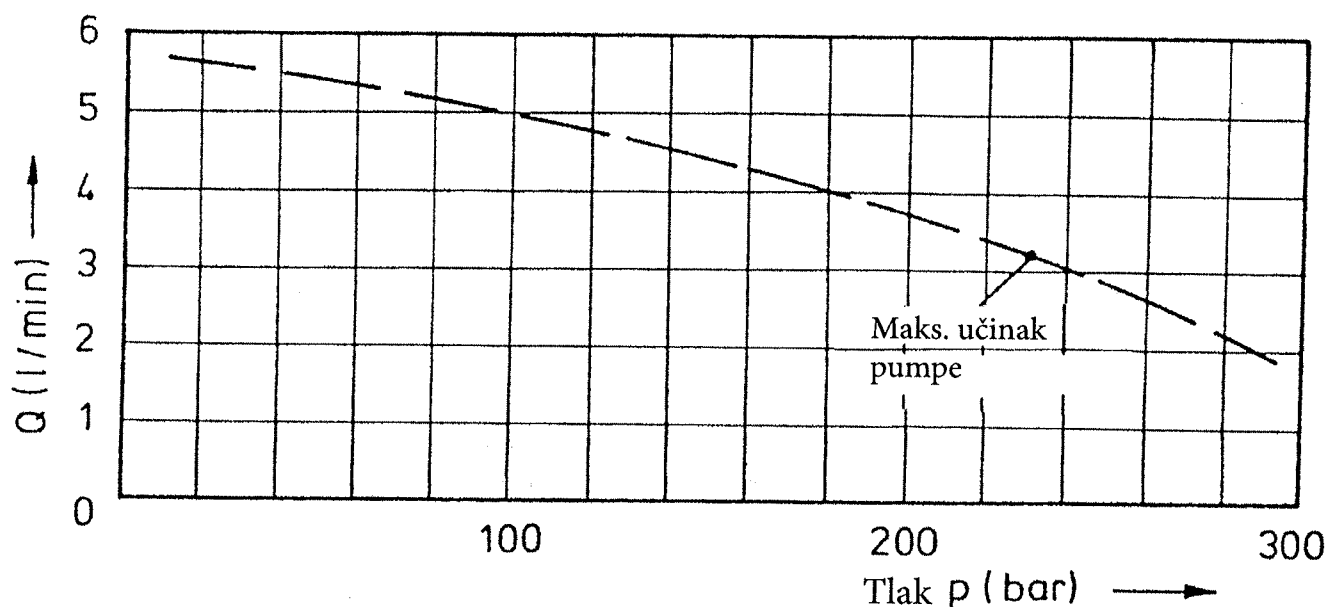


### ZADATAK

Izmjerite tlak  $p$  i volumen dobave tekućine u minuti  $Q$  zupčaste crpke u ovisnosti o otporu.

Nacrtajte karakterističnu krivulju zupčaste crpke koristeći sljedeće rezultate mjerenja:

Pritisak $P$ (bar)	10	50	100	150	200	250
Volumen dobave tekućine u minuti $Q$ (l/min)	6	5.9	5.8	5.7	5.5	5.3



### SPOZNAJE

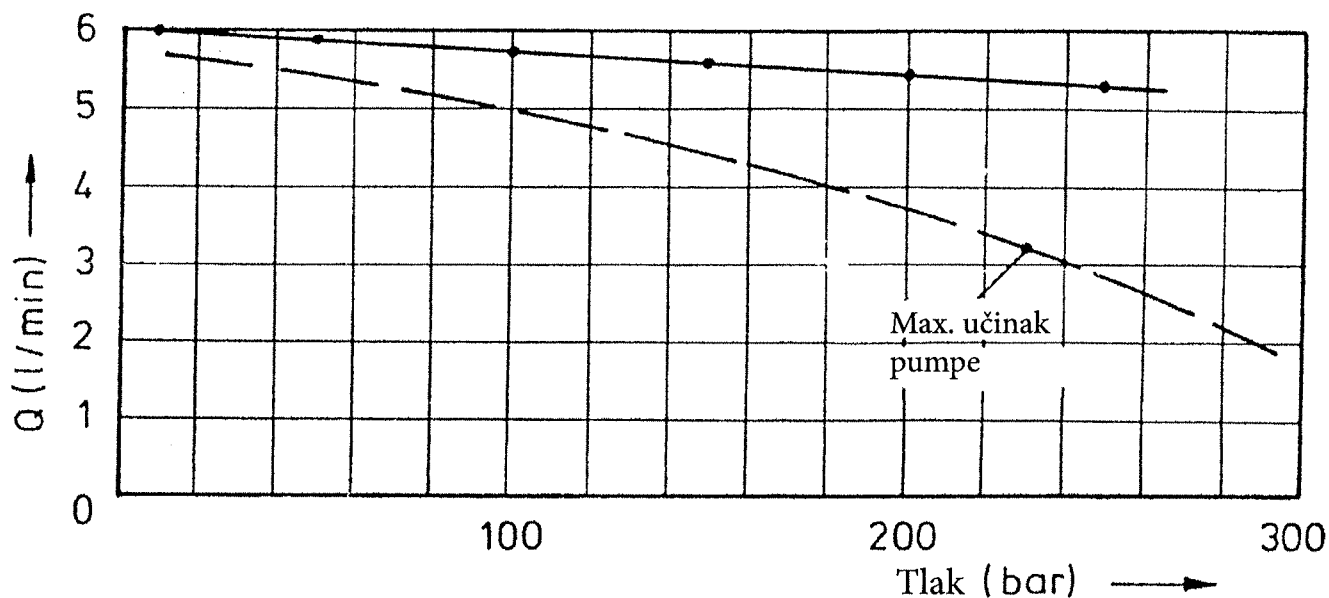
- Volumen dobave tekućine u minuti  $Q$  ovisi o specifičnom volumenu dobave  $V$  i brzini vrtnje  $n$
- Zahvaljujući deformaciji sustava volumen dobave se smanjuje povećanjem tlaka (povećavaju se gubici zbog unutarnjeg curenja). Volumni koeficijent korisnog djelovanja  $\eta_v$  smanjuje se proporcionalno s  $Q$ .
- Slične pojave događaju se prilikom porasta temperature u sustavu:
  - visoka temperatura - veliki gubici zbog unutarnjeg curenja
  - niske temperature - mali gubici zbog unutarnjeg curenja
- Gubici zbog trenja u sustavu izražavaju se pomoću mehaničko-hidrauličkog koeficijenta korisnog djelovanja  $\eta_{mh}$
- Zajednički koeficijent korisnog djelovanja  $\eta_t = \eta_v \cdot \eta_{mh} < 1$

### ZADATAK

Izmjerite tlak  $p$  i volumen dobave tekućine u minuti  $Q$  zupčaste crpke u ovisnosti o otporu.

Nacrtajte karakterističnu krivulju zupčaste crpke koristeći sljedeće rezultate mjerenja:

Pritisak $P$ (bar)	10	50	100	150	200	250
Volumen dobave tekućine u minuti $Q$ (l/min)	6	5.9	5.8	5.7	5.5	5.3

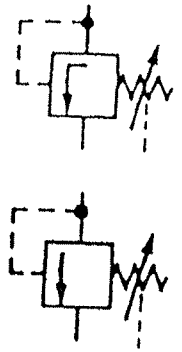


### SPOZNAJE

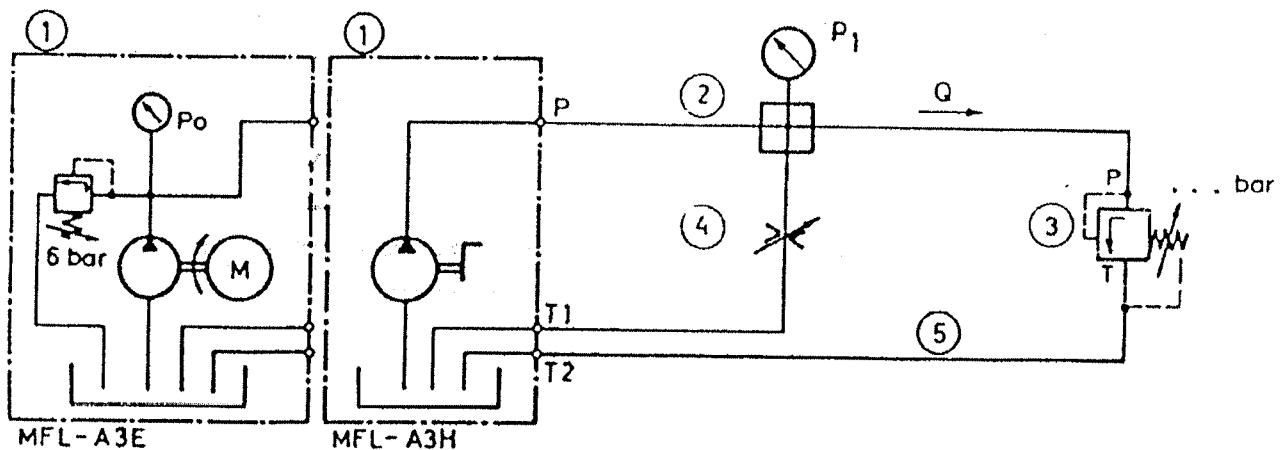
- Volumen dobave tekućine u minuti  $Q$  ovisi o specifičnom volumenu dobave  $V$  i brzini vrtnje  $n$
- Zahvaljujući deformaciji sustava volumen dobave se smanjuje povećanjem tlaka (povećavaju se gubici zbog unutarnjeg curenja). Volumni koeficijent korisnog djelovanja  $\eta_v$  smanjuje se proporcionalno s  $Q$ .
- Slične pojave događaju se prilikom porasta temperature u sustavu:
  - visoka temperatura - veliki gubici zbog unutarnjeg curenja
  - niske temperature - mali gubici zbog unutarnjeg curenja
- Gubici zbog trenja u sustavu izražavaju se pomoću mehaničko-hidrauličkog koeficijenta korisnog djelovanja  $\eta_{mh}$
- Zajednički koeficijent korisnog djelovanja  $\eta_t = \eta_v \cdot \eta_{mh} < 1$

## OPIS VJEŽBE

- Složite hidraulički sustav u skladu sa shemom
- Proučite izravno upravljani sigurnosni tlačni ventil za ograničenje tlaka i nabrojite svojstva spoja
- Izračunajte silu opruge pri zadanom tlaku  $p$



## HEMA



## POTREBNA OPREMA

1. Dodatno napajanje
2. Manometar
3. Sigurnosni tlačni ventil za ograničenje tlaka (kuglasti)
4. Protočni upravljački ventil
5. Prozirne cijevi

## NAPOMENE

- Vrijedi za cijevne ventile:

Tekućina koja iscuri iz sigurnosnog ventila za ograničenje tlaka uvijek se mora vratiti odvojeno i bez tlaka u spremnik, otvor mora biti iznad razine tekućine.

## OPĆENITO

Izravno pod kontrolom sigurnosni ventil koji se otvara na povišeni pritisak koristi se za ograničavanje maksimalnog tlaka protoka na hidraulički sustav i na taj način štiti hidraulički sustav od preopterećenja. Prag prorade sigurnosnog ventila postavlja se iznad vrijednosti maksimalnog radnog tlaka trošila u pokretu.

## DIJELOVI TANJURASTOG VENTILA

Tlačni ventil za ograničenje tlaka sastavljen je od sljedećih dijelova, sl. 1:

1. Kućište
2. Tanjur
3. Opruga
4. Vijak za podešavanje
5. Matica/poklopac

## PRINCIP RADA

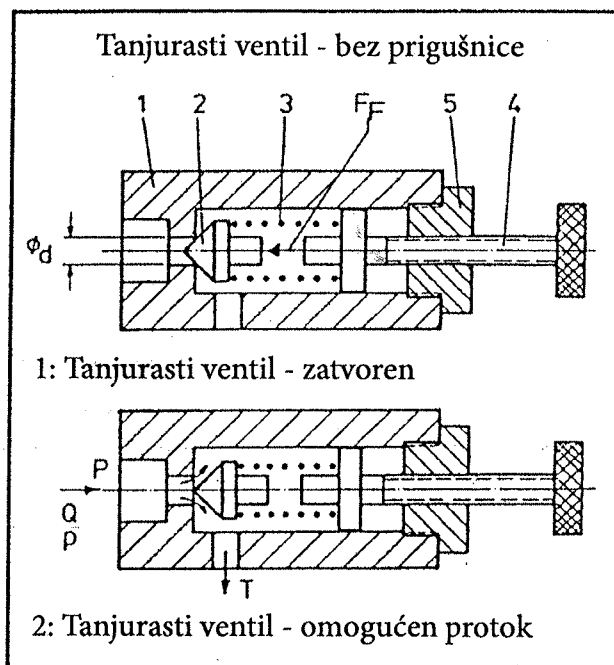
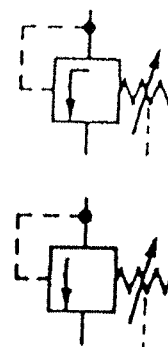
U mirovanju tanjur (ili kuglica) je zatvoren pod djelovanjem opruge. Tlak  $p$  tekućine djeluje na plohu elementa ventila ( $A = d^2 \cdot \pi/4$ ) i uzrokuje silu  $F$ , vidi sliku. 1.

$$F = p \cdot A \quad \left( \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} \cdot \text{cm}^2 = \text{daN} \right)$$

Sila opruge  $F_F$  kojom se tlači element ventila može se podesiti vijkom za podešavanje. Ukoliko ulazna sila svlada silu opruge, ventil se počne otvarati. Tada dio protoka poteče prema spremniku. Ukoliko ulazna sila i dalje raste, ventil ostaje otvoren, sl. 2 sve dok sva stlačena tekućina ne prođe kroz otvor natrag u spremnik i to bez pritiska na spremnik. U ventilima za ograničavanje tlaka, kako bi se izbjegle varijacije tlaka a samim tim i oštećenja često se ugrađuju prigušnice. Prigušnice utječu na brzo otvaranje i sporo zatvaranje ventila pa time onemogućavaju oštećenja.

## GRAFIČKE OZNAKE

Sigurnosni tlačni ventil za ograničenje tlaka - direktno upravljani



Tijekom naglih povećanja tlaka dolazi do kratkotrajnih velikih tlakova većih od namještenog sigurnosnog tlaka, što može oštetiti cjelokupnu instalaciju. Navedena opasnost ne postoji u slučaju teških tanjurastih ventila prikazanih na sl. 4.

## NAPOMENA

Na namješteni tlak može utjecati tlak iz komore opruge.

## TIP: CIJEVNI VENTIL

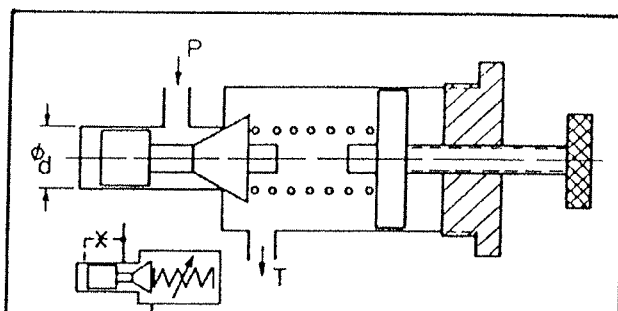
Rade na istom principu kao i poppet tanjurasti ventili. Shema je prikazana na slici 4. Ovaj tip ventila često sadrži jednosmjernu prigušnicu, sl. 4b. Zbog veće mase cijevni ventili imaju manju osjetljivost. Budući da komora opruge nije pod tlakom, imaju veliki broj primjena.

## PRIGUŠNICE

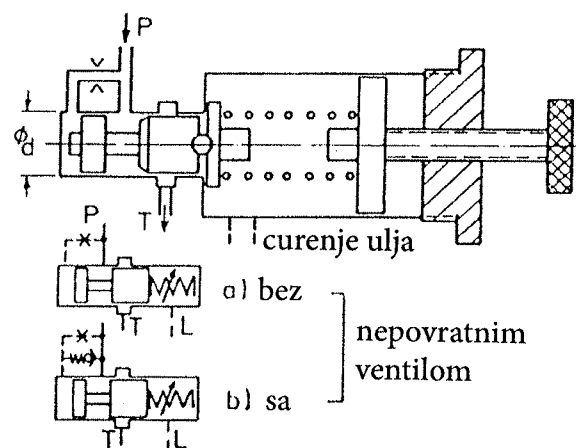
Svi su ventili sklони sporom otvaranju i sporom zatvaranju uzrokuju tlačne šiljke (vrhovi) koji uzrokuju nekontrolirane oscilacije i oštećenja ventila. Ova se pojava može kontrolirati, te današnji ventili za ograničenje tlaka uglavnom koriste volumetrijsko prigušenje, vidi sliku. 3 i 4.

Tlačni šiljci mogu se suzbiti postavljanjem jednosmjerne prigušnice, vidi sl. 4b:

- malo prigušeno brzo otvaranje malim nepovratnim ventilom (dok se tok tekućine povećava)
- prigušeno zatvaranje pomoću graničnika (tijekom smanjenja toka fluida)



3: Shema prigušenog tanjurastog ventila



4: Shema prigušenog cijevnog ventila

## KARAKTERISTIKA VENTILA

Ako je tok fluida stalan, formira se konstantan kružni otvor na sigurnosnom tlačnom ventilu (tanjurasti i cijevni ventil).

Ako protok se povećava, postojeći kružni otvor je premalen te tlak raste, što uzrokuje daljnje podizanje tanjura (cijevi) iz ležišta, čime se dalje tlači opruga.

Ovaj proces se nastavlja do postizanja ravnoteže sila (veća sila opruge kompenzirana je većim tlakom).

Međutim, u obrnutom slučaju, ukoliko se smanji tok, postojeći otvor je prvotno prevelik, što uzrokuje pad tlaka i veću silu opruge tanjura (cijevi) prema lijevo, istovremeno otpuštajući oprugu. Ovo obrnuto djelovanje također se nastavlja sve do postizanja ravnoteže sila opruge i tlaka  $p$ .

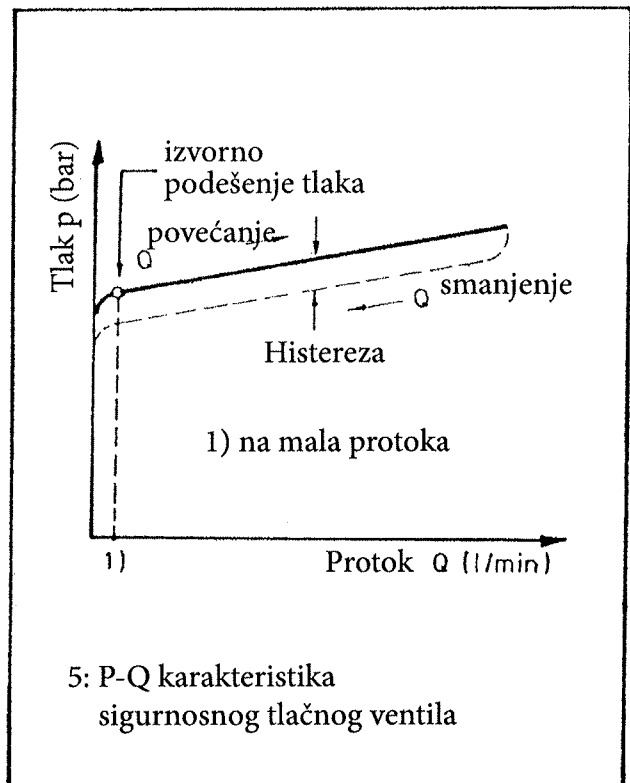
U dijagramu ti odnosi daju karakteristiku ventila, koja se zove  $p$ - $Q$  krivulja, a trenje cijevnog ventila uzrokuje histerezu, sl. 5.

Napomena

Za razliku od sl. 5 karakteristike dane u katalogu proizvođača uglavnom daju samo jednu krivulju za svaku postavku tlaka (tj. nema podataka histereze).

#### PRIMJENA

- Sigurnosni tlačni ventil u bilo kojem hidrauličkom sustavu postavlja se u blizini crpke.
- Tlačno upravljani krug obrađen je u vježbi 17.



#### RAZVODNI VENTILI (neizravno upravljani ventili)

Tlačni ventili za velike protoke i tlakove zahtjevaju goleme opruge. Predmetni se problem rješava zamjenom mehaničkih opruga hidrauličkim što znači da su tlačni ventili upravljani razvodnikom. Ova je tema obrađena u vježbi 19.

## GRAFIČKI SIMBOLI

Na shemama kruga hidraulički su ventili prikazani grafičkim simbolima. Predmetni simboli označavaju funkciju ventila, ali ne i tip ventila.

Grafički simboli standardizirani su prema DIN-ISO 1219 standardu. Ventili koji se tijekom rada nalaze u položaju između krajnjih položaja zovu se ventili bez fiksnih pozicija. Primjer takvog ventila je sigurnosni tlačni ventil.

Osnovni simbol za ventile bez fiksnog položaja je četverokut.

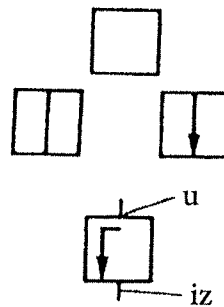
Priključci su označeni linijama, a smjerovi strelicama. Ukoliko želimo označiti da je priključak uvijek spojen, strelica je slomljena pod pravim kutem.

Uvijek se označava ventil u normalnom položaju. Za ventile s reset funkcijom (primjerice pomoću opruge), normalnim položajem se smatra položaj koji zauzimaju pomični elementi ventila kada ventil nije pod tlakom.

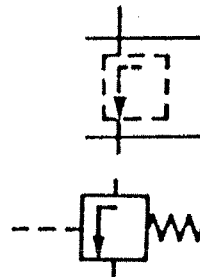
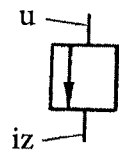
Promjena položaja uzrokovana povećanjem tlaka treba se označiti pomakom pod pravim kutem izlomljene strelice. Na slici je prikazan pobuđeni ventil kao primjer.

Pobuđenje uzrokuje hidraulički tlak protiv reset opruge, a podesivost se označava nagnutom strelicom.

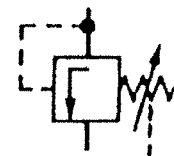
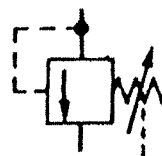
S desne strane je prikazan grafički simbol sigurnosnog tlačnog ventila s odvodom u komori s oprugom.



ili



--- Razvodna linija (hidr. tlak)  
 ~~~~ Reset opruge



## PROBLEM

Sigurnosni ventil namješta se za različite tokove i tlakove na jednaki način za skup vježbi. Najviši tlak treba biti znatno niži od maksimalnog tlaka napajanja A3E.

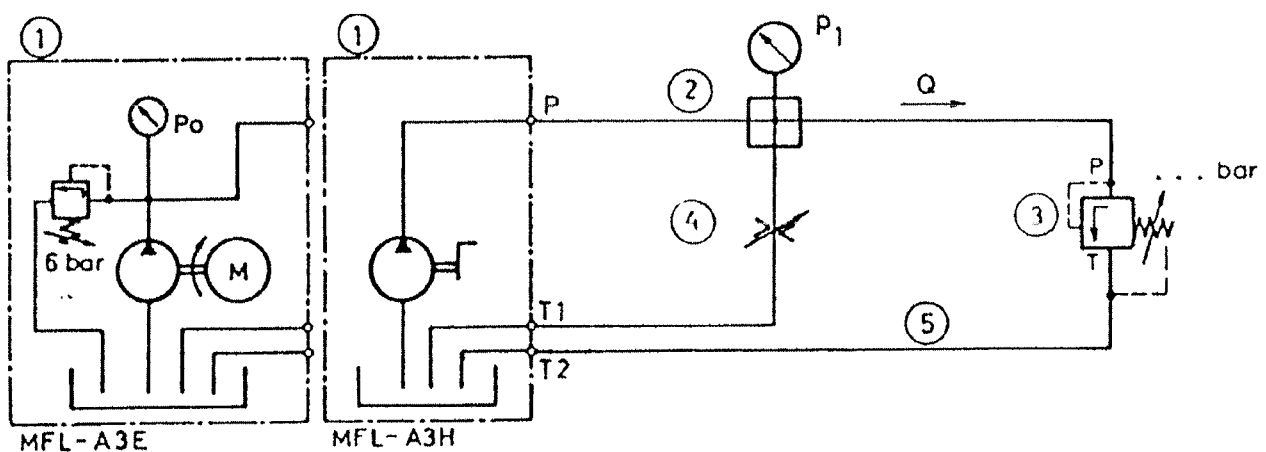
Napomena 1: Pustite napajanje A3E da radi nekoliko minuta pri punom tlaku za postizanje radne temperature.

Napomena 2: Različiti protoci napajanja A3H postižu se otvaranjem/zatvaranjem kontrolnog ventila 4 (razvodnik u uređaju 2).

Djelovanjem na regulacijski ventil 4 na početku curi samo nekoliko kapi, onda - čak i povećanjem tlaka - tanki mlaz te konačno puni protok (tek nakon potpunog zatvaranja regulacijskog ventila 4).

Izmjereni vrijednosti tlaka  $p_1$  potrebno je unijeti u karakterističnu krivulju.

## SPOJNA SCHEMA



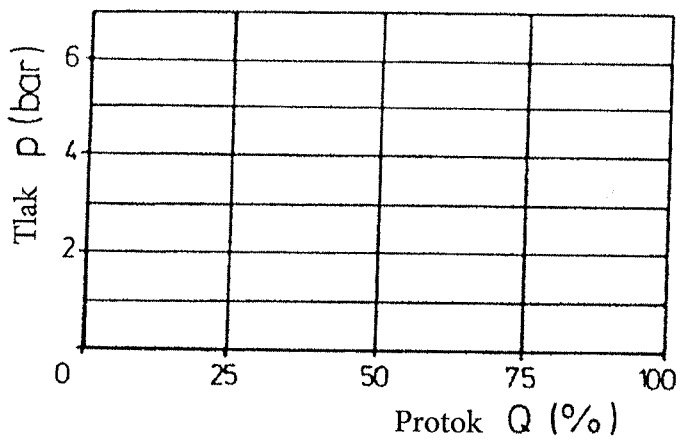


## IZMJERENE VELIČINE

| Podešavanje tlaka $p_1$ (bar)<br>na $Q_{\max}$ u $T_2$<br>(uređaj 4 spojen) | Tlak $p_1$ (bar)<br>pri protoku $Q$ (%) <sup>*1</sup> u $T_2$ |                   |                    |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------|
|                                                                             | 0% <sup>*2</sup>                                              | 50% <sup>*3</sup> | 100% <sup>*4</sup> |
| 4.5                                                                         |                                                               |                   |                    |
| 4.5                                                                         |                                                               |                   |                    |

\*<sup>1</sup> Procijenjena vrijednost\*<sup>3</sup> Jednaki potoci u  $T_1$  i  $T_2$ \*<sup>2</sup> Prve kapi u  $T_2$ \*<sup>4</sup> Tok u  $T_2$ : 0

## Dijagram\*

\* Za praktične karakteristike protok  $Q$  naveden je u l / min.

## SPOZNAJE

- Sigurnosni ventil ograničava tlak u hidrauličkom sustavu.
- Sigurnosni ventil potrebno je uključiti u krug odmah nakon crpke.
- Na cijevnim ventilima odvod treba biti spojen na spremnik zasebno bez tlaka.
- Promjene protoka uzrokuju promjene tlaka opruga:
  - povećanje protoka - tlak se povećava
  - smanjenje protoka - tlak se smanjuje
- Postojanost toka: tlak pada kada je opruga opuštena.

## PROBLEM

Sigurnosni ventil namješta se za različite tokove i tlakove na jednaki način za skup vježbi. Najviši tlak treba biti znatno niži od maksimalnog tlaka napajanja A3E.

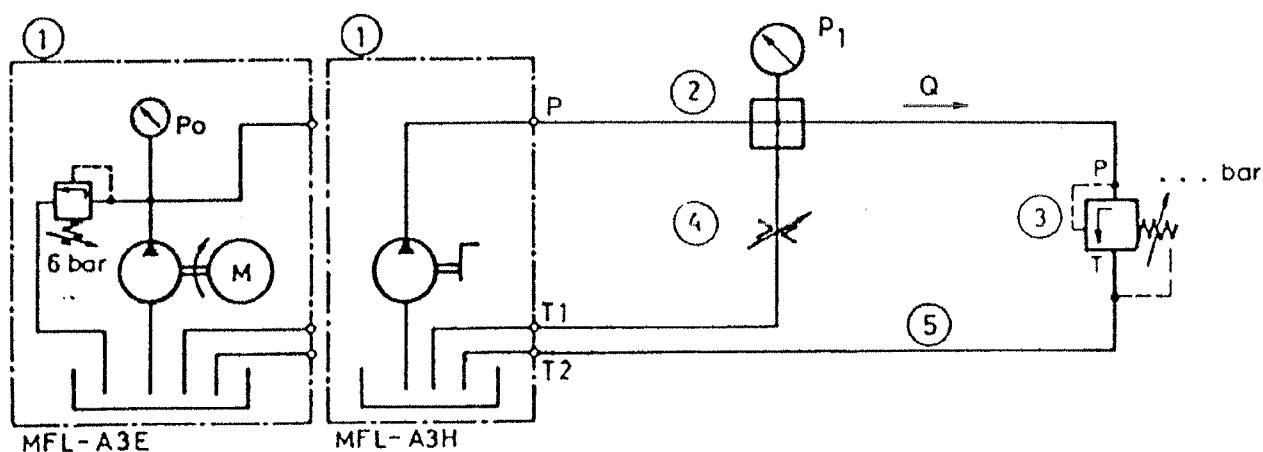
Napomena 1: Pustite napajanje A3E da radi nekoliko minuta pri punom tlaku za postizanje radne temperature.

Napomena 2: Različiti protoci napajanja A3H postižu se otvaranjem/zatvaranjem kontrolnog ventila 4 (razvodnik u uređaju 2).

Djelovanjem na regulacijski ventil 4 na početku curi samo nekoliko kapi, onda - čak i povećanjem tlaka - tanki mlaz te konačno puni protok (tek nakon potpunog zatvaranja regulacijskog ventila 4).

Izmjereni vrijednosti tlaka  $p_1$  potrebno je unijeti u karakterističnu krivulju.

## SPOJNA SCHEMA

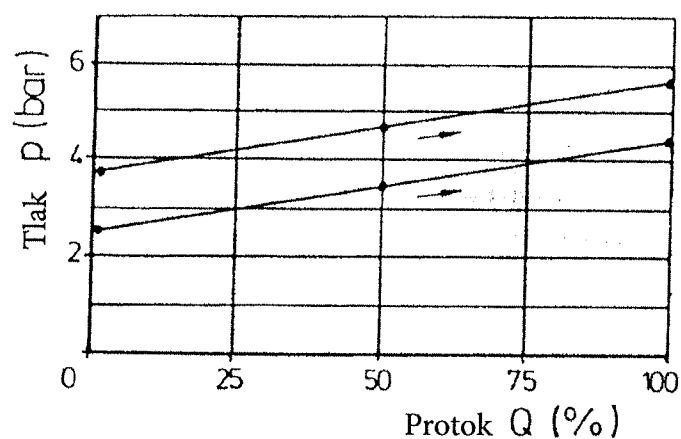


## IZMJERENE VELIČINE

| Podešavanje tlaka $p_1$ (bar)<br>na $Q_{\max}$ u $T_2$<br>(uređaj 4 spojen) | Tlak $p_1$ (bar)<br>pri protoku $Q$ (%) <sup>*1</sup> u $T_2$ |                   |                    |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------|
|                                                                             | 0% <sup>*2</sup>                                              | 50% <sup>*3</sup> | 100% <sup>*4</sup> |
| 4.5                                                                         | 2.6                                                           | 3.3               | 4.5                |
| 4.5                                                                         | 3.8                                                           | 4.7               | 5.5                |

\*<sup>1</sup> Procijenjena vrijednost\*<sup>3</sup> Jednaki potoci u  $T_1$  i  $T_2$ \*<sup>2</sup> Prve kapi u  $T_2$ \*<sup>4</sup> Tok u  $T_2$ ; 0

## Dijagram\*

\* Za praktične karakteristike protok  $Q$  naveden je u l / min.

## SPOZNAJE

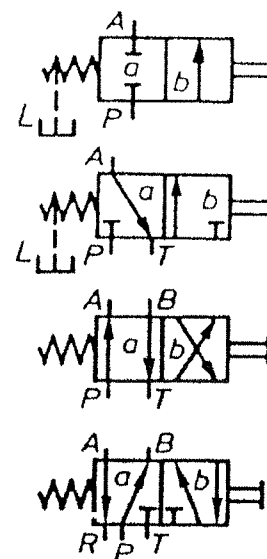
- Sigurnosni ventil ograničava tlak u hidrauličkom sustavu.
- Sigurnosni ventil potrebno je uključiti u krug odmah nakon crpke.
- Na cijevnim ventilima odvod treba biti spojen na spremnik zasebno bez tlaka.
- Promjene protoka uzrokuju promjene tlaka opruga:
  - povećanje protoka - tlak se povećava
  - smanjenje protoka - tlak se smanjuje
- Postojanost toka: tlak pada kada je opruga opuštena.

ZADATAK

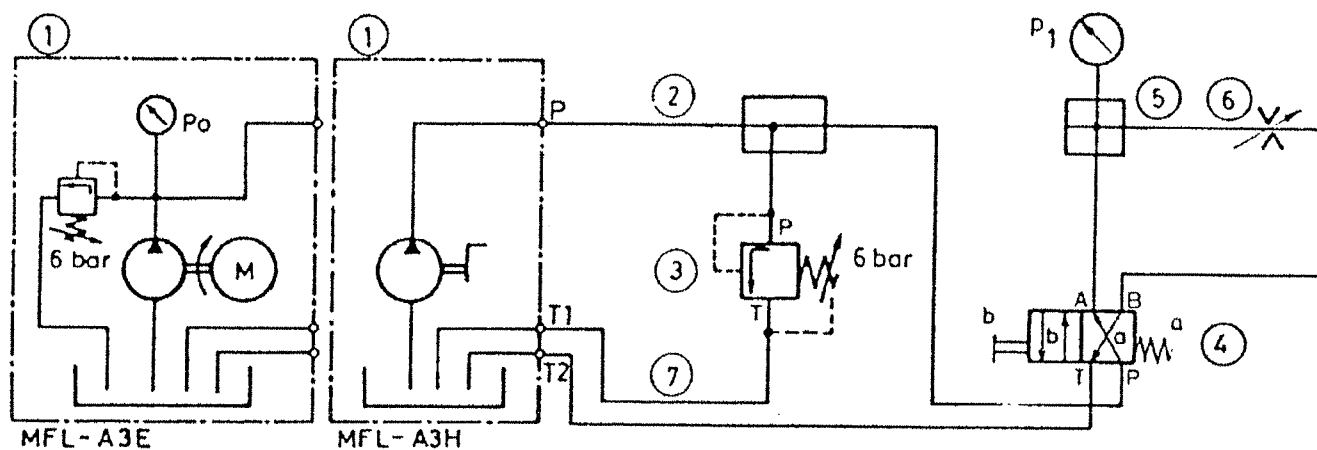
Pripremiti hidraulički sustav prema spojnoj shemi.

Razumjeti svojstva upravljačkog ventila.

Upoznati se s kriterijima odabira upravljačkog ventila.



SPOJNA SHEMA



POPIS DIJELOVA

1. Napajanje
2. Razvodnik protoka 6
3. Tlačni ventil (kuglasti)
4. 4/2 upravljački ventil (ručno upravljani)
5. Manometar
6. Ventil za regulaciju protoka (prigušnica)
7. Prozirne cijevi

NAPOMENE

- Prilikom korištenja MFL-A3E napajanja s električnim pogonom nije potrebno koristiti sigurnosni ventil 3 i razvodnik protoka (dio 2).
- Upravljački ventili s priključkom za ispušni odvod mora biti spojen sa spremnikom zasebnim nestlačenim vodovima.
- U praksi manometar uvijek treba postaviti u blizini sigurnosnog ventila.

CILJEVI

Upravljački ventili upravljaju smjerom fluida u hidrauličkom krugu te se koriste za puštanje i zaustavljanje protoka.

VRSTE

Odvojni i cijevni ventili.

ODVOJNI VENTILI

Koriste se za tlakove iznad 300 bar i bez curenja ulja. Sile aktiviranja su znatne, a fluid često može protjecati samo u jednom smjeru, sl. 1.

CIJEVNI VENTILI

Uključuju ravne, rotirajuće i uzdužne cijevne ventile, te plunger ventile.

Cijevni se ventili koriste u hidrauličkim sustavima s tlakom i do 300 bar.

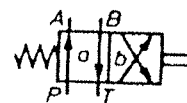
POSTAVLJANJE VJEŽBE

Cijevni se ventili sastoje od sljedećih dijelova, sl. 2:

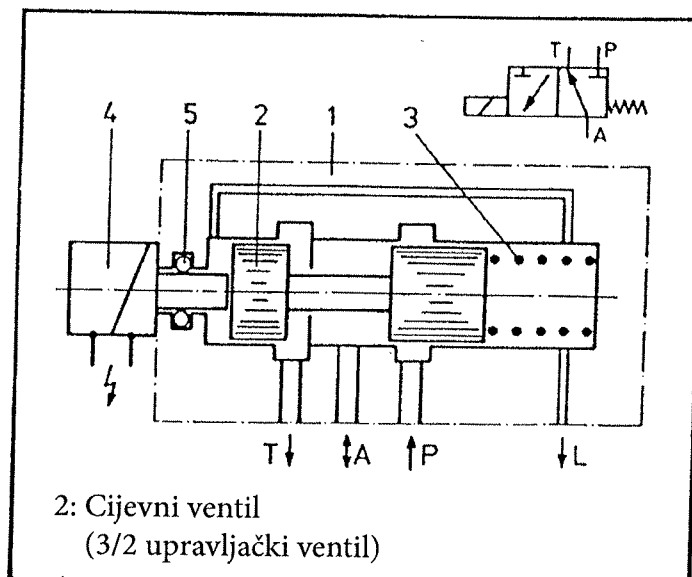
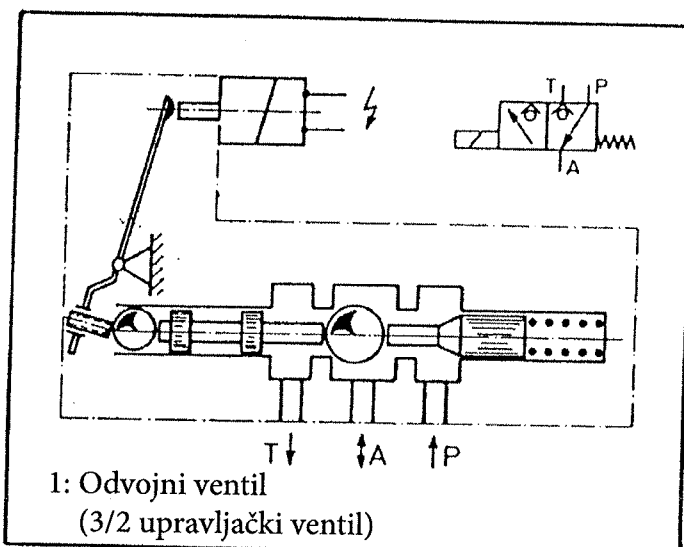
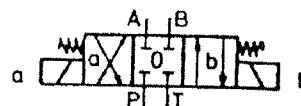
1. Kućište
2. Upravljačka cijev
3. Opruga (ne u svim vrstama)
4. Aktuator (solenoidni)
5. Brtveni prstenovi

GRAFIČKI SIMBOL (vidi list 2.2)

4/2 upravljački ventil s ručnim/opružnim aktiviranjem



4/3 upravljački ventil s elektromagnetskim aktiviranjem

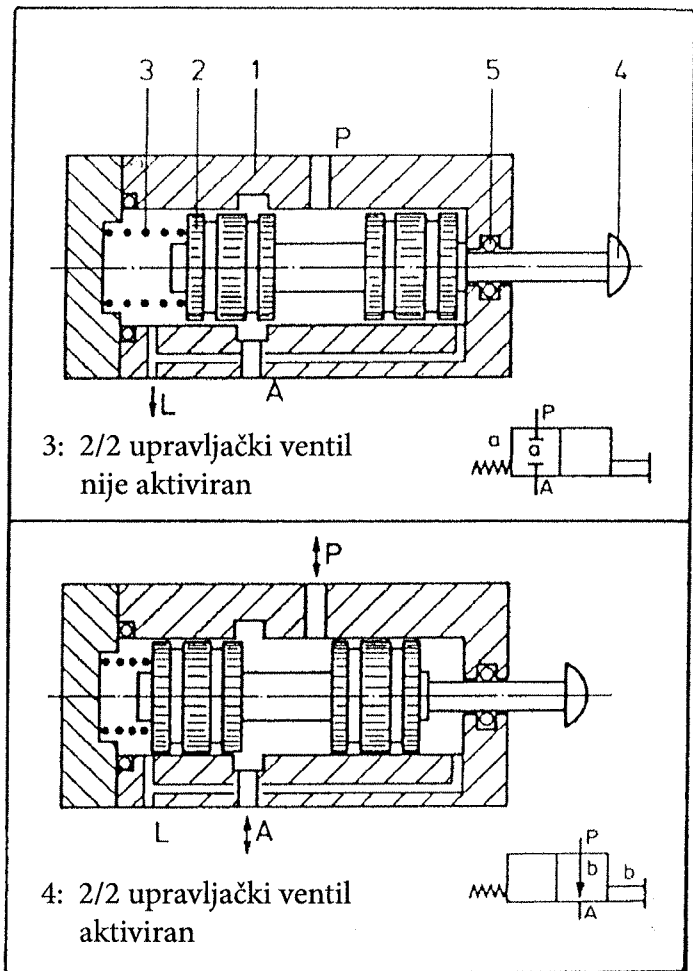


NAČIN RADA (cijevni ventili)

Upravljačka cijev u, primjerice, 2/2 upravljačkom ventilu (2 priključka, 2 položaja) u normalnom položaju blokira protok P-A, sl. 3. Nakon pritiska na tipku, upravljačka cijev otvara protok P-A, sl. 4.

Nakon otpuštanja gumba opruge vraća ventil za normalan položaj (P blokirane) (slika 3).

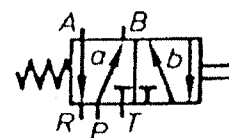
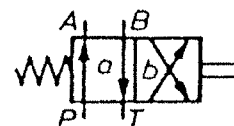
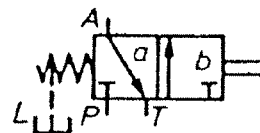
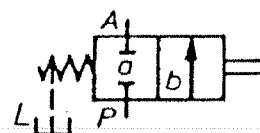
Ako postoje vodovi za otjecanje, trebali bi sa spremnikom biti priključeni zasebno nestlačenim vodovima. Novi upravljački ventili koje aktiviraju solenoidi u principu nemaju vodove za otjecanje.



PRIMJENA

Ovisno o zahtijevanim funkcijama, upravljački ventili se koriste za blokiranje i otvaranje jednog ili više vodova:

- 1 vod blokirani / otvoren:
- 1 upravljani vod: priključak A može biti spojen na T ili P, primjerice u slučaju upravljanja jednoradnim cilindrom.
- 2 upravljana voda (npr. A i B): izmjenična veza P-A i B-T ili P-B i A-T, primjerice u slučaju upravljanja dvoradnim cilindrom.
- 2 upravljana voda (npr. A i B), gdje se A i B mogu povezati na različite odvodne vodove.



GRAFIČKI SIMBOLI

Općenito

Ventili se u shemama prikazuju grafičkim simbolima. Grafički simboli prikazuju samo funkcije, ali ne i vrste ventila. Korišteni grafički simboli standardizirani su prema DIN-ISO 1219.

Pokretni dijelovi ventila mogu zauzimati različite položaje (npr. otvoreno/zatvoreno su dva upravljačka položaja).

Upravljački se položaji prikazuju u kvadratima u koje se upisuju brojke i slova. Na desnoj slici su prikazani ventili s tri položaja (a-b-c i a-0-b).

Unutar kvadrata priključci se prikazuju crtama, a tok fluida strelicama.

Blokirani priključci prikazuju se s okomitim završecima.

Simboli prikazuju stanje u normalnom položaju.

Upravljački vodovi prikazuju se velikim slovima:

- Radno vodovi i vodovi prema cilindrima

A, B, C

- Tlak, priključak

P

- Povratni vod

R, S, T

Protok tekućine u spremnik prikazan je dodatnom oznakom za spremnik.

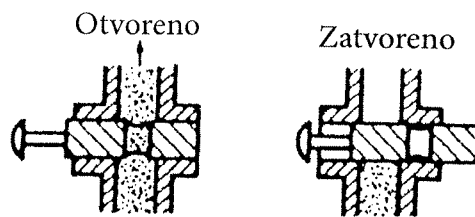
PRIMJER ZA UPRAVLJANI (GLAVNI) PRIKLJUČAK

Odvodni i pilotni vodovi nisu glavni priključci.

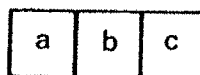
2 upravljana priključka - 2 glavne veze

3 upravljana priključka - 3 glavne veze

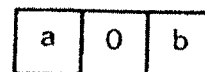
4 upravljana priključka - 4 glavne veze



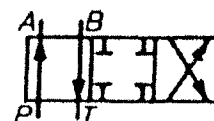
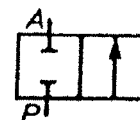
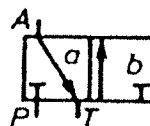
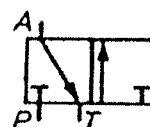
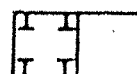
2 upravljačka položaja



3 upravljačka položaja



3 upravljačka položaja, normalno u 0



POLOŽAJI VENTILA

Normalan položaj ventila s reset funkcijom (primjerice s oprugom) je položaj koji pomični dijelovi ventila zauzimaju kada ventil nije aktiviran. U primjeru s desne strane normalni položaj ventila je b.

Početni položaj ventila je položaj koji pomični dijelovi zauzimaju prilikom početka rada (primjerice pri uključivanu na mrežno i električno napajanje).

Za sve opsane ventile normalni i početni položaj su jednaki.

Blokiranje:

Svi priključci su blokirani.

Otvoreni položaj:

Nasuprotni otvori povezani su jedan s drugim.

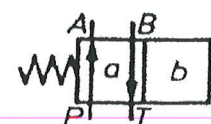
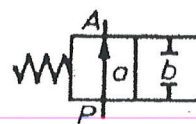
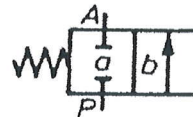
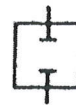
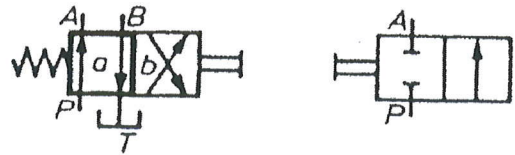
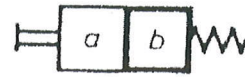
Normalno blokirani položaj:

(Blokiranje u normalnom položaju)

U normalnom položaju nije otvoren tok od P do A ni od B do T.

Normalno otvoreni položaj:

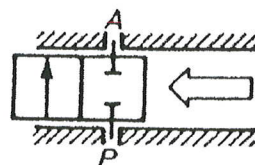
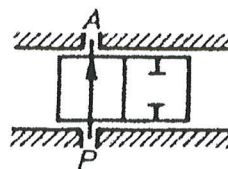
U normalnom položaju tok od P do A i od B do T je otvoren.



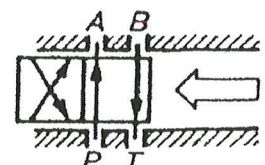
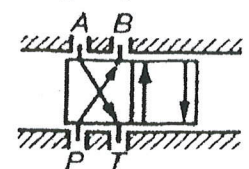
Pojašnjenje grafičkih simbola

Nakon aktiviranja upravljačkog ventila položajni blokovi na grafičkoj shemi se pomiču dok se odgovarajući blok novog položaja ventila ne poravna s priključcima.

2 priključka



4 priključka



Mijenjanje položajnih blokova



OZNAČAVANJE

Upravljački ventili pišu se s prefiksom. Prvi broj označava broj priključak, a drugi broj položaja. Brojevi su odvojeni kosom crtom.

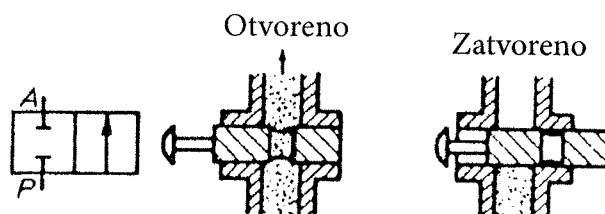
Primjer:

a) Najjednostavniji ventil: zaporni ventil

2 veze

2 položaja

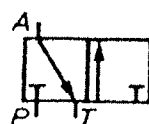
Oznaka: 2/2 upravljački ventil



b) 3 veze

2 položaja

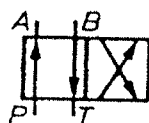
Oznaka: 3/2 upravljački ventil



c) 4 veze

2 položaja

Oznaka: 4/2 upravljački ventil



AKTIVIRANJE

Grafički simboli aktuatora postavljeni su tako da jedan kraj dodiruje stranicu kvadrata. Na uređajima s više položaja grafička oznaka aktuatora dodaje se kraj odgovarajućeg položaja.

Ručno aktiviranje

- tipkom
- polugom

Meh. aktiviranje

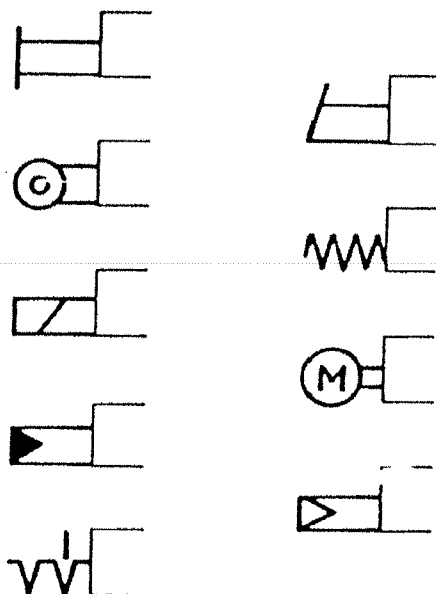
- pokretačem
- oprugom

Elektr. aktiviranje

- zavojnica s jednim namotom
- električnim motorom

Tlačno pokretanje:

- hidraulički pilot
- pneumatski pilot

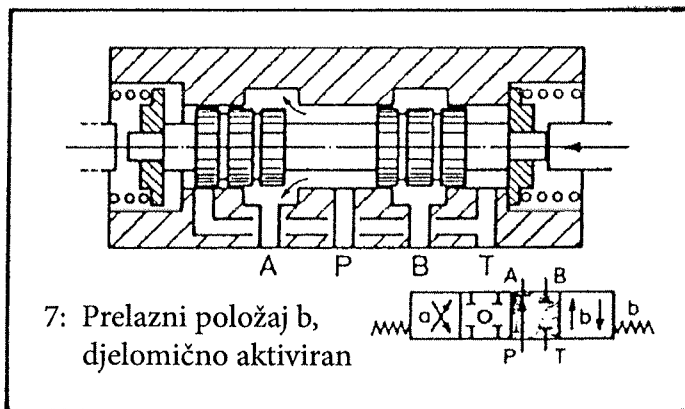
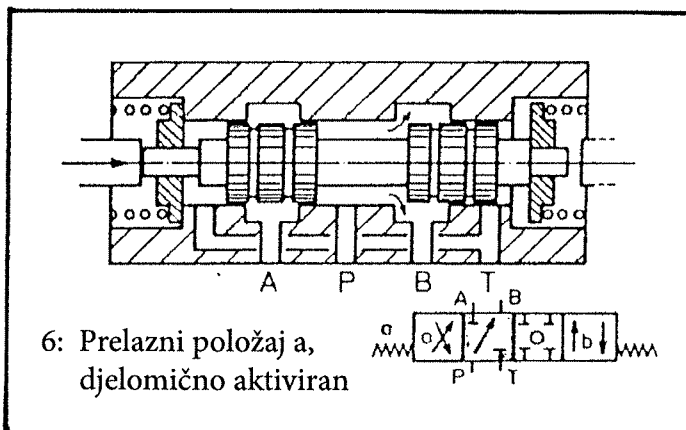
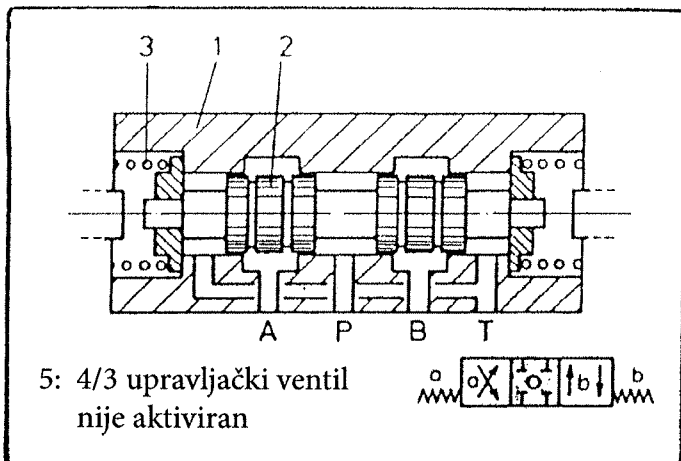


PRIJELAZNI POLOŽAJI

Ako zamislimo usporeno pomicanje cijevi 4/3 upravljačkog ventila, razmotrimo dva međupoložaja koja se nalaze između početnog i konačnog položaja. Cijev samo prolazi kroz te položaje, ne zaustavlja se u njima. Stoga se ti položaji nazivaju prijelazni.

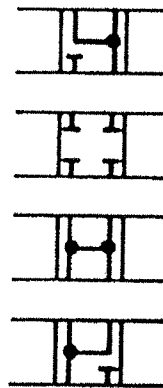
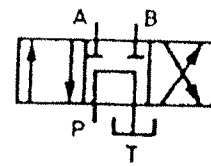
Grafički simboli u spojnoj shemi ne daju podatke o prijelaznim položajima. Međutim, ovisno o vezama s drugim uređajima, prijelazni položaji mogu utjecati na ponašanje hidrauličkog sustava.

Sl. 5 prikazuje cijev 4/3 upravljačkog ventila s oprugom za centriranje u središnjem položaju, dok se sl. 6. i 7. prikazuju stvarne prijelazne položaje.



Grafički simboli koji prikazuju česte položaje 4/3 uspravljačkih ventila:

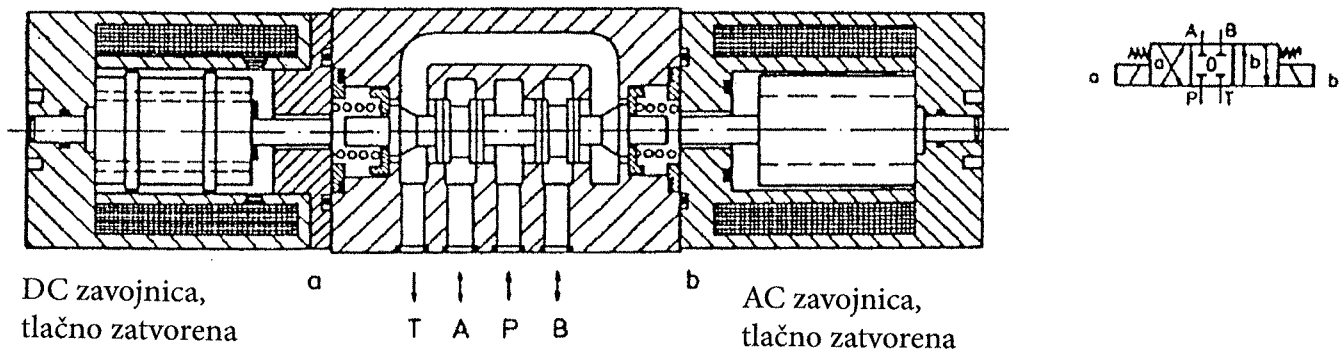
- središnji položaj za recirkulacijsku dobavu crpke bez tlaka,
- plutajući položaj (potrošača) s blokiranim priključkom P (tipična primjena pilota),
- zatvoreno središnji položaj (svi priključci su blokirani, trošilo zaustavljeno),
- plutajući položaj za recirkulaciju dobave crpke bez tlaka,
- plutajući položaj potrošača u kojem je T-priključak blokirani.



### PRIMJER

5/3 upravljački ventil pokretan zavojnicom (izravno upravljani).

Sl. 8 prikazuje zavojnicom pokretan 5/3 upravljački ventil u aktiviranom položaju. Istosmjerna zavojnica nacrtana je na lijevoj strani, a izmjenična na desnoj. Moderne izmjenične tlačno zatvorene zavojnice vrlo su slične istosmjernim i razlikuju se samo po natpisnoj pločici.



8: 4/3 upravljački ventil pokretan zavojnicom, zavojnice a i b nisu uzbuđene

UPRAVLJAČKI VENTIL UPRAVLJAN PILOTOM (neizravno upravljani ventil)

Upravljački ventili upravljani pilotom koriste se za upravljanje velikim protocima i visokim tlakovima. Naime, zavojnice sličnih dimenzija nisu dovoljno učinkovite i ne koriste se za velike protoke i visoke tlakove.

Iz navedenog se razloga koriste male zavojnice pobuđene pilot ventilom u pilot krugu s malim protok, što razvija dostatnu hidrauličku snagu za pomicanje cijevi glavnog upravljačkog ventila.

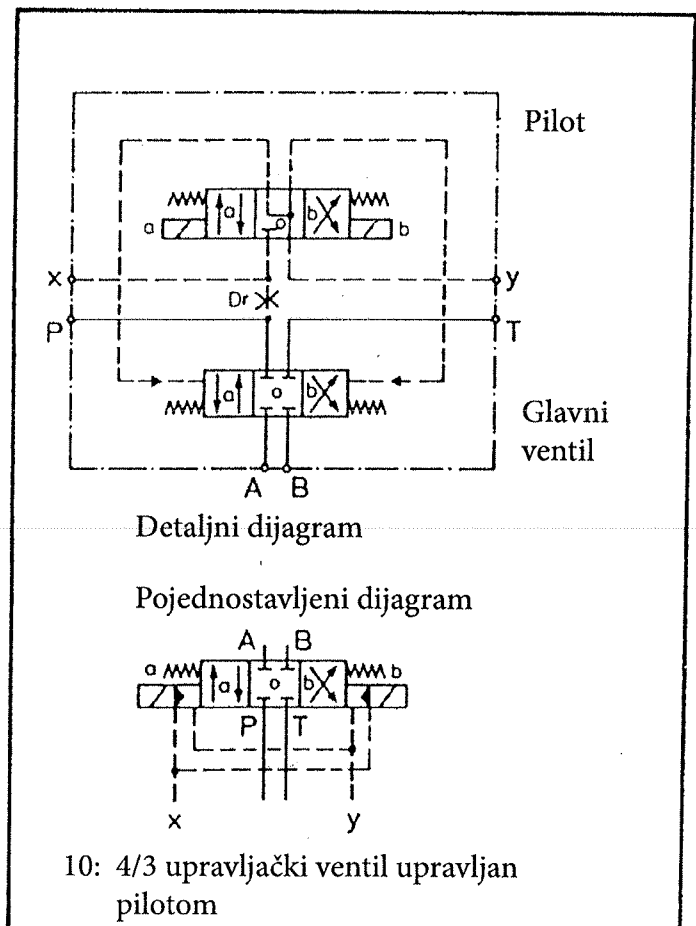
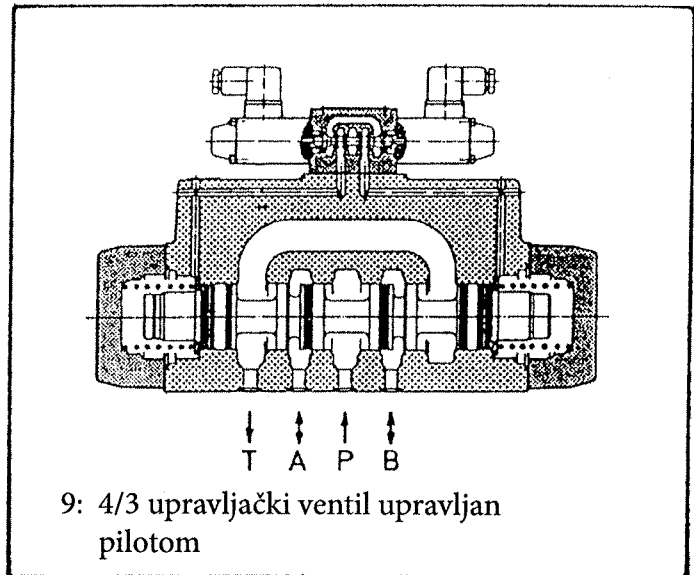
Kako bi se omogućila fleksibilnost u konfiguraciji, priključci X i Y (tlak i spremnik pilota) mogu se spojiti iznutra ili izvana.

Detaljni i pojednostavljeni grafički prikaz pilotom upravljanog 5/3 upravljačkog ventila prikazan je na sl. 10. U cilju upravljanja brzinom gibanja između dva uređaja postavlja se jednosmjerna prigušnica.

U mnogim slučajevima dovoljno je koristiti prigušnicu  $D_r$  između P i X

KRITERIJI ODABIRA

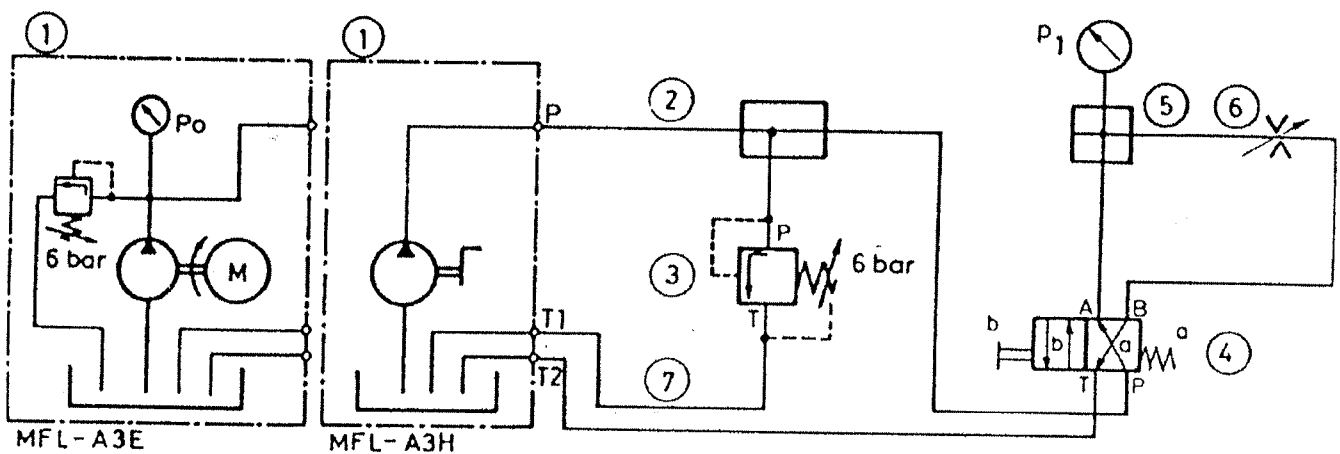
- Broj upravljanih protoka i potrebne funkcije.
- Postojanost (pad tlaka pojedinih protoka staze).




ZADATAK

- Istražiti ponašanje 4/2 upravljačkog ventila u oba položaja a i b za postojeći protok.
- U tu svrhu spojna shema uključuje manometar i podesivi otpor 6:
  - u smjeru P-B manometar se nalazi nakon otpora i neće mjeriti tlak dok je uređaj zatvoren,
  - u smjeru P-A manometar se nalazi prije podesivog otpora i stoga pokazuje tlak na koji može utjecati otpor.

SPOJNA SHEMA



MJERNE VELIČINE

| Uređaj                                                                              | Opis                 | Put protoka |       | Indikator tlaka |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------|-------|-----------------|
|                                                                                     |                      | u položaju  | smjer |                 |
|  | / upravljački ventil | a           | ↔     |                 |
|                                                                                     |                      | b           | ↔     |                 |

SPOZNAJE

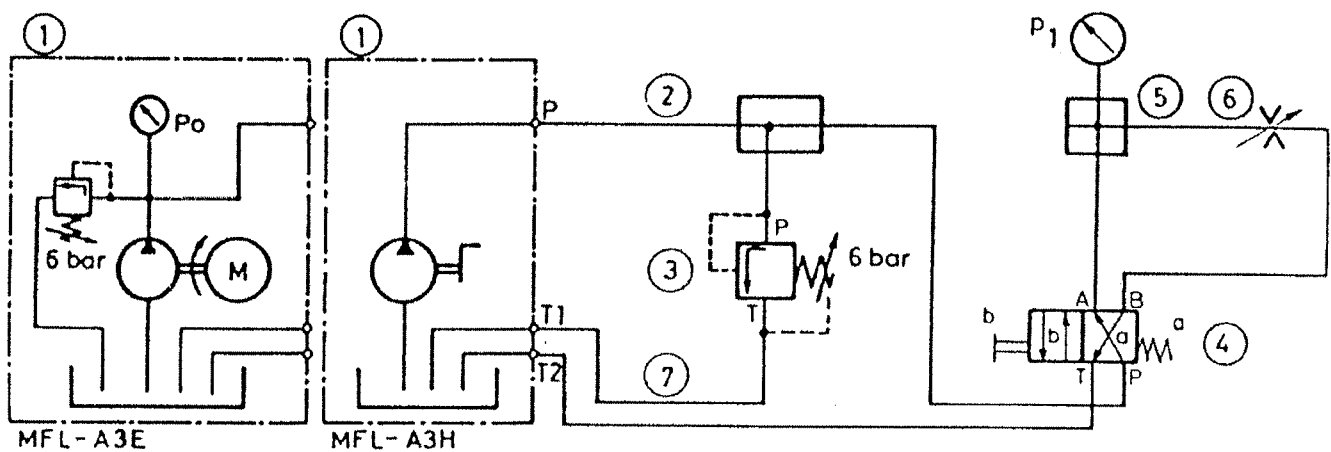
Upravljački ventili:

- Usmjeruju fluid u željene smjerove.
- Mogu pokrenuti ili zaustaviti protok (mogu zaustaviti gibanje samo ako postoji blokirajući položaj).
- Označavanje: Upravljački ventil s 4 upravljačka priključka i 2 položaja je "4/2 upravljački ventil".
- Izbor se vrši prema funkciji i padu tlaka (statička karakteristika).

ZADATAK

- Istražiti ponašanje 4/2 upravljačkog ventila u oba položaja a i b za postojeći protok.
- U tu svrhu spojna shema uključuje manometar i podesivi otpor 6:
  - u smjeru P-B manometar se nalazi nakon otpora i neće mjeriti tlak dok je uređaj zatvoren,
  - u smjeru P-A manometar se nalazi prije podesivog otpora i stoga pokazuje tlak na koji može utjecati otpor.

SPOJNA SHEMA



MJERNE VELIČINE

| Uređaj | Opis                   | Put protoka |                | Indikator tlaka |
|--------|------------------------|-------------|----------------|-----------------|
|        |                        | u položaju  | smjer          |                 |
|        | 4/2 upravljački ventil | a           | P ↔ A<br>B ↔ T | da              |
|        |                        | b           | P ↔ B<br>A ↔ T | ne              |

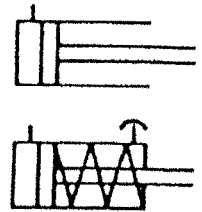
SPOZNAJE

Upravljački ventili:

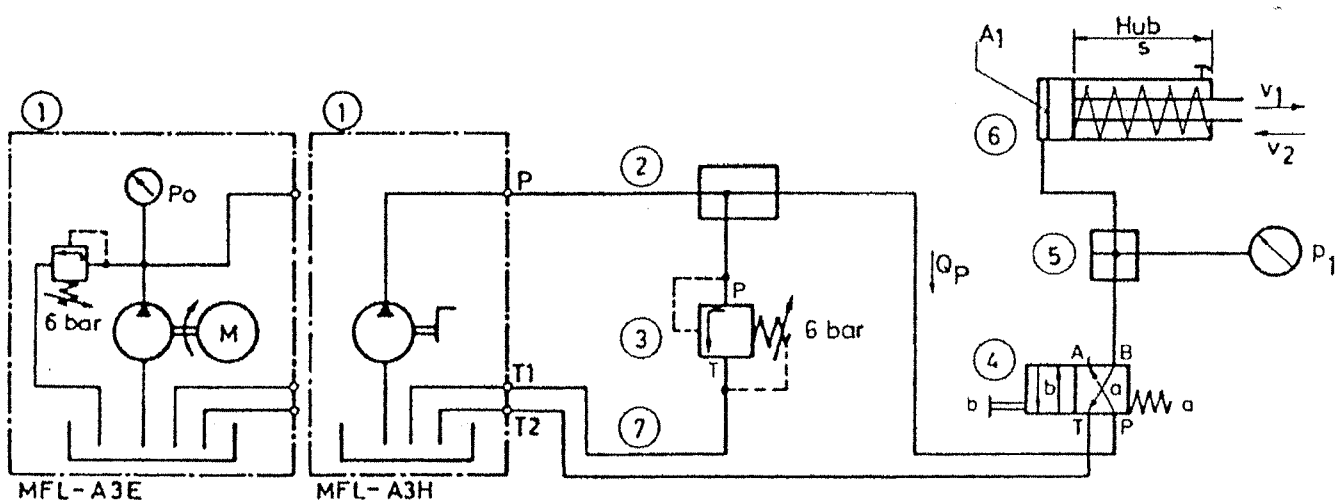
- Usmjeruju fluid u željene smjerove.
- Mogu pokrenuti ili zaustaviti protok (mogu zaustaviti gibanje samo ako postoji blokirajući položaj).
- Označavanje: Upravljački ventil s 4 upravljačka priključka i 2 položaja je "4/2 upravljački ventil".
- Izbor se vrši prema funkciji i padu tlaka (statička karakteristika).

ZADATAK

- Pripremiti hidraulički sustav prema spojnoj shemi.
- Aktiviranje 4/2 upravljačkog ventila uzrokuje izvlačenje i uvlačenje jednoradnog cilindra s povratnom oprugom.
- Izračunati maksimalnu silu cilindra.



SPOJNA SCHEMA



POPIS DIJELOVA

1. Napajanje
2. Razvodnik protoka 6
3. Tlačni ventil (kuglasti)
4. 4/2 upravljački ventil
5. Manometar
6. Jednoradni cilindar s povratnom oprugom
7. Prozirne cijevi

NAPOMENE

- Prilikom korištenja MFL-A3E napajanja mogu se izostaviti sigurnosni ventil 3 razvodnik protoka (uređaj 2).
- Jednoradni cilindri zahtijevaju stalno odzračivanje na kraju klipnjače.
- Ova vježba može se provesti koristeći dvoradni cilindar. U tom je slučaju potrebno odzračivati kružnu površinu cilindra izravnim povezivanjem s T priključkom spremnika. Povratak se odvija na ručnu pobudu. Ukoliko koristite paket A3H bit će potreban dodatni razvodnik 4 za priključak na spremnik.

CILJEVI

Jednoradni cilindar pretvara protok fluida pod tlakom u linearnu silu i gibanje, a mehanički rad može obavljati samo tijekom izvlačenja klipa.

Ovi cilindri se nazivaju i linearnim motorima.

POSTAVLJANJE VJEŽBE

Jednoradni cilindar sastoji se od sljedećih dijelova, sl. 1.

1. Cijev cilindra
2. Klipnjača (Ø d)
3. Klipa (Ø D)
4. Poklopac (donji kraj) s brtvom
5. Poklopac (glava kraj)

NAČIN RADA

Tekućina ulazi s prednje strane klipa u cilindar (jednosmjerno djelovanje). Protusila na klip (vanjsko opterećenje) dovodi do povećanja tlaka. Nakon svladavanja protusile klipnjača se izvlači (pomicanje prema naprijed). Nakon okertanja upravljačkog ventila klip se može uvući uz pomoć vanjske sile (uteg ili opruga).

SILA KLIPA F:

U stvarnosti trenje smanjuje silu. Vrijedi sljedeća formula:

$$F_1 = A_1 \cdot p \cdot \eta_{mh} \quad \left( \text{cm}^2 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} = \text{daN} \right)$$

gdje je:

A (cm<sup>2</sup>) površina klipa =  $D^2 \frac{\pi}{4}$

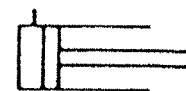
F (daN) sila klipa (1 daN = 10 N)

p (bar) tlaka u cilindru

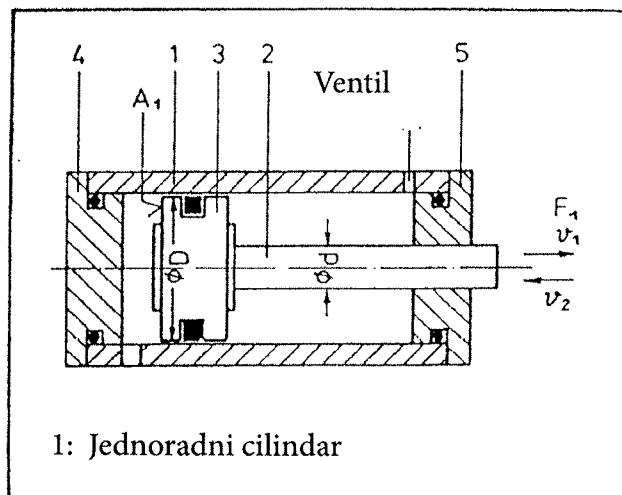
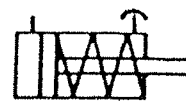
$\eta_{mh}$  (-) mehanička hidraulička učinkovitost uzrokovana trenjem otpora (<1)

GRAFIČKI SIMBOL

bez opruge, uvlačenje pomoću vanjske sile



uvlačenje pomoću opruge





BRZINA v:

Volumen ulja Q i klip površine  $A_1$  određuju brzinu izvlačenja  $v_1$ .

$$Q = v_1 \cdot A_1 \quad \text{stoga je:}$$

$$\boxed{v_1 = \frac{Q}{A_1}} \left( \frac{\text{cm}^3}{\text{min} \cdot \text{cm}^2} = \frac{\text{cm}}{\text{min}} \right)$$

gdje je:

A ( $\text{cm}^2$ ) površina klipa

Q  $\left( \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \right)$  volumen ulja

v  $\left( \frac{\text{cm}}{\text{min}} \right)$  brzina

Indeks 1 = izvlačenje

2 = uvlačenje

ISTISNUTI VOLUMEN  $Q_2$ 

Tijekom uvlačenja klip se pomiče pod utjecajem vanjske sile ili opruge te brzina se uvlačenja  $v_2$  može razlikovati od brzine izvlačenja  $v_1$ . Stoga, istisnuti volumen ulja  $Q_2$  tijekom uvlačenja također može biti različit:

$$\boxed{Q_2 = v_2 \cdot A_1} \left( \frac{\text{cm}}{\text{min}} \cdot \text{cm}^2 = \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \right)$$

## ODZRAČIVANJE

Kako bi se osiguralo glatko gibanje klipa bez trzaja u hidrauličkom sustavu, ne smije biti zraka u vodovima. Hidraulički sustav mora biti odzračan.

Stoga je potrebno u najvišim točkama sustava ili u cilindrima postaviti sustav za odzračivanje.

PRIMJER

$$Q = 30 \text{ l/min} = 30\,000 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$A_1 = 30 \text{ cm}^2$$

Brzina izvlačenja  $v_1 = ?$

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{30\,000}{30} = 1000 \text{ cm/min}$$

$$= 10 \text{ m/min}$$

Brzina uvlačenja  $v_2$  mjeri se samo pri 2 m/min. Koliki je volumen ulja  $Q_2$  kojeg je istisnuo klip?

$$2 \text{ m/min} = 200 \text{ cm/min}$$

$$Q_2 = 200 \cdot 30 = 6\,000 \text{ cm}^2/\text{min}$$

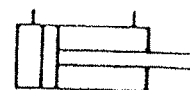
$$= 6 \text{ l/min}$$

PRIMJENA

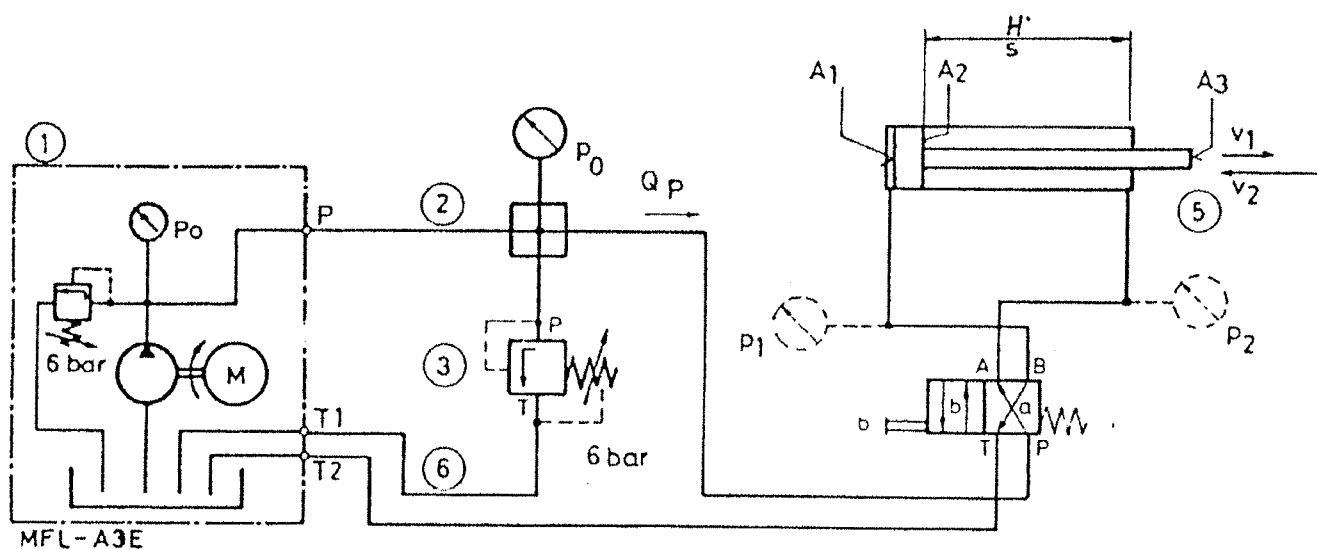
- Za sve hidrauličke sustave u kojima je potrebna sila samo u jednom smjeru (izvlačenje).
- Uvlačenje se postiže pomoću vanjskih sila ili oprugom.

PROBLEM

- Pripremiti hidraulički sustav prema shemi.
- Aktiviranje 4/2 upravljačkog ventila treba urokovati izvlačenje i uvlačenje dvoradnog cilindra.
- Izračunajte maksimalnu silu i brzinu cilindra.



SPOJNA SCHEMA



POPIS DIJELOVA

1. Napajanje s elektromotorom
2. Manometar
3. Tlačni ventil (kuglasti)
4. 4/2 upravljački ventil
5. Dvoradni cilindar
6. Prozirne cijevi

NAPOMENE

- Da biste dobili točna mjerenja tlaka u cilindru: uvijek spojiti manometar odmah na ulaz/izlaz cilindra.

CILJEVI

Dvoradni cilindar pretvara energiju stlačenog fluida u linearno gibanje. Obavlja rad u oba smjera kretanja.

POSTAVLJANJE VJEŽBE

Dvoradni cilindar, kao i jednoradni, ima sljedeće dijelove, sl. 1:

1. Cijev cilindra
2. Klipnjača (promjera  $d$ )
3. Klip (promjera  $D$ ) s brtvom
4. Poklopac (donji kraj) s brtvom
5. Poklopac (gornji kraj) s brtvom te brtvom klipnjače
6. Brisač

NAČIN RADA

Tijekom izvlačenja  $v_1$  klipa tekućina ulazi u cilindar na ulaz A te djeluje na površinu klipa  $A_1$  te se klip izvlači, sl. 1. Istodobno raste tlak  $p_1$  (ovisno o teretu). Stlačena tekućina koja djeluje na kružnu površinu klipa se zamjenjuje i vraća u spremnik kroz izlaz B.

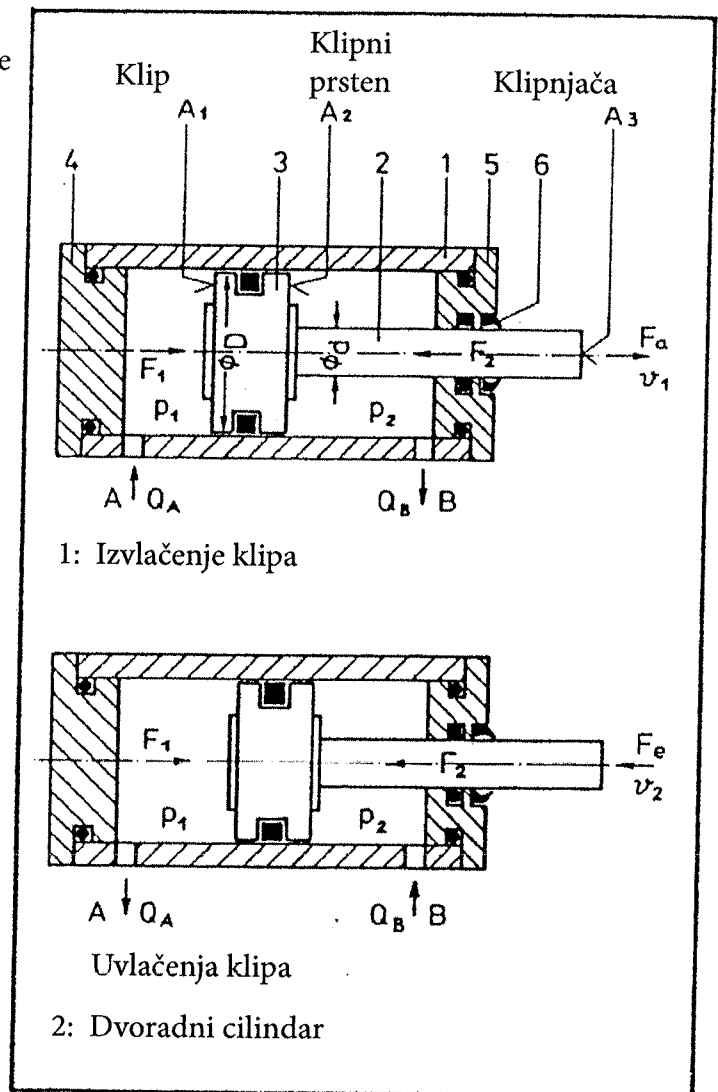
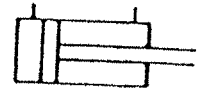
Tijekom uvlačenja  $v_2$  klipa stlačena tekućina ulazi u cilindar kroz otvor B i tlači gornji, prstenasti dio  $A_2$  klipa, sl. 2. Stlačena tekućina koja djeluje na kružnu gornju površinu klipa se zamjenjuje i vraća u spremnik kroz izlaz A. Budući da je donja površina  $A_1$  klipa veća od gornje površine  $A_2$  klipa području, istiskuje veći protok volumen, a protok je povećan.

SILE KLIPA

Otpor trenja smanjuje teorijski izračunatu silu (mehanička / hidraulička učinkovitost  $\eta_{mh}$  je smanjena). Nadalje, izmjena tekućine stvara protusilu čime se dodatno smanjuje maksimalna sila klipa.

GRAFIČKI SIMBOL

Dupli cilindar djeluje s jednostranoo klipnjačom (razlika cilindra)



Vrijede sljedeći izrazi:

Izvlačenje cilindra:

$$F_a = F_1 - F_2 \\ = A_1 \cdot p_1 - A_2 \cdot p_2$$

$$F_a = A_1 \cdot p_1 - A_2 \cdot p_2 \quad \left( \text{cm}^2 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} = \text{daN} \right)$$

Uvlačenje cilindra:

$$F_e = F_2 - F_1 \\ = A_2 \cdot p_2 - A_1 \cdot p_1$$

$$F_e = A_2 \cdot p_2 - A_1 \cdot p_1 \quad \left( \text{cm}^2 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} = \text{daN} \right)$$

Stvarna (efektivna) maksimalna sila mora se izračunati uzimajući u obzir mehaničku/hidrauličku učinkovitost  $\eta_{mh}$ :

Izvlačenje cilindra:

$$F_a = (A_1 \cdot p_1 - A_2 \cdot p_2) \eta_{mh} \quad (\text{daN})$$

Uvlačenje cilindra:

$$F_e = (A_2 \cdot p_2 - A_1 \cdot p_1) \eta_{mh} \quad (\text{daN})$$

(Jedinice:  $\text{cm}^2 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} = \text{daN}$ )

U prethodnim formulama je:

A (cm<sup>2</sup>) aktivna površina

F (daN) sila

p (bar) tlak

$\eta_{mh}$  (-) mehaničko/hidraulička učinkovitost koja uzima u obzir trenje

BRZINE

Brzine određuju protok Q i površina klipa A. Budući da se smatra da je brtvljenje savršeno izvedeno, volumetrijska učinkovitost  $\eta_v$  ne uzima se u obzir. Vrijede sljedeći izrazi:

Izvlačenje cilindra:

$$v_1 = \frac{Q_A}{A_1} \quad \left( \frac{\text{cm}^3}{\text{min} \cdot \text{cm}^2} = \frac{\text{cm}}{\text{min}} \right)$$

Uvlačenje cilindra:

$$v_2 = \frac{Q_B}{A_2} \quad \left( \frac{\text{cm}^3}{\text{min} \cdot \text{cm}^2} = \frac{\text{cm}}{\text{min}} \right)$$

gdje je:

A (cm<sup>2</sup>) aktivna površina klipa (A1, A2)

Q (cm<sup>3</sup>/min) dobava volumena (Q<sub>A</sub>, Q<sub>B</sub>)

v (cm/min) brzina klipa

Istisnuta tekućina ovisi o brzini klipa i površini klipa. Općenito vrijedi:

$$Q = V \cdot A.$$

## PRIMJER

Podaci za diferencijalni cilindar:

$$D = \varnothing 40 \text{ mm} = 4 \text{ cm}$$

$$d = \varnothing 28 \text{ mm} = 2.8 \text{ cm}$$

$$G = 10 \text{ l/min dobave}$$

$$P_s = 25 \text{ bar tlaka}$$

$$P_G = 5 \text{ bar protutlaka}$$

$$\eta_{mh} = 0.9$$

S protutlakom  $P_G$  i trenjem:

$$\begin{aligned} F_a &= (A_1 \cdot P_s - A_2 \cdot P_G) \cdot \eta_{mh} \\ &= (12.6 \cdot 25 - 6.4 \cdot 0) \cdot 0.9 \\ &= 254 \text{ daN} = 2540 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_e &= (A_2 \cdot P_s - A_1 \cdot P_G) \cdot \eta_{mh} \\ &= (6.4 \cdot 25 - 12.6 \cdot 0) \cdot 0.9 \\ &= 87 \text{ daN} = 870 \text{ N} \end{aligned}$$

Stoga:

Površina cijelog klipa

$$A_1 = D^2 \frac{\pi}{4} = 4^2 \frac{\pi}{4} = 12.6 \text{ cm}^2$$

Površina prstena

$$\begin{aligned} A_2 &= (D^2 - d^2) \frac{\pi}{4} \\ &= (4^2 - 2.8^2) \frac{\pi}{4} = 6.4 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Omjer površina

$$A_1 : A_2 = 12.6 : 6.4 \cong 2 : 1$$

Bez protutlaka  $P_G$  i trenja:

$$\begin{aligned} F_a &= A_1 \cdot P_s - A_2 \cdot P_G \\ &= 12.6 \cdot 25 - 6.4 \cdot 0 \\ &= 315 \text{ daN} = 3150 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_e &= A_2 \cdot P_s - A_1 \cdot P_G \\ &= 6.4 \cdot 25 - 12.6 \cdot 0 \\ &= 160 \text{ daN} = 1600 \text{ N} \end{aligned}$$

Omjer sila

$$F_a : F_e = 315 : 160 \cong 2 : 1$$

Omjer sila

$$F_a : F_e = 254 : 87 = 2.9 : 1$$

Zaključak: Samo kada koristimo pojednostavljeni izraz (bez protutlaka i trenja) omjer površina približno je jednak omjeru sila 2 : 1.

Brzine

$$\text{Pri } Q = 10 \frac{\text{l}}{\text{min}} = 1000 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

Izvlačenje cilindra:

$$\begin{aligned} v_1 &= \frac{Q_A}{A_1} = \frac{10000}{12.6} = 794 \text{ cm/min} \\ &= 7.94 \text{ m/min} \end{aligned}$$

Uvlačenje cilindra:

$$\begin{aligned} v_2 &= \frac{Q_B}{A_2} = \frac{10000}{6.4} = 1562 \text{ cm/min} \\ &= 15.6 \text{ m/min} \end{aligned}$$

Omjer brzina

$$v_1 : v_2 = 794 : 1562 \cong 1 : 2$$

Zaključak: uvlačenje se odvija dvostruko većom brzinom od izvlačenja cilindra. Dakle, omjer je invertiran (obrnuta proporcionalnost).

Istisnuti volumen tekućine:

Tijekom izvlačenja istisne se sljedeći volumen kroz otvor B:

$$Q_B = v_1 \cdot A_2$$

$$= 794 \cdot 6.4$$

$$= 5081 \left( \frac{\text{cm}}{\text{min}} \cdot \text{cm}^2 = \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \right)$$

Tijekom uvlačenja istisne se sljedeći volumen kroz otvor A:

$$Q_A = v_2 \cdot A_1$$

$$= 1562 \cdot 12.6$$

$$= 19681 \left( \frac{\text{cm}}{\text{min}} \cdot \text{cm}^2 = \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \right)$$

Omjer protoka:

$$Q_A : Q_B = 19\ 681 : 5\ 081 = 3.9 : 1$$

Kada bi omjer površina klipa bio točno 2 : 1 istisnuti bi se volumeni odnosili kao 4 : 1.

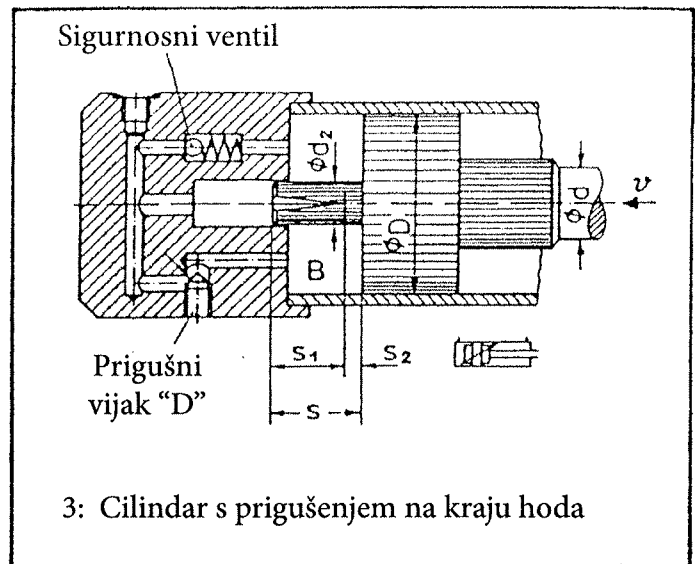
### KRUGOVI

Diferencijalni cilindri omogućuju diferencijalni krug (s omjerom površina oko 2 : 1): Vježba 10.

### NAPOMENE

Ako se (cijevni tip) upravljačkog ventila s blokiranim položajima koristi za zaustavljanje diferencijalnog cilindra, moguće je da tok ulja upravljačkog ventila dođe do površine klipa  $A_1$  i uzrokuje izvlačenje klipa.

Rješenje: Otpustite dobavu crpke u blokiranom položaju upravljačkog ventila, primjerice recirkulacijskim krugom iz vježbe 3.



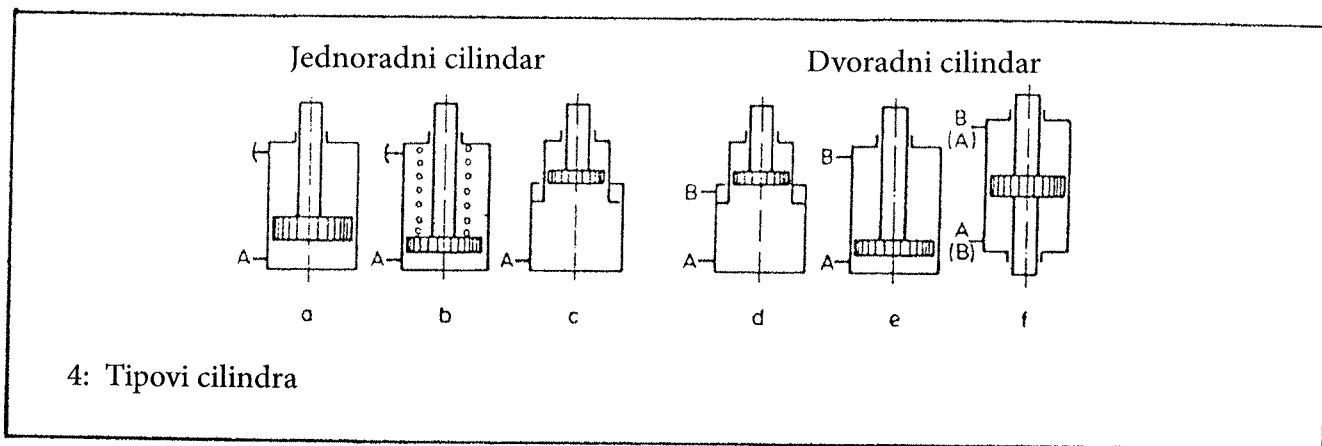
### PRIGUŠIVANJE

Ako se klipnjača povezana s velikim masama pomiče brzinom većom od 0.1 m/s može doći do deformacije cilindra uslijed udara u poklopac cilindra. U tim je slučajevima nužno korištenje prigušnog vijka u cilindru.

Opis slike 3:

Neposredno prije kraja hoda čep za prigušenje  $d_2$  klipa ulazi u rupu. Povećava se tlak prigušenja i smanjuje brzina klipa. Nakon što čep u potpunosti zatvori rupu brzina ostatka hoda namješta se prigušnim vijekom D.

Tijekom povratnog hoda prigušivanje se zaobilazi nepovratnim ventilom.



4: Tipovi cilindra

Prema sl. 4 razlikujemo:

- jednoradne cilindre koji imaju jedan ulaz za stlačeni fluid i obavljaju rad samo u smjeru izvlačenja cilindra, dok se klip uvlači pomoću opruge ili djelovanjem vanjske sile,
- dvoradne cilindre s dva ulaza/izlaza stlačenog fluida te obavljaju rad u oba smjera.

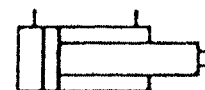
Posebne vrste cilindara.

- Diferencijalni cilindri s klipovima omjera površina  $A_1 : A_2 \cong 2 : 1$
- Cilindri s dva štapa jednakog promjera imaju istu brzinu u oba smjera gibanja.

OPIS

- a Jednoradni klip
- b Jednoradni klip s opružnim uvlačenjem
- c Teleskopski cilindar
- d Teleskopski cilindar
- e Diferencijalni cilindar
- f Cilindar s dva štapa

Grafički simbol



Grafički simbol



SPOZNAJE (o dvoradnim cilindrima)

- Sila djeluje u oba smjera.
- Sile odgovaraju aktivnim površinama klipa:
 

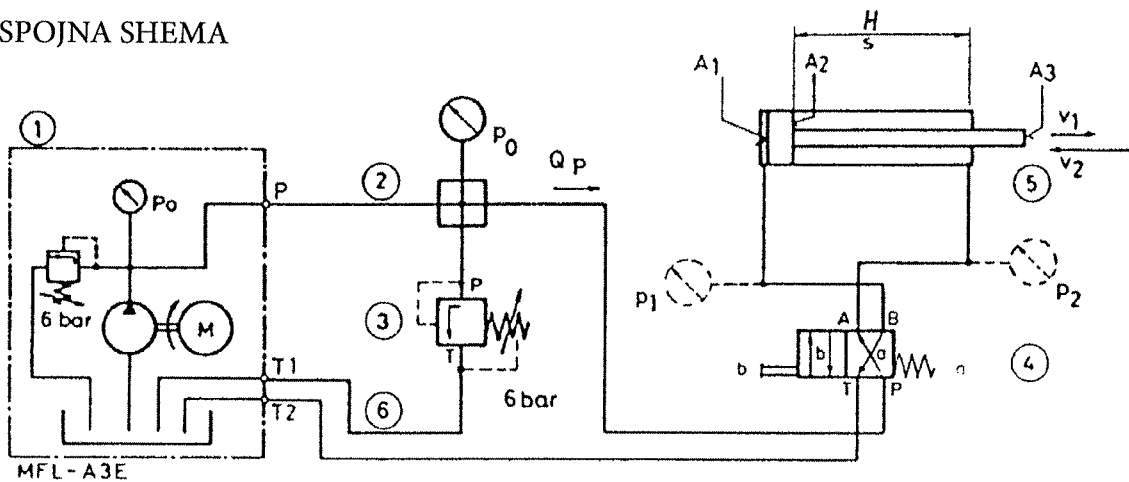
|                               |   |                     |
|-------------------------------|---|---------------------|
| velika površina = velika sila | } | pri istom tlaku $p$ |
| mala površina = mala sila     |   |                     |
- Brzine su obrnuto proporcionalne aktivnim površinama klipa:
 

|                               |   |                       |
|-------------------------------|---|-----------------------|
| velika površina = mala brzina | } | pri istom protoku $Q$ |
| mala površina = velika brzina |   |                       |
- Ulje istisnuto na suprotnoj strani klipa pruža protutlak i protusilu.

ZADATAK

- Omogućite izvlačenje i uvlačenje dvoradnog cilindra.
  - Mjerite vremena kretanja i tlakove.
  - Izračunajte maksimalne sile, brzine i protoke u oba smjera.
  - Podaci cilindra:  $A_1 = 2^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 3.14 \text{ cm}^2$      $A_2 = (2^2 - 1^2) \cdot \frac{\pi}{4} = 2.35 \text{ cm}^2$
- Hod s =            cm

SPOJNA SCHEMA



IZMJERENE VELIČINE

| 4/2-<br>upravljački<br>ventil | Cilindar            | Tlak<br>$P_1$<br>(bar) | Vrijeme<br>$t$<br>(s) | Sila <sup>*3</sup><br>$F = A \cdot p_1$<br>$\left( \text{cm}^2 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} = \text{daN} \right)$ | Izračunata<br>vrijednost<br>brzine<br>$v = \frac{s}{t}$<br>(cm/s) | Protok<br>$Q = v \cdot A$<br>$\left( \frac{\text{cm}}{\text{s}} \cdot \text{cm}^2 = \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \right)$ |
|-------------------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| a                             | uvučeni<br>položaj  | *1                     | -                     | $F = A_2 \cdot p_2$<br>=                                                                                                  | -                                                                 | -                                                                                                                         |
| b                             | izvlačenje          | *2                     |                       | $F = A_1 \cdot p_1$<br>=                                                                                                  | $v_1 =$<br>=                                                      | $Q = v_1 \cdot A_1$<br>=                                                                                                  |
| a                             | izvučeni<br>položaj | *1                     | -                     | $F = A_1 \cdot p_1$<br>=                                                                                                  | -                                                                 | -                                                                                                                         |
| b                             | uvlačenje           | *2                     |                       | $F = A_2 \cdot p_2$<br>=                                                                                                  | $v_2 =$<br>= <sup>*4</sup>                                        | $Q = v_2 \cdot A_2$<br>=                                                                                                  |

\*1 Tlak sustava (maks. dopušten tlak). Vidi napomene na listu 1.

\*2 Tlak u pokretu

\*3 Bez uzimanja u obzir protutlaka

\*4 Puna brzina uvlačenja nije postignuta, proradio je sigurnosni ventil ( $p_0$ )

REZULTATI: list 2.4

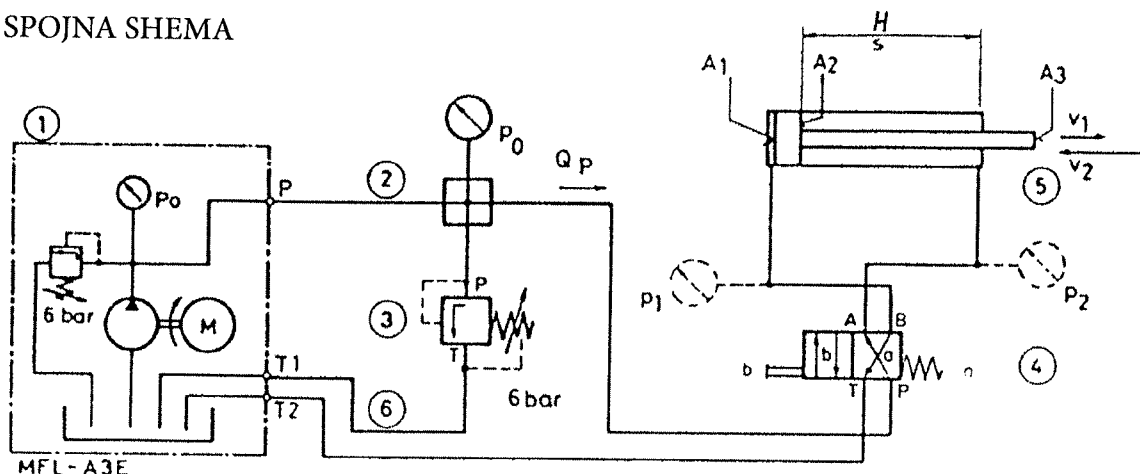


ZADATAK

- Omogućite izvlačenje i uvlačenje dvoradnog cilindra.
- Mjerite vremena kretanja i tlakove.
- Izračunajte maksimalne sile, brzine i protoke u oba smjera.
- Podaci cilindra:  $A_1 = 2^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 3.14 \text{ cm}^2$      $A_2 = (2^2 - 1^2) \cdot \frac{\pi}{4} = 2.35 \text{ cm}^2$

Hod s =            cm

SPOJNA SHEMA



IZMJERENE VELIČINE

| 4/2-<br>upravljajući<br>ventil | Cilindar            | Tlak<br>$p_1$<br>(bar) | Vrijeme<br>$t$<br>(s) | Sila <sup>*3</sup><br>$F = A \cdot p_1$<br>$\left( \frac{\text{cm}^2 \cdot \text{daN}}{\text{cm}^2} = \text{daN} \right)$ | Izračunata<br>vrijednost<br>brzine<br>$v = \frac{s}{t}$<br>(cm/s) | Protok<br>$Q = v \cdot A$<br>$\left( \frac{\text{cm}}{\text{s}} \cdot \text{cm}^2 = \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \right)$ |
|--------------------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| a                              | uvučeni<br>položaj  | <sup>*1</sup><br>6.8   | -                     | $F = A_2 \cdot p_2$<br>$= 2.35 \cdot 6.8 = 15.9$                                                                          | -                                                                 | -                                                                                                                         |
| b                              | izvlačenje          | <sup>*2</sup><br>3.6   | 1.9                   | $F = A_1 \cdot p_1$<br>$= 3.14 \cdot 3.6 = 11.3$                                                                          | $v_1 = 5.1 : 1.9$<br>$= 2.68$                                     | $Q = v_1 \cdot A_1$<br>$= 2.68 \cdot 3.14 = 8.4$                                                                          |
| a                              | izvučeni<br>položaj | <sup>*1</sup><br>6.8   | -                     | $F = A_1 \cdot p_1$<br>$= 3.14 \cdot 6.8 = 21.3$                                                                          | -                                                                 | -                                                                                                                         |
| b                              | uvlačenje           | <sup>*2</sup><br>5     | 2                     | $F = A_2 \cdot p_2$<br>$= 2.35 \cdot 5 = 11.7$                                                                            | $v_2 = 5.1 : 2$<br>$= 2.55$ <sup>*4</sup>                         | $Q = v_2 \cdot A_2$<br>$= 2.55 \cdot 2.3 = 5.99$                                                                          |

<sup>\*1</sup> Tlak sustava (maks. dopušten tlak). Vidi napomene na listu 1.

<sup>\*2</sup> Tlak u pokretu

<sup>\*3</sup> Bez uzimanja u obzir protutlaka

<sup>\*4</sup> Puna brzina uvlačenja nije postignuta, proradio je sigurnosni ventil ( $p_0$ )

