

# Sustav za blokiranje položaja hidrauličkog kormila

---

**Polić, Filip**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

*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:187:689866>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-23**



**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](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET U RIJECI**

**FILIP POLIĆ  
SUSTAV ZA BLOKIRANJE POLOŽAJA HIDRAULIČKOG  
KORMILA**

**ZAVRŠNI RAD**

Rijeka, 2021.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET U RIJECI**

**SUSTAV ZA BLOKIRANJE POLOŽAJA HIDRAULIČKOG  
KORMILA**

**HYDRAULIC STEERING POSITION LOCKING SYSTEM**

**ZAVRŠNI RAD**

Kolegij: Brodska hidraulika i pneumatika

Mentor: Mr. sc. Rikard Miculinić

Student: Filip Polić

Studijski smjer: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0242025254

Rijeka, lipanj, 2021.

Student/studentica: FILIP POZIC

Studijski program: Preddiplomski studij - Brodostrojarsstvo

JMBAG: 0242025254

#### IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom

SUSTAV ZA BLOKIRANJE POLOZAJA HIDRAULIČKOG KORMILA  
(naslov završnog rada)

izradio/la samostalno pod mentorstvom

Mr. sc. Rikard Miculinić  
(prof. dr. sc. / izv. prof. dr. sc. / doc dr. sc. Ime i Prezime)

te komentorstvom \_\_\_\_\_

stručnjaka/stručjakinje iz tvrtke \_\_\_\_\_  
(naziv tvrtke).

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

Suglasan/na sam s trajnom pohranom završnog rada u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci te Nacionalnom repozitoriju Nacionalne i sveučilišne knjižnice.

Za navedeni rad dozvoljavam sljedeće pravo i razinu pristupa mrežnog objavljivanja:  
(zaokružiti jedan ponuđeni odgovor)

- ☒ a) rad u otvorenom pristupu
- b) pristup svim korisnicima sustava znanosti i visokog obrazovanja RH
- c) pristup korisnicima matične ustanove
- d) rad nije dostupan

Student/studentica

*F. Pozic*  
(potpis)

Ime i prezime studenta/studentice

FILIP POZIC

## SAŽETAK

U ovom Završnom radu prikazani su i sustavno pojašnjeni temeljni principi hidraulike, hidrauličkog prijenosa snage te važnije komponente hidrauličkog sustava. Iako su hidraulički kormilarski uređaji bili u uporabi već početkom 20. stoljeća svoju punu primjenu u dvojnosti s elektromehaničkim sustavima započinje pedesetak godina kasnije.

Primjenom žiro kompasa omogućena je automatizacija upravljanja brodskim kormilarskim uređajima uvođenjem auto pilota, kao funkcionalnog navigacijskog pomagala. Usavršavanjem hidrauličkih kormilarskih uređaja, klipnih a napose rotacijskih te unaprjeđenjem kvalitete fluida, cjevovoda te izvršnih hidrauličkih elemenata omogućeno je sigurno i pouzdano upravljanje brodskim kormilarskim uređajima pri čemu je blokiranje kormila u zadanom kursu zahvalno pomagalo u oceanskoj navigaciji.

Ključne riječi: hidraulika, hidrauličke komponente , hidraulični sustavi, kormilarski sustav, blokirajući ventil

## SUMMARY

In this Final Paper, the basic principles of hydraulics, hydraulic power transmission and more important components of the hydraulic system are presented and systematically explained. Although hydraulic steering devices were in use as early as the beginning of the 20th century, their full application in duality with electromechanical systems began some fifty years later.

The application of the gyro compass enabled the automation of the control of ship's steering devices by introducing the autopilot, as a functional navigation aid. The improvement of hydraulic steering devices, piston and especially rotary and improving the quality of fluids, pipelines and executive hydraulic elements enabled safe and reliable control of marine steering devices, while blocking the rudder in a given course has gratefully helped in ocean navigation.

Keywords: hydraulics, hydraulic components, hydraulic systems, steering system, steering blocking valve

# Sadržaj

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. UVOD .....</b>                                                            | <b>1</b>  |
| <b>2. TEMELJNI PRINCIPI HIDRAULIKE.....</b>                                     | <b>2</b>  |
| 2.1 Hidrostatika .....                                                          | 2         |
| 2.1.1 Tlak u tekućinama .....                                                   | 3         |
| 2.1.2 Princip pretvorbe sile .....                                              | 3         |
| 2.1.3 Princip pretvorbe tlaka .....                                             | 4         |
| 2.2 Hidrodinamika.....                                                          | 5         |
| 2.2.1 Princip kontinuiteta .....                                                | 5         |
| 2.2.2 Bernoullijev princip.....                                                 | 6         |
| 2.3 Način strukturiranja hidrostatskog sustava .....                            | 8         |
| <b>3. HIDRAULIČKI PRIJENOS SNAGE .....</b>                                      | <b>10</b> |
| 3.1.1 Princip rada hidrostatskih prijenosnika .....                             | 10        |
| 3.1.2 Prednosti i nedostaci hidrostatskih prijenosnika .....                    | 12        |
| <b>4. KOMPONENTE HIDRAULIČKOG SUSTAVA .....</b>                                 | <b>13</b> |
| 4.1 Hidraulički fluidi .....                                                    | 13        |
| 4.2 Hidrostatski strojevi .....                                                 | 15        |
| 4.2.1 Pumpe.....                                                                | 15        |
| 4.2.1.1 Zupčaste pumpe .....                                                    | 16        |
| 4.2.2 Vijčane pumpe.....                                                        | 17        |
| 4.2.3 Krilne pumpe.....                                                         | 18        |
| 4.2.4 Klipne pumpe .....                                                        | 19        |
| 4.2.5 Hidraulički motori - aktuatori .....                                      | 21        |
| 4.3 Ventili.....                                                                | 24        |
| 4.3.1 Tlačni ventili .....                                                      | 24        |
| 4.3.2 Protočni ventili .....                                                    | 25        |
| 4.3.3 Razvodni ventili .....                                                    | 26        |
| 4.3.4 Servo razvodnici.....                                                     | 28        |
| 4.4 Hidraulička oprema .....                                                    | 29        |
| 4.4.1 Izmjenjivači topline hidrauličkog sustava.....                            | 30        |
| 4.4.2 Hidraulički akumulatori .....                                             | 31        |
| <b>5. RJEŠENJA ZA BLOKIRANJE IZVRŠNIH ELEMENATA (POLOŽAJA KORMILA)</b><br>..... | <b>33</b> |
| 5.1 Kormilarski uređaj.....                                                     | 33        |
| 5.1.1 Klipni hidraulički kormilarski uređaj .....                               | 35        |
| 5.1.2 Rotacijski hidraulički kormilarski stroj .....                            | 37        |
| 5.2 Sustavi za blokiranje položaja kormila .....                                | 38        |
| 5.2.1 <i>Namjerno blokiranje kormila</i> .....                                  | 39        |

|                                                                |           |
|----------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.2.2 Blokiranje položaja kormila zbog potreba navigacije..... | 40        |
| <b>6. ZAKLJUČAK.....</b>                                       | <b>42</b> |
| <b>LITERATURA .....</b>                                        | <b>43</b> |
| <b>POPIS TABLICA.....</b>                                      | <b>44</b> |
| <b>POPIS SLIKA.....</b>                                        | <b>44</b> |

# 1. UVOD

Iako brojni autori navode korištenje praktičnih rješenja iz područje hidrodinamike koja datiraju još iz doba prethistorije (veslanje, jedrenje, gradnja nasipa, navodnjavanje i sl.) prvi zapisi vezani uz hidrodinamiku potječu iz Stare Grčke (Aristotel, Arhimed). Tek petnaestak stoljeća kasnije te spoznaje koriste i pojašnjavaju Da Vinci, Galilei, Toricelli te poslije Decartes, Pascal, Bernoulli i mnogi dugi znanstvenici. Ipak, prvi upotrebljiv radijalno-klipni stroj razvio je 1910. Hele Shaw, da bi Thoma 1930. godine napravio prvu aksijalno-klipnu pumpu s nagnutim bubnjem, kod koje se sinkronizacija gibanja s pogonskog vratila na cilindarski blok ostvarila pomoću kardanskog vratila. Prvobitni medij bila je voda koja je zbog korozivnih svojstava zamijenjena uljem. Početkom Drugog svjetskog rata 1940. godine u Americi, Njemačkoj i Engleskoj su prema Thoma-principu rađene aksijalno-klipne pumpe u velikim serijama, a uvedena su i poboljšanja u odnosu na prvotnu konstrukciju. Pumpe koje rade na principu Thoma i danas su najzastupljenije u hidrostatskim sustavima, a uz brojna konstrukcijska i tehnološka poboljšanja dostižu tlakove preko 400 bara.

Nakon Drugoga svjetskog rata započinje nagli razvoj svih hidrauličkih strojeva, ventila i elemenata. Zapčinje njihova masovna proizvodnja, što je potaklo i razvitak normi u tom području. Počelo je ubrzano uvođenje hidrostatskih uređaja u sve grane tehnike a svoju praktičnu primjenu hidraulički strojevi pronašli su u gotovo svim industrijskim i građevnim područjima ljudske djelatnosti pa tako i u pomorstvu. Na brodovima su prisutni u gotovo svim brodskim sustavima koji iziskuju hidraulički prijenos snage.

Sukladno naslovu teme, ***Sustav za blokiranje položaja hidrauličkog kormila***, u ovom se Završnom radu, nakon razmatranja temeljnih principa hidraulike i hidrauličkog prijenosa snage, detaljnije analiziraju komponente hidrauličkog sustava, kormilarskog uređaja te rješenja za blokiranje njegovih izvršnih elemenata.

***Svrha*** ovog završnog rada je upoznati se mogućnostima primjene hidrostatskih prijenosnika i njihove primjene pri održavanju broskog kormila u zadanom položaju.

***Ciljevi*** istraživanja su: sagledati temeljne principe hidraulike i hidrauličkog prijenos snage, analizirati komponente hidrauličkog sustava te ukazati na moguća rješenja blokiranja izvršnih elemenata hidrauličkog kormilarskog uređaja.

Temeljna postavka ovog završnog rada je činjenica da su hidraulički uređaji sastavnice sigurnog funkcioniranja i upravljanja brodom.

## **2. TEMELJNI PRINCIPI HIDRAULIKE**

Hidraulika kao područje znanosti dio je općenitije discipline, koju se moguće prevesti kao prijenos snage fluidima (engl. Fluid Power). Neznatna stlačivost tekućina jedna je od glavnih karakteristika, koja se koristi u fizikalnim zakonima hidraulike. Svi zakoni hidrostatike i hidrodinamike, kojima se tumače pojave u pretvaračima energije (pumpe i hidromotori) te zakoni ravnoteže i strujanja tekućina u cijevima i prolazima, primjenjivi su u hidraulici.

### **2.1 Hidrostatika**

Hidrostatika se naziva još statika tekućina jer se bavi ponašanjem tekućina u mirovanju. Za razliku od čvrstih tijela, molekule tekućina imaju svojstvo velike pokretljivosti. Za njihovo pokretanje dovoljne su neznatne sile. Tekućine ne podnose gotovo nikakvo naprezanje na smicanje, zbog čega im je modul smicanja praktički jednak nuli.

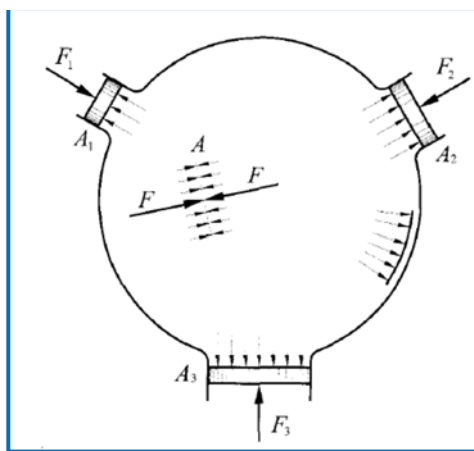
Zbog spomenutih činjenica tekućine ne mogu održavati svoj oblik, već zauzimaju oblik posude u kojoj se nalaze. U posudi tekućina dolazi u stanje mirovanja bez ikakvoga naprezanja na smicanje: djelovanje tekućine na posudu je uvijek okomito na stijenke posude, a komponente sila paralelnih sa stijenkom jednake su nuli.

Molekule tekućina stalno se kreću u svim pravcima, pa se tlak na stijenke posude tumači udarom molekula o stijenke. Komponente sila, koje leže u ravnini stijenci, međusobno su uravnotežene. Okomite komponente sila neće se kompenzirati, budući da su udari u stijenu samo s jedne strane. Prema III. Newtonovu zakonu djelovanja sila su međusobna, odnosno tekućina djeluje okomito na stijenu, ali isto tako i stijenska na tekućinu, samo u suprotnom smjeru [1].

Pokretljivost molekula nije ista kod svih tekućina. Voda i alkohol naprimjer teku mnogo lakše negoli ulja. Ovo se tumači time što je za pokretanje jednog sloja molekula po drugom potrebna izvjesna sila. Kod vode i alkohola ta je sila znatno manja negoli kod ulja. Takvo se svojstvo tekućina naziva viskoznost (unutarnje trenje). Kod nekih se teorijskih razmatranja viskoznost zanemaruje, pa se takve tekućine nazivaju idealnima.

### 2.1.1 Tlak u tekućinama

Prema svojstvu tekućina da na stijenke posuda djeluju uvijek okomito, može se zaključiti da sile moraju imati različite pravce ako je stijenka zakrivljena. Ako to vrijedi za djelovanje tekućine na stijenke, vrijedit će i za međusobno djelovanje između dijelova tekućine koje graniče s nekom površinom. Ako se zamisli neka površina unutar tekućine (Slika 2.1 ), i za nju će vrijediti pravilo da će njihovo međusobno djelovanje biti okomito na graničnu površinu. Kako se granična površina može postaviti u bilo kojem pravcu, može se zaključiti da se te sile prenose kroz tekućinu u svim pravcima.



Slika 2-1. Horizontalni presjek cilindrične posude [2, p. 21]

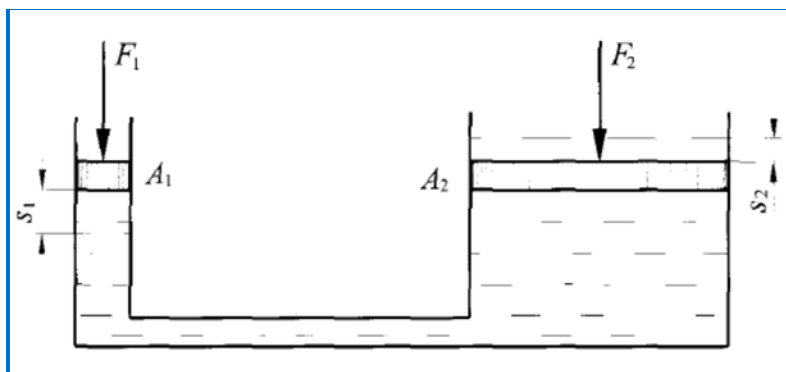
Na posudi su bočni cilindri s klipovima, a pretpostavlja se da se mogu kretati bez trenja. Ako se na klip površine  $A_1$  djeluje silom  $F$ , to će se djelovanje prenijeti kroz tekućinu u svim pravcima pa i na klipove površine  $A_2$  i  $A_3$ . Da bi klipovi bili u ravnoteži, potrebno je na njih djelovati silama  $F_2$  i  $F_3$ . Mjerenjem veličina sila dolazi se do relacije:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} = \frac{F_3}{A_3} = \rho \quad (1)$$

Stalni omjer između okomite sile i površine na koju djeluje sila naziva se tlak. Može se reći: *Narinuti se tlak prenosi kroz tekućinu podjednako u svim smjerovima. Taj je zakon poznat pod imenom **Pascalov zakon**.*

### 2.1.2 Princip pretvorbe sile

Princip pretvorbe sile kao osnove hidrostatskog prijenosa snage pojašnjava se principom hidrauličke preše.



Slika 2-2. Princip hidrauličke preše [2, p. 15]

Iz relacije (1) proizlazi da je:

$$F_1 : F_2 = A_1 : A_2 \quad (2)$$

Ako se omjer površina klipova  $A_1:A_2$  učini velikim, to znači da se na osnovi zakona o prenošenju tlaka, djelovanjem sile  $F_1$  na klip površine  $A_1$ , može proizvesti vrlo velika sila  $F_2$  na klipu površine  $A_2$ . Takvo svojstvo koristi se kod hidrauličke preše, pomoću koje se može proizvesti vrlo velika sila djelovanjem vrlo male sile. Iz omjera (2) proizlazi

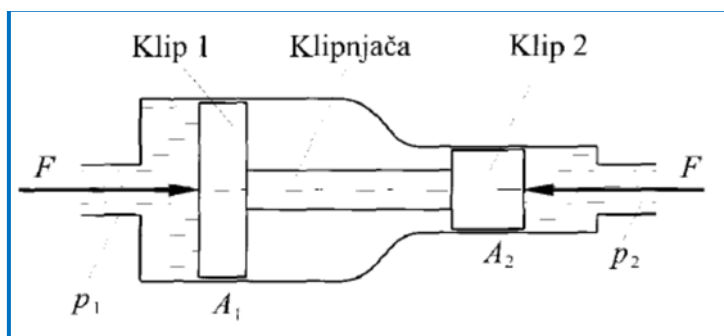
$$F_2 = F_1 \frac{A_2}{A_1} \quad (3)$$

Pomoću jednadžbe (3) može se definirati princip pretvorbe sile u preši: *Koliko je puta površina klipa  $A_2$  veća od površine klipa  $A_1$ , toliko će puta biti povećanje sile  $F_2$  u odnosu na silu  $F_1$ .*

Princip rada hidrauličke preše je ujedno i osnovni ,princip rada hidrostatskog prijenosnika snage.

### 2.1.3 Princip pretvorbe tlaka

Princip pretvorbe tlaka prikazan je na narednoj slici



Slika 2-3. Princip pretvorbe tlaka

Klipovi 1 i 2, s površinama poprečnih presjeka  $A_1$  i  $A_2$ , međusobno su spojeni klipnjačom. Gibaju se bez trenja i bez volumetričkih gubitaka. Djeluje li na površinu  $A_1$  tlak  $p_1$ , na klipnjači se proizvede sila  $F = p_1 A_1$  koja će se prenijeti i na površinu  $A_2$ . Kako je:

$$F = p_1 A_1 = p_2 A_2 \quad (4)$$

tada je:

$$p_2 = p_1 \frac{A_1}{A_2} \quad (5)$$

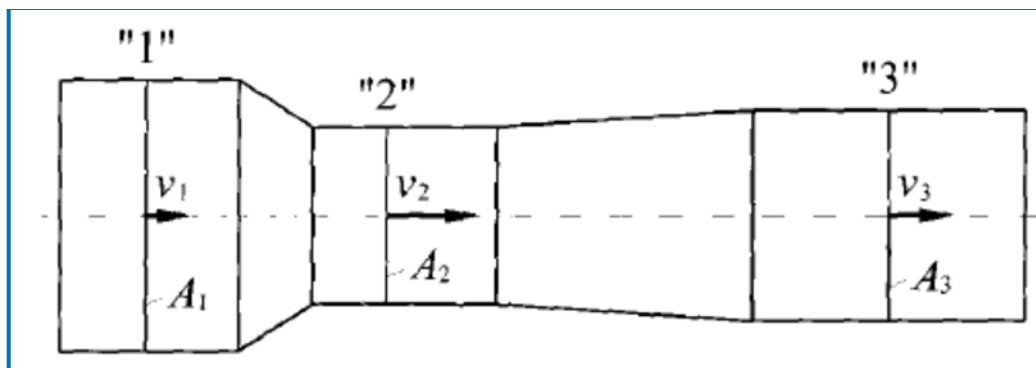
Primjerice kada bi površina  $A_1$  bila dvostruko veća od površine  $A_2$ , tada bi tlak  $p_2$  bio dvostruko viši od tlaka  $p_1$ .

## 2.2 Hidrodinamika

Proces kretanja tekućine vrlo je kompliciran, te se tumači s više ili manje pretpostavki, koje olakšavaju analizu. Kao prvo, pretpostavlja se da je tekućina nestišljiva. Druga je pretpostavka da je strujanje stacionarno (vremenski ustaljeno), što znači da je unutar toka u pojedinim točkama brzina ista za sve čestice koje naiđu. Linije duž kojih se čestice kreću nazivaju se strujnice, a u pojedinim točkama brzina čestice je tangenta na strujnicu. Treća je pretpostavka da struji idealni fluid tj. fluid kod kojeg nema unutarnjeg trenja odnosno viskoznosti. Osnovni principi dinamike fluida u nastavku se detaljnije razmatraju.

### 2.2.1 Princip kontinuiteta

Jednadžba kontinuiteta drugi je naziv za zakon o održanju mase. Prema slici 2.4, tekućina struji u cijevi s promjenjivim poprečnim presjekom [2, p. 22]



Slika 2-4. Konstanti volumenski protok - nestišljiv fluid [2, p. 22]

Ako prilikom strujanja nestišljivog fluida kroz presjeke 1, 2 i 3 nema nikakvih gubitaka, tada za masene protoke vrijedi:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_3 = \dot{m} \quad (6)$$

ako je:

$$\dot{m} = Q\rho = Av\rho \quad (7)$$

tada je:

$$A_1v_1\rho_1 = A_2v_2\rho_2 = A_3v_3\rho_3 \quad (8)$$

Tekućine, u koje spadaju i hidraulička ulja, neznatno se sabijaju, pa se može reći da je:

$$\rho_1 \approx \rho_2 \approx \rho_3 \quad (9)$$

Na temelju nepromjenjivosti gustoće, dolazi se do jednadžbe kontinuiteta

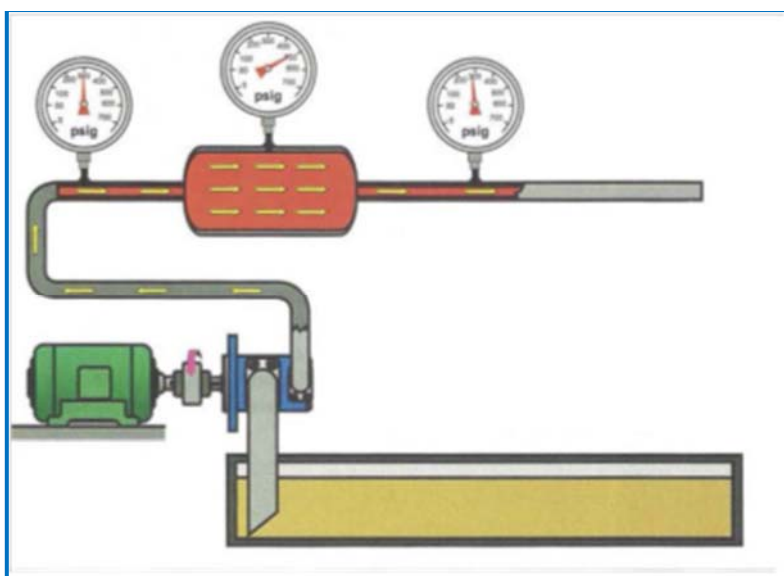
$$A_1v_1 = A_2v_2 = A_3v_3 = \text{konstanta} \quad (10)$$

Prema tome, *tekućina se ubrzava u smjeru suženja cijevi odnosno smanjuje joj se brzina u smjeru proširenja cijevi*

### 2.2.2 Bernoullijev princip

Hidraulična tekućina u radnom sustavu zadržava energiju u dva oblika: kinetičku energiju zahvaljujući težini i brzini tekućine i potencijalnu energiju u obliku tlaka. Daniel Bemoulli, švicarski znanstvenik, pokazao je da se u sustavu s konstantnom brzinom protoka energija transformira iz jednog oblika u drugi svaki put kad se promijeni veličina presjeka cijevi. Kao

što je prikazano na slici 2-5, kada se površina poprečnog presjeka strujnice poveća, brzina (kinetička energija) tekućine se smanjuje. Bemoullijev princip kaže da ako je brzina protoka konstantna, zbroji kinetičke energije i energije pritiska na različitim točkama u sustavu moraju biti konstantni. Stoga, ako se kinetička energija smanji, to rezultira povećanjem tlačne energije. Ova transformacija energije iz jedne vrste u drugu održava zbroj dviju energija konstantnom. Isto tako, kada se površina presjeka putanje protoka smanji, povećanje kinetičke energije (brzine) proizvodi odgovarajuće smanjenje energije pritiska.



Slika 2-5. Bernoullijev princip [3, p. 37]

Bernoullijeva jednadžba je jedna od najviše korištenih jednadžbi u mehanici fluida iz razloga što se najveći dio problema iz prakse može svesti na stacionarno strujanje u polju sile teže. Nastala je iz Eulerove jednadžbe za idealni fluid, pri čemu se zanemaruje stlačivosti fluida te pretpostavlja konstantna gustoća. Bernoullijevom se jednadžbom rješavaju slučajevi u mehanici fluida kada se strujanje fluida može promatrati kao kvazi-jednodimenzionalno.

Bernoullijeva jednadžba u energetskom obliku glasi:

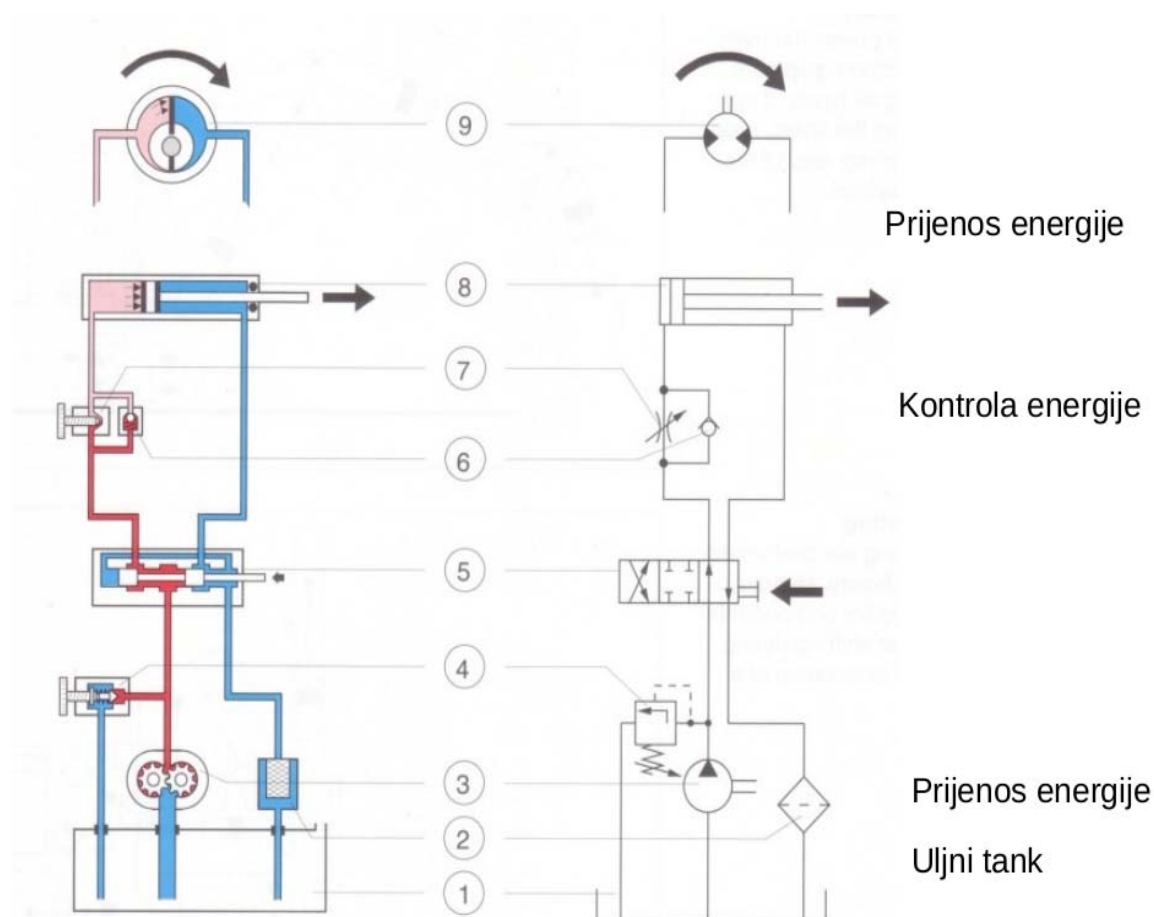
$$v^2 + gh + \frac{p}{\rho} = konst \quad (11)$$

Bemoullijeva jednađžba koja opisuje zakon očuvanja energije za nestlačivi fluid, u proračunima hidrostatskih sustava zanemaruje komponentu energije položaja, te Bernoullijeva jednađžba dobiva oblik:

$$\frac{\rho v^2}{2} + p = konst \quad (12)$$

## 2.3 Način strukturiranja hidrostatskog sustava

Na slici 2.6 prikazan je princip strukturiranja jednoga hidrostatskog sustava [2, p. 8]. S lijeve strane slike prikazani su pojedini ugradni elementi hidrostatskog sustava u obliku presjeka, dok su s desne strane ti isti elementi prikazani uz pomoć normiranih simbola prema DIN-ISO 1219-1:2012 [4].



**Slika 2-6. Princip strukturiranja hidrostatskog sustava [2, p. 8]**

1. Spremnik / Tank, 2. Filter / Filter, 3. Pumpa / Pump, 4. Regulacijski ventil / Pressure relief valve, 5. Razvodni ventil / Direction control valve, 6. Nepovratni ventil / Check valve, 7. Regulator protoka / Flow-control valve, 8. Cilindar / Cylinder, 9. Hidraulički motor / Hydraulic motor

Iz spremnika ulja (1) pumpa (3) (ovdje zupčasta pumpa) usisava ulje pretvarajući dobivenu mehaničku energiju u hidrauličku energiju. Ona se pojavljuje na tlačnom priključku pumpe uglavnom kao tlačna energija u struji ulja. Od pumpe struja ulja dopijeva preko desnog položaja razvodnog ventila (5) te prigušnog ventila (7) na klipnu stranu cilindra (8): klipnjača izlazi, a ulje koje se nalazi na strani klipnjače cilindra izlazi preko razvodnog ventila i filtra (2) natrag u spremnik ulja. Kod toga smjera kretanja nepovratni ventil (6) je zatvoren; na zaporni element djeluje tlak koji proizvodi pumpa. Za povrat klipnjače razvodni ventil mora biti u lijevom položaju. U tom slučaju pumpa šalje struju ulja na stranu klipnjače cilindra: klipnjača ulazi, a ulje sa strane klipa preko otvorenoga nepovratnog ventila odlazi u spremnik.

Zadatak razvodnog ventila je upravljanje smjerom tijeka ulja, odnosno da prema potrebi osigurava uvlačenje odnosno izvlačenje klipnjače cilindra. Pri tome je tlak koji proizvodi pumpa ovisan o opterećenju na klipnjači. Ventil za ograničenje tlaka (4) reguliran je na maksimalni dopušteni tlak hidrauličkog sustava. Ako se u sustavu pojavi tlak veći od dopuštenog, ventil se otvara, a dio struje ulja vraća se u spremnik. Daljnji porast proizvedenog tlaka na tlačnom priključku pumpe time je spriječen. Ventil za ograničenje tlaka je dakle sigurnosni ventil hidrostatskog sustava. Prigušnim se ventilom, u kombinaciji s ventilom za ograničenje tlaka, cilindru regulira količina odaslanog ulja u cilindar, i na taj se način utječe na brzinu gibanja klipa.

Ako se uz pomoć regulacijskog vijka na prigušnom ventilu smanji poprečni presjek prigušnice, doći će između tlačnog priključka pumpe i prigušnice do povećanja razlike tlaka. Dostigne li tlak (daljnjim smanjenjem poprečnog presjeka prigušnice) onaj na koji je reguliran ventil za ograničenje tlaka - maksimalno dozvoljeni za hidrostatski sustav - ventil za ograničenje tlaka se otvara, pri čemu samo dio od ukupno odaslanog ulja iz pumpe dolazi do cilindra; preostali dio, preko ventila za ograničenje tlaka, struji natrag u spremnik.

Rezultat toga je smanjenje brzine gibanja klipa, koja je ovisna o površini klipa te o protoku ulja koji uđe u cilindar. Kao alternativa cilindru prikazan je hidromotor, kod kojeg je izlazno gibanje rotacijsko.

### 3. HIDRAULIČKI PRIJENOS SNAGE

Hidraulički prijenosnici snage su uređaji koji koriste tekućinu kao medij za pretvorbu i prijenos energije. Dijele se u dvije grupe: hidrodinamičke i hidrostatske, a prema tome koji im je princip pretvorbe energije dominantan.

#### 3.1.1 Princip rada hidrostatskih prijenosnika

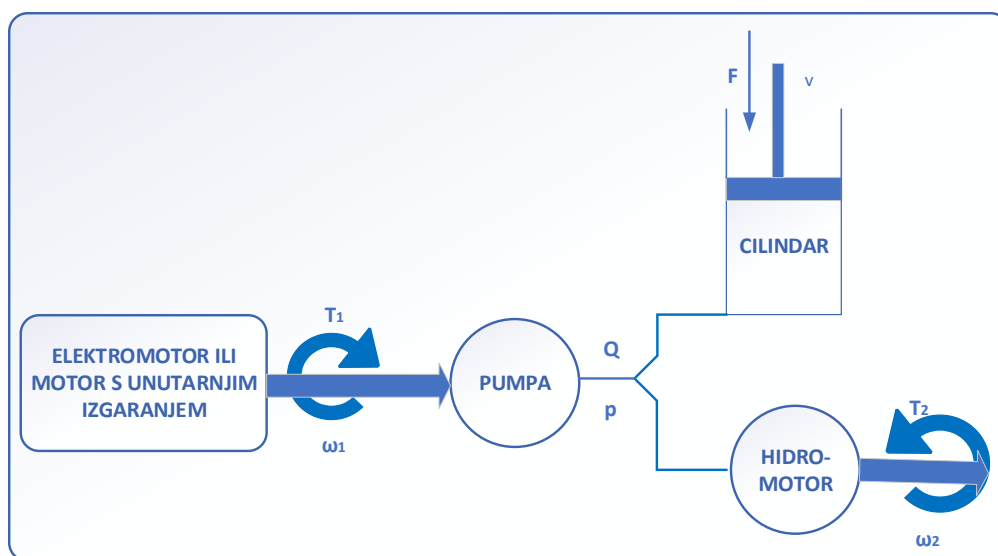
Sustavi koji rade na principima hidrostatike nazivaju se hidrostatski prijenosnici. Mehaničku energiju (snagu) koju dobije pumpa od pogonskog motora pretvara u energiju tlaka radne tekućine. Ta se energija predaje hidromotoru koji je pretvara u mehaničku energiju te je u takvu obliku predaje radnom stroju. Takav način pretvorbe energije (snage) u hidrostatskih prijenosnika prikazanje na slici 3.1.

U hidrostatskim sustavima dva su uređaja pretvarači energije: pumpa i hidromotor. Pumpa dobiva mehaničku energiju od pogonskog motora (elektromotor ili motor s unutarnjim izgaranjem). Pri tome je pumpi predana snaga:

$$P_{meh} = T_1 \omega_1 \quad (13)$$

Dobivenu mehaničku energiju pumpa pretvara u energiju tlaka radne tekućine, te tako proizvodi hidrauličku snagu u obliku:

$$P_{hidro} = p \cdot Q \quad (14)$$



Slika 3-7. Shema prijenosa snage hidrostatskih prijenosnika snage [2, p. 5]

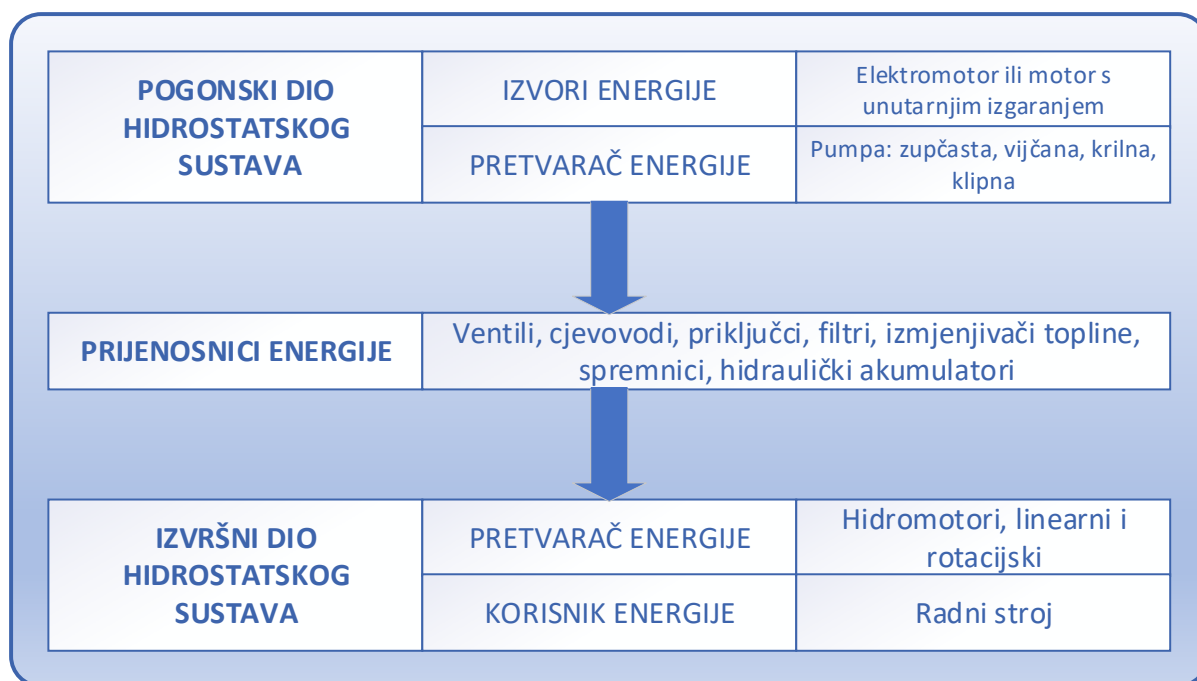
Energija tlaka radne tekućine prenosi se putem cjevovoda i upravljačkih elemenata do hidromotora. Hidromotor energiju tlaka radne tekućine pretvara u mehaničku energiju. Ako je hidromotor rotacijski, izlazna mehanička snaga je:

$$P_{meh} = T_2 \omega_2 \quad (15)$$

a u slučaju linearnog hidromotora (hidrocilindar), izlazna mehanička snaga je:

$$P_{meh} = Fv \quad (16)$$

Svi ostali uređaji u hidrostatskim sustavima služe samo za prijenos energije, ali ne i za pretvorbu energije. Principijelna blok-shema uređaja od kojih je sastavljen svaki hidrostatski sustav prikazana je narednom blok shemom.



**Slika 3-8. Blok-shema hidrostatskog prijenosnika snage**

Opterećenje na klipu ili vratilu hidromotora manifestira se kao otpor njihovoj gibanju. Reakcija na porast opterećenja je porast tlaka u sustavu. Teorijski, pumpa može dati beskonačno velik tlak, ali je zbog konstrukcijskih karakteristika elemenata u sustavu on ograničen.

### 3.1.2 Prednosti i nedostaci hidrostatskih prijenosnika

Da bi se za hidrostatski sustav procijenilo je li u danoj situaciji bolje rješenje od nekog drugog sustava za prijenos snage, potrebno je poznavati njegove prednosti, ali i njegove nedostatke.

**Tablica 3-1. Prednost i nedostaci hidrostatskih prijenosnika**

| <b>PREDNOSTI HIDROSTATSKIH SUSTAVA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>NEDOSTACI HIDROSTATSKIH SUSTAVA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>➤ Prijenos energije na velike udaljenosti od izvora</li><li>➤ Uređaji imaju malu masu u odnosu na snagu koju prenose jer se radi s visokim tlakovima</li><li>➤ Zbog male mase rotirajućih dijelova mali su momenti inercije, zbog čega je</li><li>➤ Dovoljno kratko vrijeme za postizanje maksimalne brzine ili promjene smjera vrtnje hidromotora</li><li>➤ Jednostavna je pretvorba rotacijskog u pravocrtno gibanje i obrnuto</li><li>➤ Rotacijskim je motorima moguće osigurati kontinuiranu promjenu brzine</li><li>➤ Jednostavna kontrola parametara prijenosa snage: manometri, termometri i mjerači protoka ugrađuju se pomoću priključaka izravno na uređaje, cjevovode i priključke</li><li>➤ Jednostavna zaštita od preopterećenja uz pomoć ventila za ograničenje tlaka</li><li>➤ Moguća automatizacija rada sustava</li><li>➤ Velika brzina prijenosa impulsa tlaka zbog neznatne stlačivosti radne tekućine</li><li>➤ Velika mogućnost razmještanja komponenata u sustavu, budući da se jednostavno spajaju cijevima i priključcima.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>➤ Mogući veliki hidraulički gubici ako su loše izvedene instalacije, te volumetrički gubici zbog povećanja temperature radne tekućine ili loše izvedenog brtvljenja u instalaciji</li><li>➤ Promjena viskoznosti hidrauličke tekućine s promjenom temperature i tlaka</li><li>➤ Osjetljivost na nečistoće, zbog finih dosjeda između pokretnih dijelova hidrostatskih uređaja</li><li>➤ Opasnost od zapaljenja</li><li>➤ Izbor komponenti mora biti iz standardnog programa renomiranih proizvođača jer u suprotnom cijene neproporcionalno rastu zbog visokih proizvodnih zahtjeva.</li></ul> |

Iz priložene tablice u kojoj su navedene uočene prednosti i nedostaci zaključuje se kako u tehnici ne postoji sustav koji je savršen, ali zato postoji sustav koji je u [2, p. 7]: „u danoj situaciji iz nekog razloga bolji od drugih“.

## 4. KOMPONENTE HIDRAULIČKOG SUSTAVA

Osnovne komponente hidrauličkog sustava čine: *1) hidraulički fluidi, 2) hidraulički strojevi, 3) ventili i 4) hidraulička oprema.*

### 4.1 Hidraulički fluidi

Hidraulični pogonski mediji moraju udovoljiti određenim zahtjevima. Pravilan odabir i održavanje hidrauličnog fluida odlučujuće utječu na funkciju i pouzdanost hidrauličnog sustava, jer hidraulični fluid mora ispunjavati tri glavna zadatka: 1) prijenos energije od pumpe do hidromotora, 2) podmazivanje kliznih površina i 3) odvod topline.

Stoga se radni fluid hidrauličnog sustava treba odlikovati [5, p. 47]:

- mazivim svojstvima prilagođenim materijalima kliznih parova sustava,
- minimalnom ovisnošću viskoznosti o temperaturi i tlaku radnog područja radi izbjegavanja gubitka radnog tlaka i propuštanja,
- malom elastičnošću zasićenih para i visokom točkom ključanja kako pri dužoj eksploataciji ne bi isparile lako isparljive komponente i kako ne bi došlo do zgušnjavanja fluida što bi uzrokovalo pojavu kavitacije kod pumpi,
- neutralnošću prema materijalima s kojima dolazi u dodir, niskom apsorpcijom zraka i sposobnošću njegova lakog izdvajanja budući da su zračni mjehurići uzrok pada kompresibilnosti fluida, a time i lošijeg prijenosa energije,
- visokom otpornošću prema mehaničkoj destruktiji i oksidaciji (nizak sadržaj kiselina) koji uzrokuju pojavu smolastog taloga i kristala,
- visokim volumskim modulom elastičnosti te visokim vrijednostima koeficijenata toplinske provodljivosti i specifičnoga toplotnog kapaciteta, a malom vrijednošću koeficijenta toplinskog širenja,
- visokim izolacijskim i dielektričnim kvalitetama,
- niskom sklonošću stvaranja pjene,
- niskom cijenom.

U pojedinim slučajevima postavlja se i zahtjev da hidraulični fluid bude i nezapaljiv, odnosno da ne bude uzrok požara ili medij za prenošenje požara. Kod takvog je fluida veoma važna i temperatura paljenja i samozapaljenja. Pritom se pod temperaturom paljenja razumijeva

minimalna temperatura pri kojoj se fluid upali od plamena prenijetog izvana na njegovu površinu, a pod temperaturom samozapaljenja podrazumijeva se temperatura na kojoj, pri određenom omjeru para fluida i zraka u zatvorenom prostoru, može doći do samozapaljenja te mješavine bez dodira s vanjskim plamenom.

Pri izboru veličine viskoznosti, vrlo je važan parametar i radni tlak, jer viši tlak zahtijeva i veću viskoznost. Tako, npr., u hidrauličnim sustavima koji su predviđeni za rad u stabilnim temperaturnim uvjetima, pri tlaku nižem od 70 bara, obično se upotrebljavaju ulja viskoznosti 2 do  $4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  ( $50^\circ\text{C}$ ), a pri tlaku od 200 bara isti doseže do  $6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  ( $50^\circ\text{C}$ ). U hidrauličnim sustavima s radnim tlakom visine 500-600 bara, viskoznost fluida dostiže vrijednost 11 do  $17,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  [5, p. 48].

Temperatura stinjavanja ulja trebala bi biti najmanje 10 - 17 °C niža od najniže temperature na kojoj hidraulični sustav djeluje. Kod vrlo niskih temperatura upotrebljavaju se i smjese glicerina i alkohola u omjeru 50% koje, međutim, imaju loša maziva i protukorozivna svojstva. U praksi ne postoji fluid koji bi ispunjavao sve te zahtjeve istodobno, te se zato odabire takav koji najbolje odgovara konkretnom slučaju primjene.

**Tablica 4-2. Klasifikacija hidrauličnih fluida prema standardu ISO 674314 [5, p. 49]**

| Simbol ISO | Sastav i određena svojstva                                                       |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| HH         | neinhibirano rafinirano mineralno ulje                                           |
| HL         | rafinirano mineralno ulje s dodatkom aditiva protiv oksidacije i korozije        |
| HM         | HL s poboljšanim svojstvima protiv trošenja                                      |
| HR         | HL ulja s dodatkom aditiva LV za poboljšavanje                                   |
| HV         | HM ulja s dodatkom aditiva LV za poboljšavanje                                   |
| HG         | HM ulja s antistick - slip svojstvima                                            |
| HS         | sintetski fluid sa svojstvima teško zapaljivosti                                 |
| HF         | opći simbol za teško zapaljive hidrauličke fluide                                |
| HFAE       | emulzije ulja i vode s najviše 20 % gorive materije                              |
| HFAS       | otopina kemikalija u vodi s najviše 20 % gorive materije                         |
| HFB        | emulzije ulja i vode s najviše 25 % gorive materije                              |
| HFC        | vodena otopina s najviše 20% gorive materije i aditivom za povećanje viskoznosti |
| HFD        | opći simbol za teško zapaljive fluide bez sadržaja vode                          |
| HFDR       | HFD temeljena esterima fosforne kiseline                                         |
| HFDS       | HFD temeljen na spojevima koji sadrže halogene elemente                          |
| HFDT       | mješavine HFDR i HFDS                                                            |
| HFDU       | teško zapaljivi fluidi drugog sastava                                            |

Prema međunarodnoj klasifikaciji, skupina fluida koja se primjenjuje u hidraulici označava se slovom H. Ostale slovne oznake označavaju određenu specifičnost primjene. Tako, npr.,

daljnje slovo L upućuje na prisutnost aditiva kojima se poboljšavaju određena svojstva, a daljnje slovo, npr. P, upućuje na to da će ovaj fluid, uz prethodna svojstva, imati i neka dodatna.

## **4.2 Hidrostatski strojevi**

Hidrostatski strojevi su pumpe i hidromotori. Pretvorba energije se obavlja, i kod pumpi i kod hidromotora tako da se gibanjem radnih elemenata mijenja volumen radnih komora. Stoga se hidrostatski strojevi nazivaju još volumetrički strojevi. Gibanja radnih elemenata, ovisno o konstrukciji stroja, mogu biti rotacijska, translacijska i rotacijsko-translacijska. Pri tome su radni elementi zupčanici, vijčanici, krilca i klipovi. Način rada strojeva definira se na pumpama.

### **4.2.1 Pumpe**

Osnovni je princip rada svih volumetričkih pumpi da se proces usisavanja radne tekućine i njezina tlačenja obavlja neprestanim gibanjem radnih elemenata. Radni elementi pri tome mijenjaju volumen radnih komora. U fazi povećanja volumena u radnoj se komori stvara podtlak u odnosu na spremnik, što rezultira ulaskom radne tekućine u komoru. Taj se dio procesa naziva usisavanje. Nastavkom gibanja radnog elementa volumen radne komore se smanjuje, pri čemu radni element svoju mehaničku energiju predaje radnoj tekućini u obliku energije tlaka. U toj se fazi radna tekućina potiskuje na tlačnom priključku pumpe. Taj se dio procesa naziva tlačenje. Po svojim geometrijskim karakteristikama, odnosno geometriji radnih komora, pumpe je specifični protok unaprijed definiran. Jedino u slučaju ako se volumen komora može mijenjati, tada se može govoriti o pumpi s reguliranim specifičnim protokom.

Inducirani tlak na tlačnom priključku pumpe ovisi o opterećenju na hidromotoru. Veličina toga tlaka teorijski nije ograničena. Ograničit će se, shodno konstrukcijskim karakteristikama pumpe i cijeloga hidrostatskog sustava, jedino ventilom za ograničenje tlaka, koji uvijek treba biti ugrađen na tlačnom vodu pumpe. Osnovna je podjela pumpi prema obliku radnih elemenata na [6, p. 56]: *1) zupčaste - radni elementi zupčanici, 2) vijčane - radni elementi vijčanici, 3) krilne - radni elementi krilca i 4) klipne - radni elementi klipovi.*

Narednom tablicom predočava se usporedba karakteristika pojedinih hidrauličkih pumpi i motora [7, p. 88].

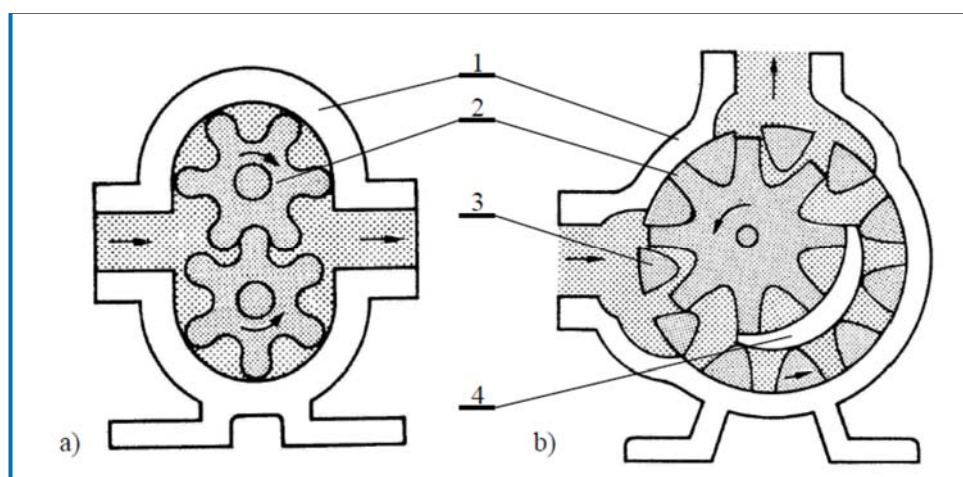
**Tablica 4-3. Karakteristike hidrauličkih pumpi i motora**

| Vrsta                     | Radni volumen [cm <sup>3</sup> ] | Radni tlak [MPa] | Maks. tlak [MPa] | Br. okretaja [o/min] | Koeficijent korisnog djelovanja | Buka [dB] |
|---------------------------|----------------------------------|------------------|------------------|----------------------|---------------------------------|-----------|
| Zupčasta                  | 12-                              | 6-16             | 20               | 500-3500             | 0,8-0,91                        | <87       |
| Sa zupčastim prstenom     | 63-                              | 20               | 25               | 25-1000              | 0,75-0,85                       | 81-85     |
| Vijčana                   | 4-630                            | 3-16             | 20               | 500-4000             | 0,7-0,84                        | <65       |
| Krilna                    | 5-160                            | 10-16            | 20-25            | 960-3000             | 0,8-0,93                        | 76-82     |
| Radijalna – vanjski eksc. | 5-160                            | 16-32            | 32               | 960-3000             | 0,8-0,9                         | 76-82     |
| Radijalna – unutr. eksc.  | 50-                              | 32-40            | 63               | 750-1500             | 0,87-0,95                       | <90       |
| Aksijalna – nag. ploča    | 25-                              | 16-32            | 40-48            | 750-8000             | 0,8-0,92                        | <85       |
| Aksijalna – nag. os       | 25-                              | 16-25            | 32               | 750-3000             | 0,82-0,93                       | <85       |

Izvor: [7, p. 88]

#### 4.2.1.1 Zupčaste pumpe

Kod zupčastih pumpi radni elementi su zupčanici. Jedan od njih je pogonski, a drugi pogonjeni. Promjena volumena radnih komora obavlja se rotacijskim gibanjem radnih elemenata. Te pumpe imaju konstantan specifični protok pa se stoga nazivaju konstante pumpe. Izvedbe zupčastih pumpi mogu biti s: a) vanjskim ozubljenjem i b) unutarnjim ozubljenjem kako je to predloženo narednom slikom



1 – stator, 2 – zupčanic, 3 – zupčanic s unutrašnjim ozubljenjem, 4 - pregrada

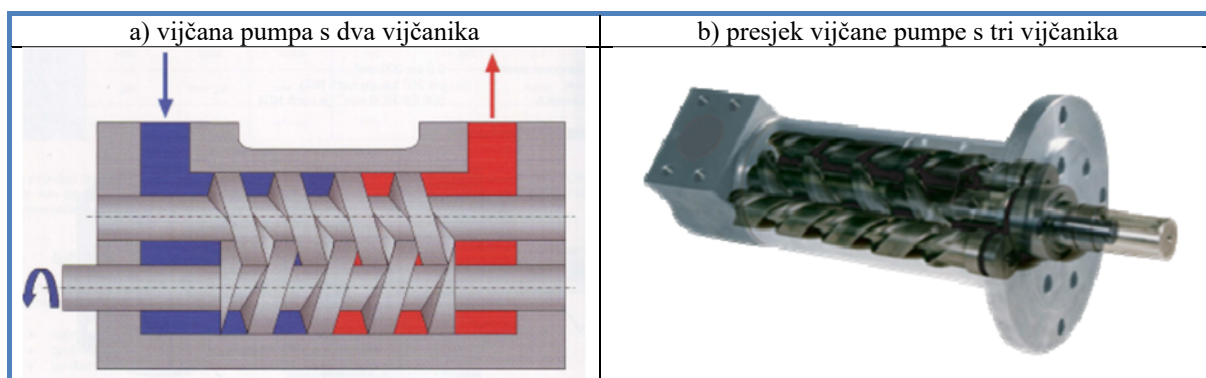
**Slika 4-9. Zupčasta pumpa s vanjskim (a) i unutarnjim (b) ozubljenjem [7]**

- a) Oba zupčanika s vanjskim ozubljenjem zatvorena su kućištem. Jedan od zupčanika spojen je s pogonskim vratilom pa je on pogonski, dok je drugi pogonjeni. Preko usisnog priključka ulazi radna tekućina u međuzublja zupčanika te se dalje transportira, smjer protoka radne tekućine ovisi o smjeru rotacije zupčanika;
- b) Način rada sličan je radu zupčaste pumpe s vanjskim ozubljenjem: radna tekućina struji preko usisnog priključka u usisnu komoru pumpe te se transportira preko međuzublja obaju zupčanika, a preko konture nepokretnog elementa u obliku srpa u tlačnu komoru.

Prednost zupčastih pumpi s unutarnjim ozubljenjem u odnosu na zupčaste pumpe s vanjskim ozubljenjem u tome je što su manjih gabarita, imaju manje pulzacije protoka i tlaka, te stvaraju manju buku u radu.

#### 4.2.2 Vijčane pumpe

Vijčane su pumpe dobile naziv po tome što su im radni elementi vijčanici. Jedna takva pumpa s tri vijčanika prikazana je na Slici 4.24 [9]. Radni elementi obavljaju rotacijsko gibanje. Te pumpe spadaju u grupu hidrostatskih strojeva kojima se specifični protok ne može mijenjati.



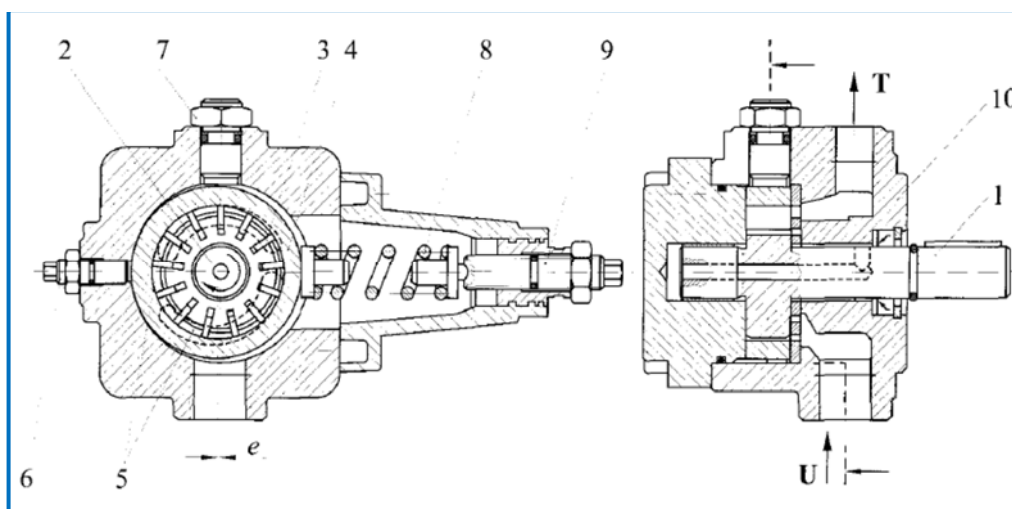
Slika 4-10. Vijčane pumpe [6, p. 79]

Karakteristično je za vijčane pumpe da imaju konstantan protok, male pulzacije tlakova te zbog toga pri radu ne stvaraju buku. Mogu se koristiti i za pogone s velikim brzinama vrtnje (do  $30.000 \text{ min}^{-1}$ ), zbog čega mogu dati velike protoke kod vrlo malih dimenzija. Vijčanim se pumpama mogu postići visoki tlakovi kao i kod zupčastih pumpi.

### 4.2.3 Krilne pumpe

Krilne pumpe proizvode se kao samousisne s konstantnom i promjenljivom dobavom. Sastoje se od statora, rotora i krilaca koja su umetnuta u žljebove usječene u rotoru. Centar rotora smješten je ekscentrično u odnosu na os statora za veličinu  $e$  čijom se promjenom regulira veličina dobave.

S pogonskim je vratilom čvrsto spojen rotor, u kojem su izvedeni radijalni prorezi, a u koje su umetnuta krilca. Rotacijom rotora te djelovanjem centrifugalne sile krilca izlaze i naslanjaju se na površinu odzivne staze statora. Os je statora u odnosu na os rotora pomaknuta za ekscentričnost  $e$ . To je razlog zašto se, rotacijom rotora, radnim komorama volumen povećava i smanjuje. Veličina ekscentričnosti, o kojoj ovisi veličina specifičnog protoka, mijenja se pomoću vijka, a s vijkom smještenim s gornje strane odzivne staze zajedno pridržavaju stator. Opruga djeluje na stator silom prednapona, koja se mijenja uz pomoć vijka za regulaciju.



(1) pogonsko vrtilo, (2) rotor, (3) krilce, (4) odzivna staza statora, (5) radne komore, (6) vijak (7) vijak, (8) opruga, (9) vijak za regulaciju i (10) razvodna ploča.

**Slika 4-11. Krilna pumpa s regulacijom specifičnog protoka [2, p. 132]**

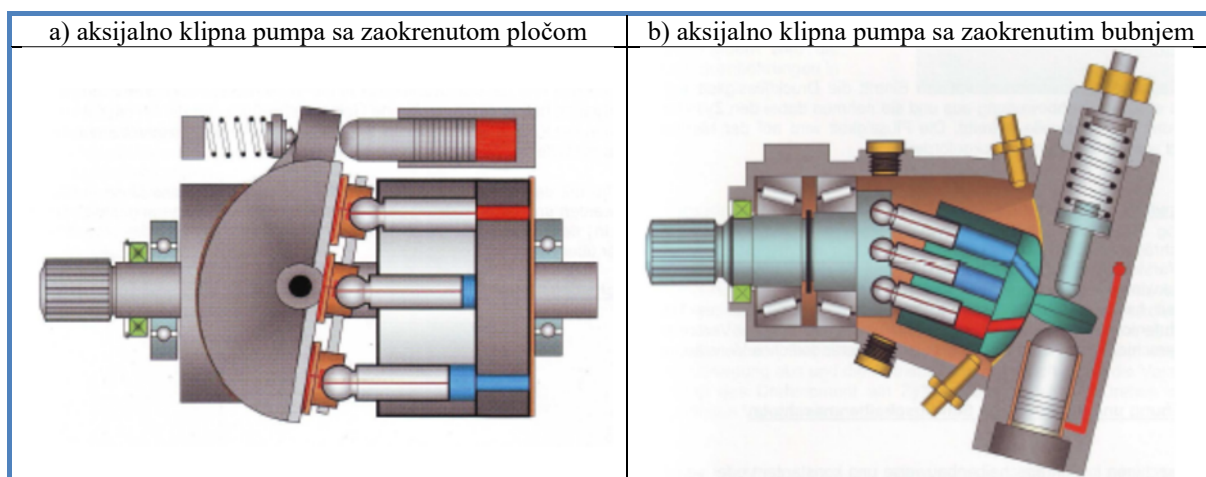
Na površini odzivne staze, zbog djelovanja tlaka tekućine, pojavit će se sila, čija će horizontalna komponenta djelovati u smjeru opruge. Ako zbog opterećenja tlak pumpe naraste, zbog čega će se odzivna staza statora pomaknuti suprotno djelovanju opruge udesno, postaviti će se odzivna staza shodno sili koja djeluje kod novih radnih uvjeta. Pri tome će se smanjiti ekscentričnost  $e$ , pa će se zbog toga smanjiti i protok.

#### 4.2.4 Klipne pumpe

Klipne pumpe su strojevi čiji su radni elementi klipovi. Rotacijom pogonskog vratila osigurava se gibanje klipova, čime se ispunjava osnovni uvjet volumetričkih strojeva - stalna promjena volumena radnih komora. Ovisno o smještaju klipova u odnosu na pogonsko vratilo te se pumpe dijele na [2]: **1) aksijalno-klipne i 2) radijalno-klipne.**

##### 1) Aksijalne klipne pumpe

Aksijalne klipne pumpe pojavljuju se u dvije izvedbe i to: **a) aksijalno-klipne pumpe s nagnutom pločom i b) aksijalno-klipna pumpa s nagnutim bubnjem.**



Slika 4-12. Aksijalno klipne pumpe [6, p. 87]

Kod izvedbe aksijalno-klipne pumpe s nagnutom pločom cilindarski blok i pogonsko vratilo su mehanički spojeni. Cilindarski je blok ozubljenim spojem pričvršćen na pogonsko vratilo, tako da kad rotira pogonsko vratilo, s njim rotira i cilindarski blok. Klipovi smješteni u cilindarskom bloku, također rotiraju. Klipovi se pomiču i u aksijalnom smjeru zbog kontakta s nagnutom pločom, koja pri tome miruje. Klipovi se naslanjaju na nagnutu ploču preko kliznih papučica. Nepomična razvodna ploča ima dva međusobno odvojena otvora u obliku bubrega. Cilindarski blok svojom je čeonom stranom odvojen od razvodne ploče oprugom. Usisana radna tekućina ulazi u cilindar kroz usisni otvor na razvodnoj ploči kada se klip pomiče u lijevo; a kada se klip pomiče u desno potiskuje radnu tekućinu u sustav preko tlačnog otvora. Nagib nagnute ploče, definiran kutom  $\alpha$ , moguće je mijenjati, pa se tako mijenja hod klipa u cilindru, a time i specifični protok. Konstrukcija pumpe takva je da se nagib nagnute ploče može kontinuirano mijenjati uz pomoć mehanizma.

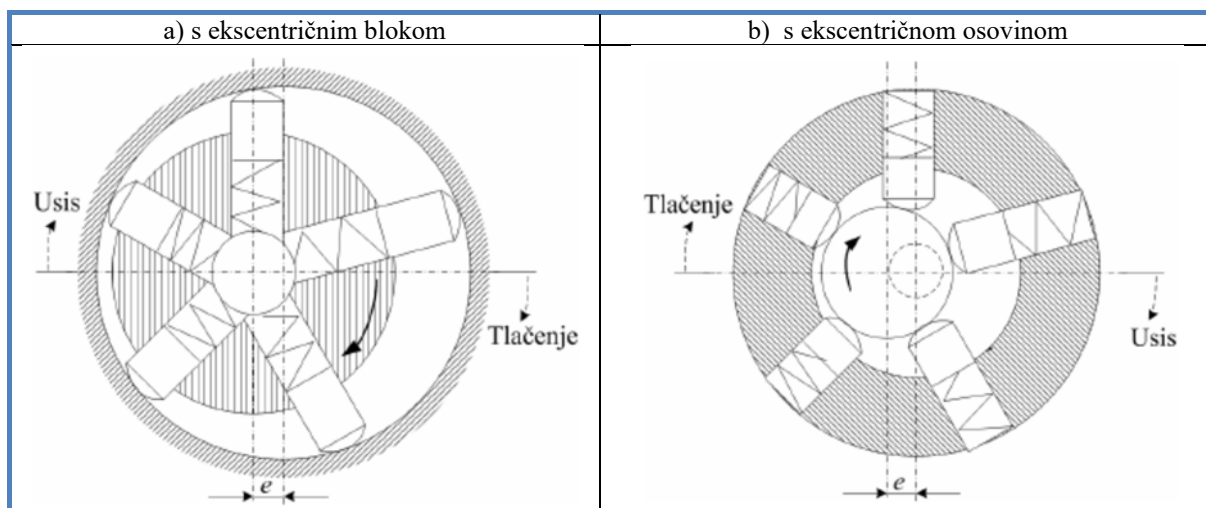
Kod aksijalno-klipne pumpe s nagnutim bubnjem cilindarski blok i pogonsko vratilo nisu izravno spojeni. Postavljeni su pod kutem  $\alpha$ .

Pogonsko vratilo i pogonska prirubnica iz jednog su dijela. U cilindarskom su bloku smješteni klipovi koji su preko kuglastih zglobova vezani na pogonsku prirubnicu. Rotacija pogonskog vratila izaziva rotaciju i cilindarskog bloka. Zbog kuta između pogonskog vratila i cilindarskog bloka nastaje aksijalni pomak klipova. Cilindarski blok je preko osovine i njezina kuglastog završetka spojen na pogonsku prirubnicu. Oprugom cilindarski je blok odvojen od razvodne ploče. Kontaktna površina oba dijela sferičnog je oblika. Uređaj za regulaciju omogućava razvodnoj ploči pomicanje. Dodirna površina razvodne ploče i regulacijskog uređaja je sferična. Na razvodnoj ploči nalaze se dva odvojena otvora u obliku bubrega, od kojih je jedan usisni, dok je drugi tlačni. Pomakom klipa od razvodne ploče radna će se tekućina usisati, dok će se pomakom klipa prema razvodnoj ploči potisnuti preko tlačnog priključka u sustav. Ako se pomoću upravljačkog uređaja položaj razvodne ploče promijeni, promijenit će se i položaj cilindarskog bloka. Tom se promjenom mijenja kut cilindarskog bloka  $\alpha$ , a time i hod klipa, odnosno specifični protok pumpe.

## **2) Radijalne klipne pumpe**

Radijalne klipne pumpe pojavljuju se u dvije izvedbe i to: **a) radijalno-klipna pumpa s ekscentričnim blokom, i b) radijalno-klipna pumpa s ekscentričnom osovinom.**

Kod radijalno-klipne pumpe s ekscentričnim blokom radna tekućina razvodi se preko centralno smještenoga razvodnog elementa, koji je čvrsto vezan s kućištem. Budući da se klipom upravlja „iznutra“, takve se pumpe još nazivaju i pumpe s unutarnjim upravljanjem. Rotacija pogonskog vratila prenosi se preko spojke na rotor. Preko kliznih papučica klipovi su u kontaktu s unutarnjom površinom mirujuće odrivne staze. Zbog zglobne veze klizne papučice i klipa aksijalno je vođenje osigurano preko bočno postavljenih prstena. Os odrivne staze u odnosu na os pogonskog vratila je ekscentrična. Ekscentričnost osigurava da se klipovi zbog rotacije rotora u cilindrima pomiču u radijalnom smjeru. Hod klipova ovisi o veličini ekscentričnosti, koju je moguće mijenjati bočnim pomicanjem odrivne staze uz pomoć klipova. Takva izvedba pumpe ima mogućnost kontinuirane promjene specifičnog protoka, kako u jednom smjeru vrtnje vratila tako i u suprotnom smjeru vrtnje.



**Slika 4-13. Radijalne klipne pumpe [6, p. 84]**

Kod radijalno-klipne pumpe s ekscentričnim blokom radna tekućina ulazi kroz priključak na kućištu u kojem su smješteni klipovi. Pomicanjem klipova prema dolje struji radna tekućina „izvana” u radne komore cilindra. Iz tog se razloga takve pumpe nazivaju i radijalno-klipne pumpe s vanjskim upravljanjem, ali se češće zbog smještaja klipova nazivaju radijalno-klipne pumpe s klipovima u statoru. U cilindru se pomiču klipovi. Uz pomoć opruge stalno su u kontaktu s pogonskim vratilom, na kojem se nalazi ekscentar. Pomakne li se klip tokom rotacije pogonskog vratila prema dolje, narast će volumen radne komore cilindra. Zbog pojave podtlaka pomaknut će se sjedište usisnog ventila te će ulje početi strujati iz kućišta u radnu komoru cilindra. Daljinom rotacijom pogonskog vratila klip će krenuti prema gore pri čemu se usisni ventil zatvara, a otvara tlačni ventil. U toj fazi radna tekućina slobodno struji prema tlačnom priključku.

#### **4.2.5 Hidraulički motori - aktuatori**

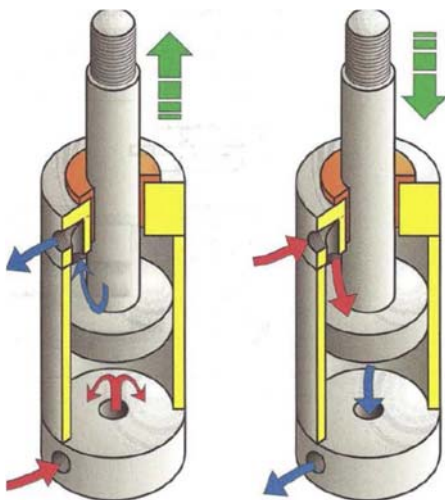
Hidromotori, kao i pumpe, rade na principu promjene volumena radnih komora. Radna tekućina pod tlakom iz pumpe ulazi u radne komore hidromotora, pri čemu energija tlaka pokreće radne elemente. U toj se fazi hidraulička energija radne tekućine pretvara u mehaničku energiju, koja može biti rotacijska ili translacijska. Radna tekućina iz hidromotora izlazi s minimalnim tlakom. Osnovni principi rada rotacijskih strojeva objašnjeni su pomoću rada pumpi. Stoga se u nastavku objašnjava rad strojeva koji isključivo rade kao hidromotori, a to su: 1) hidromotori s translacijskim gibanjem radnih elemenata – hidrocilindri i 2) hidromotori s ograničenim rotacijskim gibanjem radnih elemenata - moment-cilindri.

Hidrocilindri su linearni aktuatori. To znači da je izlaz cilindra pravocrtno kretanje i / ili sila. Glavna funkcija hidrauličkog cilindra je pretvaranje hidrauličke snage u linearnu mehaničku

silu za izvođenje radova ili prijenos snage. Postoji mnogo vrsta cilindara, od kojih svaki ima svoje prednosti i tipičnu upotrebu. Opće su kategorije ovnovi, jednostruki, teleskopski i dvostruki.

#### **a) Diferencijalni cilindar**

Diferencijalni cilindar, prikazan na slici 4.6, spada u grupu dvoradnih hidrocilindara jer prenosi silu i u jednom i u drugom smjeru gibanja klipa i klipnjače.



**Slika 4-14. Dvoradni cilindar [3, p. 151]**

Radna tekućina dovodi se pod tlakom na priključke, koji se nalaze i sa strane klipa i sa strane klipnjače. U pravilu se diferencijalni cilindar pokreće različitim brzinama i različitim silama. Ako se klipnjača izvlači, tlak  $p$  djeluje na površinu klipa  $A_1$  pa će sila koja se stvara na klipnjači biti:

$$F_1 = p \cdot A_1 \quad (17)$$

te ako se dovede konstantni protok radne tekućine iz pumpe  $Q$ , klipnjača će se gibati brzinom:

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} \quad (18)$$

U povratnom hodu djelovat će tlak  $p$  na površinu  $A_2$  ( $A_2 < A_1$ ), pa će se pri tome stvarati na klipnjači sila:

$$F_2 = p \cdot A_2 < F_1 \quad (19)$$

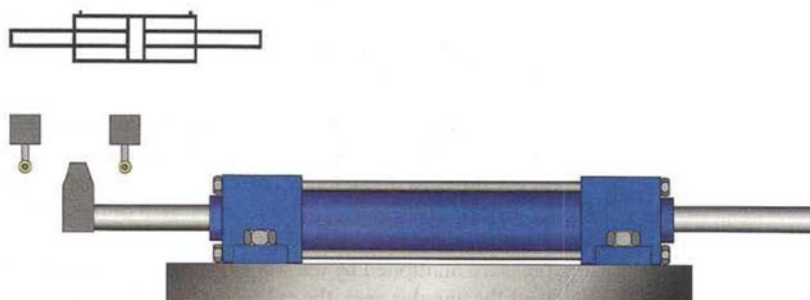
te će uz isti protok  $Q$  brzina gibanja klipnjače biti:

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} > v_1 \quad (20)$$

#### **b) Cilindar s dvostranom klipnjačom**

Dvostruki cilindar je primjer cilindra nediferencijalnog tipa. Sa svake strane klipa postoje identična područja pod uvjetom da su klipnjače jednakog promjera i mogu pružiti jednake sile

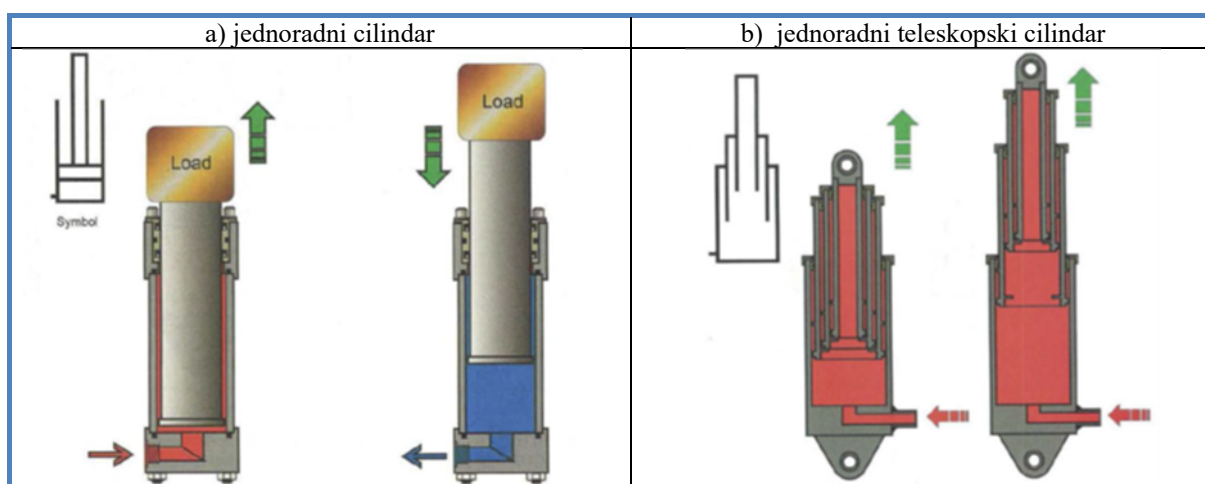
i brzinu u bilo kojem smjeru. Cilindar s dvostrukom klipnjačom prvenstveno se koristi tamo gdje je korisno spojiti teret na svaki kraj ili gdje su potrebne jednake brzine ili sila u oba smjera.



Slika 4-15. Cilindar s dvostranom klipnjačom [3, p. 152]

### c) Jednoradni cilindri

Jednoradnim se cilindrima dovodi ulje pod tlakom  $p$  samo sa strane klipa prilikom izvlačenja klipnjače), kako je to prikazano na nerednoj slici (a)



Slika 4-16. Jednoradni cilindri [3, pp. 149-150]

Da bi se omogućio povrat klipnjače, potrebno je osigurati neku mehaničku silu. To može biti sila sabijene opruge ugrađena oko klipnjače cilindra ili neka vanjska sila, najčešće sila tereta. Jednoradni teleskopski cilindar se koristi u slučajevima kada je na raspolaganju mali ugradni prostor, a potreban je velik hod klipnjače.

## 4.3 Ventili

U hidrauličnom sustavu energija se prenosi od pumpe do hidromotora cjevovodom opremljen s ventilima određenih konstrukcija i performansi kojima se upravlja tim procesom, konkretno

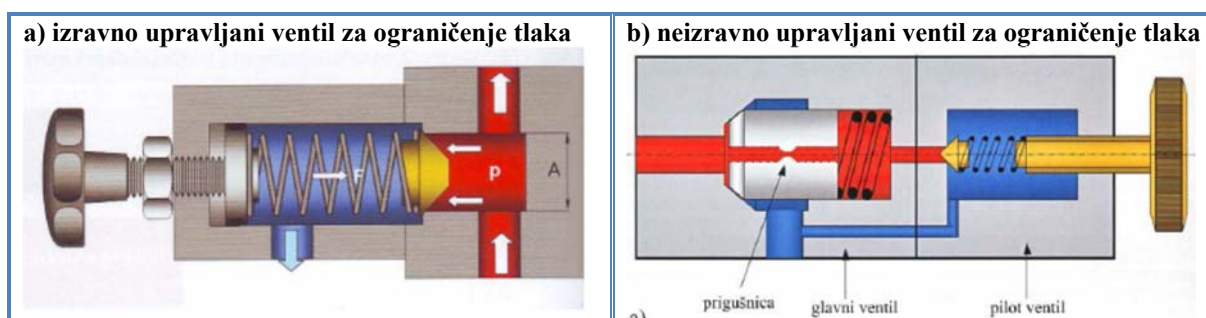
tlakom i protokom. Tlačnim ventilima ograničuje se tlak, protočnim ventilima regulira se protok, a razvodnim ventilima razvodi fluid.

#### 4.3.1 Tlačni ventili

Osnovno je svojstvo tlačnih ventila da svojom funkcijom reguliraju tlak. Postoje različiti tipovi tlačnih ventila po konstrukcijskim rješenjima, a međusobno se razlikuju prema načinu funkcioniranja i mjestu ugradnje. Tlačni ventili po funkciji se dijele na [2, p. 145]: 1) ventile za ograničenje tlaka i 2) ventile za regulaciju tlaka.

##### 1) Ventili za ograničenje tlaka

Funkcija je ventila za ograničenje tlaka da svojim otvaranjem spriječe prekomjerni rast tlaka u tlačnom vodu pumpe. Na taj način štite sve komponente u hidrostatskom sustavu od oštećenja i svih neželjenih posljedica koje iz toga mogu proizaći. Takva uloga ventila za ograničenje tlaka svrstava ga u ključne elemente kojima se osigurava sustav od preopterećenja pa se za njega može reći da je ujedno i sigurnosti ventil. Ventili za ograničenje tlaka pojavljuju se u dvije verzije i to izravno i neizravno upravljani.

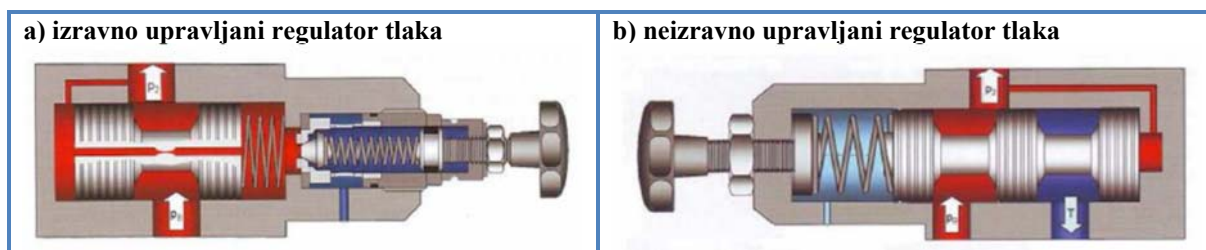


Slika 4-17. Ventili za ograničenje tlaka [6, p. 97]

Izravno upravljani ventili služe za limitiranje protoka a njihova konstrukcija spada u skupinu samoupravljivih jer za aktiviranje koristi radni tlak. Nedostatak je pojava snažnih hidrauličnih udara pri otvaranju i zatvaranju protoka, osobito ako su ti protoci snažniji. Neizravno upravljani ventil za ograničenje tlaka koristi se za visoke tlakove i veće protoke (do 200 l/min).

##### 2) Ventili za regulaciju tlaka

Ventili za regulaciju tlaka nazivaju se još i ventilima za reduciranje tlaka jer im je funkcija da u nekom sporednom krugu hidrauličnog sustava smanje vrijednost tlaka (i održavaju ga konstantnim) u odnosu na glavni krug sustava. Ventili za regulaciju tlaka pojavljuju se u dvije verzije i to izravno i neizravno upravljani.



Slika 4-18. Ventili za reguliranje tlaka [6, p. 100]

Redukcijski izravno upravljani ventili služe za održavanje tlaka u dijelu sustava konstantnim, neovisno o jačini protoka i o tlaku u preostalom dijelu sistema. Primjenjuju se za redukciju tlaka, npr. za aktiviranje neke stezne naprave odnosno za upravljanje nekim podsistemom i slično. Uvjet je za primjenu tih ventila da ulazni tlak bude viši od izlaznog. Neizravno upravljani regulatori tlaka primjenjuju se radi izbjegavanja mogućih hidrauličnih udara koji se javljaju kod redukcijskih direktno upravljanih tlačnih ventila.

#### 4.3.2 Protočni ventili

Ako hidraulički cilindar ili hidromotor, kojima je potrebno regulirati brzinu odnosno brzinu vrtnje, pogoni pumpa konstantnog protoka, regulacija protoka obavlja se uz pomoć protočnih ventila. Primjena protočnih ventila u kombinaciji s pumpom konstantnog protoka u pravilu je ekonomičniji izbor negoli primjena pumpe s reguliranim protokom. Pumpa konstantnog protoka proizvodi neprekidno ukupan protok, a ostatak protoka u pravilu se mora odvoditi preko ventila za ograničenje tlaka. Manjkavost toga načina su gubici, koji mogu biti znatni. Prednost primjene pumpe s regulacijom protoka je u tome što ona daje upravo onoliki protok kakav trebaju cilindar ili hidromotor. Protočni ventili se po funkciji dijele na: 1) prigušne ventile i 2) ventile za regulaciju protoka.

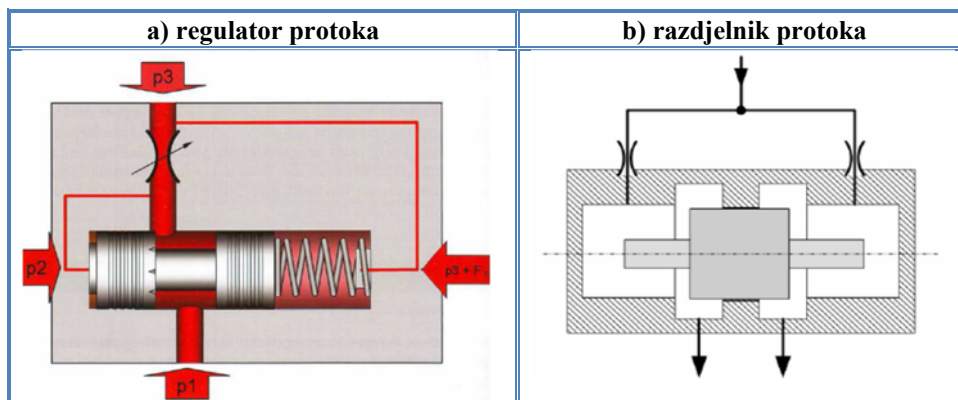
##### 1) Prigušni ventili



Slika 4-19. Načini usporavanja protoka fluida [6, p. 101]

Prigušnica (ili laminarna prigušnica), i blenda (ili fina prigušnica) u osnovi su vrlo slične. One predstavljaju otpor protjecanju fluida, te na taj način usporavaju njegov protok [6, p. 100].

## 2) Regulatori i razdjelnici protoka



Slika 4-20. Načini reguliranja protoka fluida

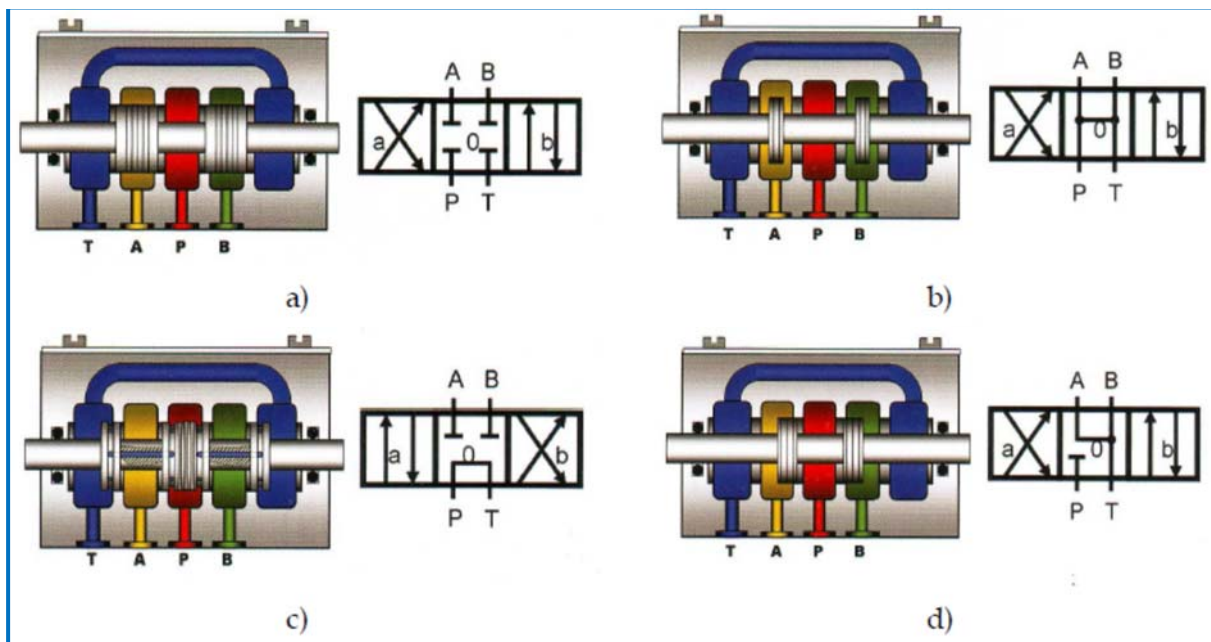
Konstrukcija ventila za regulaciju protoka izvedena je kombinacijom prigušnog i tlačno diferencijalnog ventila, što rezultira konstantnim protokom neovisno o razlici tlaka ispred ili iza ventila. Razdjelnik protoka ima zadatak dijeliti protok na dva dijela, pri čemu je omjer protoka konstantan i ovisi o otvorima (poprečnom presjeku) prigušnica ili blendi od kojih se razdjelnik sastoji.

### 4.3.3 Razvodni ventili

Uloga je razvodnih ventila (ili kraće razvodnika) osigurati u hidrostatskom sustavu otvaranje, zatvaranje ili promjenu smjera protoka radne tekućine. Smještaju se između pumpe i hidromotora, pa takvim svojim djelovanjem omogućavaju pokretanje, promjenu smjera gibanja i zaustavljanje hidromotora. Osnovne konstrukcijske karakteristike klasičnih razvodnika odnose se na: broj radnih položaja, broj priključaka, funkcija radnih položaja, način upravljanja i nazivna veličina (NP) priključnih otvora.

Osnovna grafička oznaka razvodnog ventila je kvadrat, a njihov broj pokazuje broj položaja. Unutar svakog kvadrata označeni su pripadni smjerovi strujanja fluida. Priključci se označavaju velikim slovima samo kod kvadrata koji označuju početni položaj ventila i na te se priključke spajaju pripadni cjevovodi. Pritom slovo P označava priključak tlačnog voda (pumpa), slovo

T priključak povrata u spremnik (tank), slovo D (drainage) ili L (leakage) priključak za drenažu, a slova A, B i C označavaju radne priključke.



a) zatvoreni centar, b) otvoreni centar, c) tandem centar, d) plivajući centar

#### Slika 4-21. Središnje pozicije razvodnika

Digitalno pokretani razvodnici koriste samo krajnji položaji "otvoreno" ili "zatvoreno". Postoje i kontinuirano pokretani razvodnici (proporcionalni i servo-ventili) koji između dva krajnja položaja kontinuirano poprimaju neki položaj uz odgovarajuće prigušno djelovanje [7, p. 102]. Kvalitetu razvodnika karakteriziraju unutrašnji otpor (pad tlaka) i propuštanje (koji trebaju biti što manji), te brzina rada (frekvencija uključivanja i isključivanja – treba biti što veća).

#### 4.3.4 Servo razvodnici

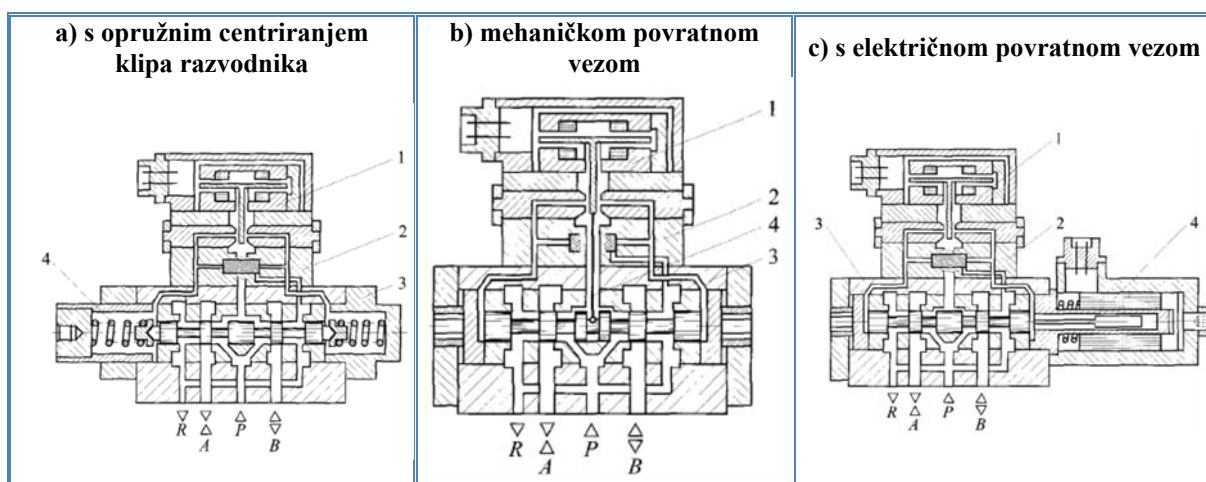
Neki pogoni moraju se kretati točnom brzinom, zaustaviti se u vrlo uskim tolerancijama položaja ili proizvesti vrlo preciznu snagu za obavljanje funkcije za koju su projektirani. Uz odgovarajući ulazni signal i odziv, proporcionalni-ventili ili servo-ventili mogu osigurati aktuatoru besprijekorno obavljanje takvih funkcija. Za manje precizno kretanje, koriste se proporcionalni ventili koji djeluju slično servo-ventilima, ali reagiraju sporije. Oni su jeftiniji od servoventila te su tolerantniji na izvjesnu kontaminaciju radne tekućine.

Servorazvodnici sastavljeni su od tri osnovna dijela [2, p. 180]:

1. elektromehaničkog pretvarača (momentni motor) - s permanentnim magnetima
2. hidromehaničkog pretvarača - mlaznica-zaslon
3. klipnog razvodnika - specijalni razvodnik s malom zračnošću između klipa i kućišta te nultog prekrivanja između klipa i otvora na kućištu.

Najčešća konstrukcijska izvedba servo-razvodnika je elektrohidrauličkog tipa mlaznica-zaslon.

Međusobno se razlikuju prema načinu izvedbe unutarnje povratne veze, i to:



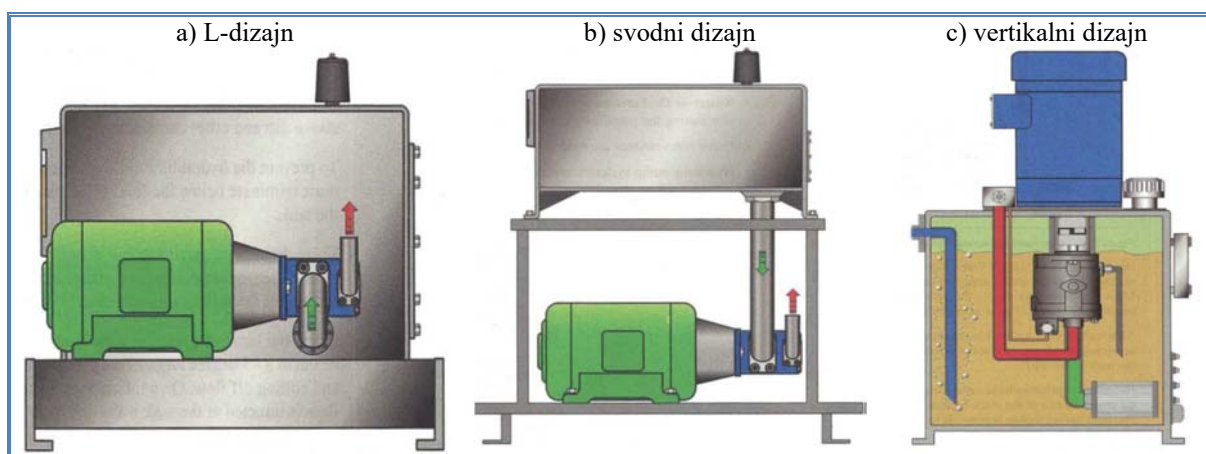
**Slika 4-22. Konstrukcijske izvedbe servo-razvodnika**

- a) Električni signal u upravljačkim namotaj ima elektromehaničkog pretvarača (1) stvara magnetno polje u permanentnom magnetu, koje svojim djelovanjem izaziva neravnotežu momenta na kotvi-zaslону (2). Djelovanjem rezultirajućeg momenta dolazi do zakretanja kotve-zaslona do uspostavljanja novoga ravnotežnog stanja zbog pojave otpornog momenta opruge-cjevčice. Prema tome kotva-zaslon zauzet će položaj ovisan o veličini ulaznoga električnog signala. Pomicanjem zaslona (naprimjer u desno), zbog promjene će otpora u prostoru između mlaznice i zaslona, tlak ispred desne mlaznice i čela klipa razvodnika (3) biti veći od tlaka ispred lijeve mlaznice i suprotnog čela klipa razvodnika. Pod djelovanjem razlike tlakova klip će se razvodnika pomaknuti u lijevo sve dok se sila ne izjednači sa silom u opruzi (4). Simetrično postavljene opruge osiguravaju neutralni položaj razvodnika kada nema električnog signala. Opruge u ovoj izvedbi servorazvodnika imaju ulogu unutarnje povratne veze.
- b) Servorazvodnik s mehaničkom povratnom vezom ima zaslon povezan s klipom razvodnika preko opruge u obliku iglice. Opružno djelovanje iglice omogućava negativnu povratnu vezu ovisno o položaju klipa razvodnika.
- c) Servorazvodnik s električnom povratnom vezom ima induktivni davač položaja klipa razvodnika. Signal u davaču je povratna veza s elektroničkim pojačalom.

## 4.4 Hidraulička oprema

Da bi hidraulički sustav mogao funkcionirati pored navedenih osnovnih komponenti, neophodna je i prateća oprema koju čine:

- **Spremnici ulja** koji se primjenjuju u hidrauličnim sustavima služe za: spremanje potrebne određene količine ulja, obradu ulja filtriranjem, čišćenjem, izmjenom i slično, rashlađivanje, smirivanje turbulencije i odstranjivanje neotopljenog zraka te eventualno priključivanje dodatnih hidrauličnih sustava.



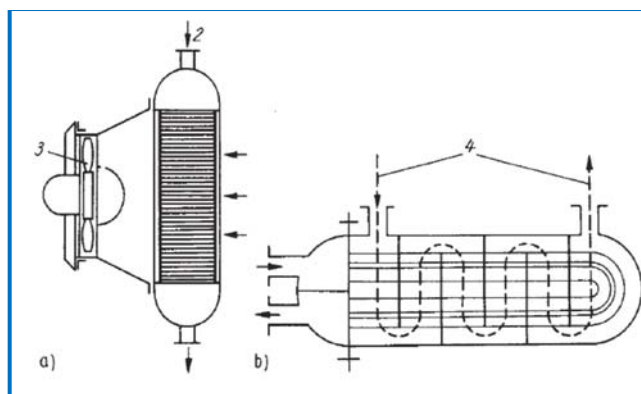
Slika 4-23. Dizajn spremnika ulja [3, pp. 96-98]

- **Cjevovodi** kao podsistem hidrauličkog sustava služe za transport hidrauličnog fluida između pojedinih elemenata kružnog toka. Budući da u pretežnom broju slučajeva ukupna preuzeta energija sustava struji u podsistemu cjevovoda, njegov izbor, dimenzije i montaža, naročito u snažno opterećenim izvedbama, imaju odlučujući utjecaj na funkciju i pouzdanost cijelog sustava. Cjevovodi u pogonu podvrgnuti su unutarnjim i vanjskim opterećenjima. Unutarnja opterećenja čine konstantne kao i pulzirajuće unutarnje sile pritiska a vanjska čine statičke sile (vlastita težina, sile pritezanja ili termičke deformacije) te dinamička opterećenja (udarci, vibracije koje potječu od vlastite i vanjske uzbude).
- **Hidraulički filtri** služe za uklanjanje mehaničkih nečistoća iz hidrauličnog ulja. Budući da funkcija i pouzdanost hidrauličnog sustava u vrlo značajnoj mjeri ovisi o čistoći hidrauličnog ulja i da je postupak filtriranja s troškovnog aspekta ograničen, hidraulični filter treba udovoljiti sljedećim zahtjevima: visok učinak uklanjanja nečistoća, mali pad tlaka i kod finijeg filtra, veći dopušteni pad tlaka pri prljavom ulošku filtra, mogućnost kontrole stupnja prljavosti, duga trajnost uloška filtra, mogućnost čišćenja odnosno regeneracije uloška filtra, otpornost na djelovanje hidrauličkog ulja i teško zapaljivih hidrauličnih fluida te na djelovanje kapljica vode, mogućnost ugradnje na kritičnim

mjestima hidrauličnog sustava, lagan pristup, laka montaža i demontaža, male ugradbene mjere, mala masa i niska cijena.

#### 4.4.1 Izmjenjivači topline hidrauličkog sustava

Izmjenjivači topline u hidraulici služe za održavanje optimalne temperature odnosno viskoziteta ulja. Rashladnik se ugrađuje u hidraulički sistem kada razvijeni višak topline ne može biti odveden prirodnim putem u okolinu. Predgrijač se primjenjuje pri nižim temperaturama okoline radi zagrijavanja ulja do temperature koja odgovara startnom viskozitetu, a prema potrebi i za održavanje temperature ulja približno konstantnom.



a) zračni rashladnik, b) vodni rashladnik, 1) rashladni zrak, 2) hidraulički fluid, 3) propeler, 4) rashladna voda

**Slika 4-24. Rashladnici hidrauličnih fluida [5, p. 153]**

Izmjenjivač topline ugrađuje se ili direktno u spremnik ulja ili odvojeno, što je još bolje jer se njime, kao posebnom jedinicom, tada može učinkovito upravljati. Najveći učinak izmjenjivača topline bit će postignut kada u njemu vlada konstantno turbulentno strujanje jer se tako izbjegavaju lokalne pregrijanosti (zapaljenja) kao i lokalna pothlađenja.

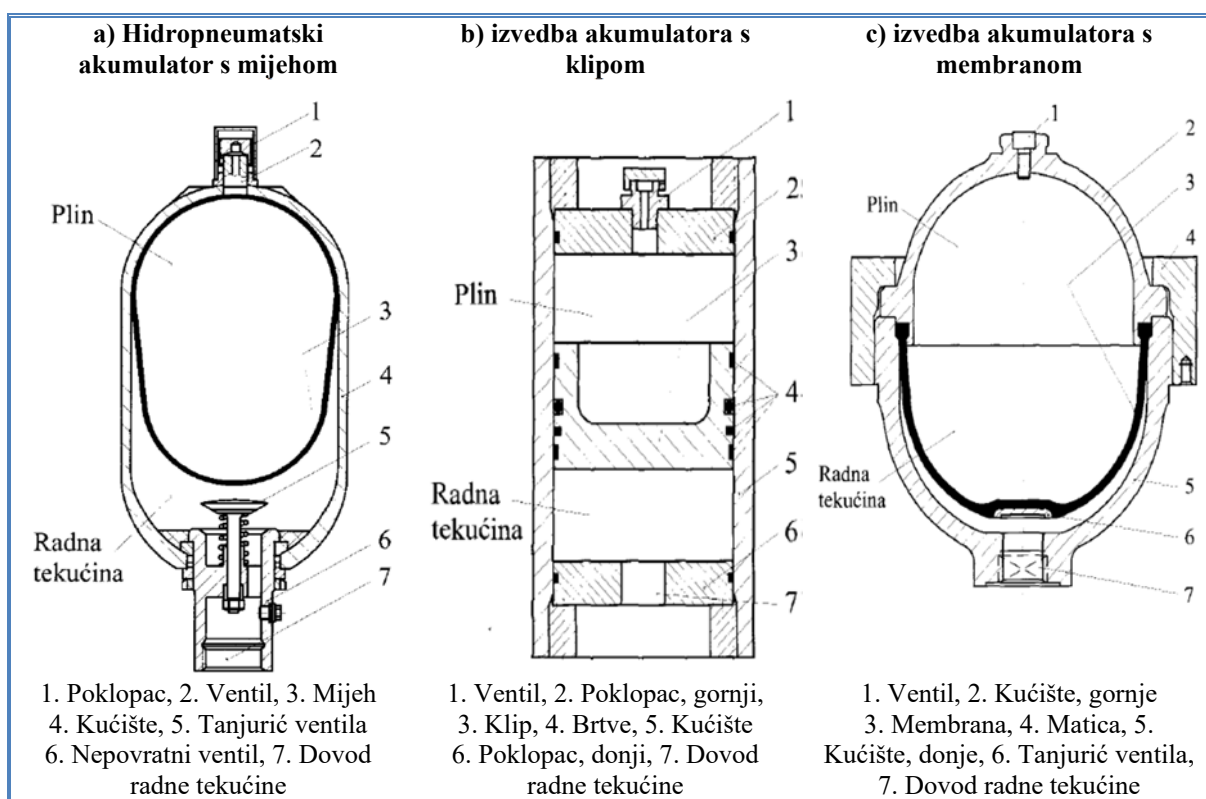
#### 4.4.2 Hidraulički akumulatori

Hidraulički akumulatori su uređaji kojima je osnovna namjena akumuliranje radne tekućine te njezine potencijalne energije. Ako, za vrijeme rada, potrošači ne iskoriste svu raspoloživu energiju, ona će se akumulirati u njemu, a iskoristit će se u trenutku kada je izvor energije ne daje dovoljno. Iz tog se razloga pumpa odabire prema srednjoj snazi potrošača, a u sustavima koji rade periodički čak se omogućava i prekid rada pumpe. Pored svoje osnovne funkcije,

hidraulički akumulatori obavljaju i velik broj drugih funkcija [2, p. 200]: a) nadoknadu radne tekućine, b) kompenzaciju curenja kod sustava koji moraju osigurati držanje nekog dijela pod tlakom (platforme, preše) pri čemu dolazi do protjecanja radne tekućine iz komore visokog u komoru niskog tlaka; c) smanjenje pulzacija protoka i tlaka osobito u radu klipnih pumpi s malim brojem klipova pri čemu se akumulator ugrađuje i na usisnoj i na tlačnoj strani pumpe; d) sprečavanje pojave hidrauličkog udara kod cjevovoda koji se moraju povremeno zatvarati (izolirati).

Akumulatori se dijele u tri osnovne grupe: 1) akumulatori s utezima. 2) akumulatori s oprugom i 3) hidropneumatski akumulatori

Osnovna podjela hidropneumatskih akumulatora je: bez razdjelnog elementa (zračni kotao) i s razdjelnim elementom. Najčešće su u primjeni oni s razdjelnim elementom, pa se oni u nastavku i opisuju. Dije se na tri osnovne grupe: a) s mijehom, b) s klipom i c) s membranom.



**Slika 4-25. Hidropneumatski akumulatori s razdjelnim elementom [2, p. 201]**

Neovisno o vrsti razdjelnog elementa, u hidropneumatskom akumulatoru odvijaju se dva procesa: 1) akumuliranje energije i radne tekućine, pri čemu se komprimira plin (najčešće dušik) i to uvijek kada je tlak radne tekućine u hidrauličkom sustavu veći od tlaka plina te 2) oslobađanje energije tijekom ekspanzije plina, kada je tlak plina veći od tlaka radne tekućine u hidrauličkom sustavu.

## **5. RJEŠENJA ZA BLOKIRANJE IZVRŠNIH ELEMENATA (POLOŽAJA KORMILA)**

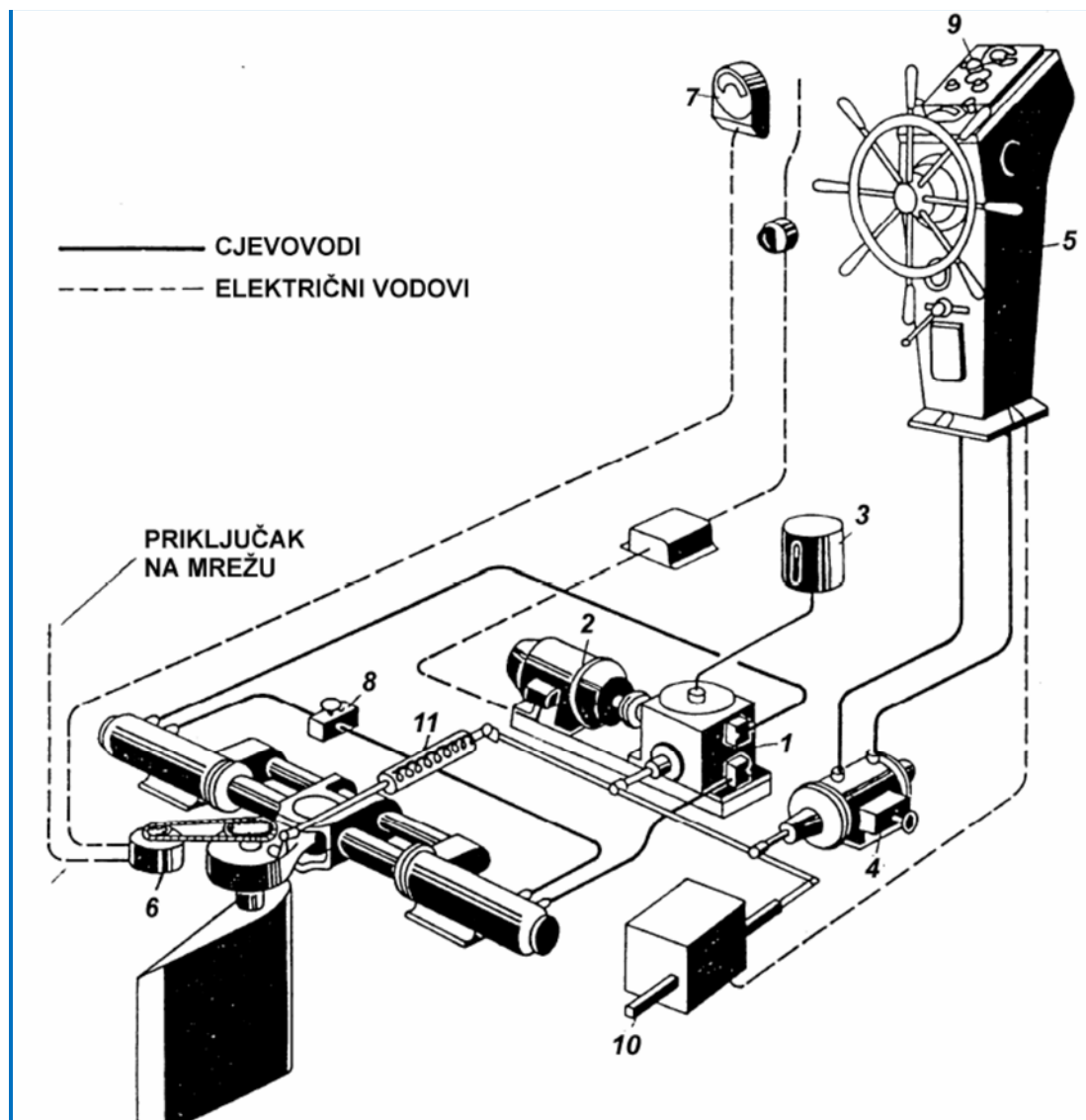
Kako bi se moglo analizirati funkcije izvršnih elemenata unutar sustava upravljanja kormilarskog uređaja na brodovima ili manjim plovilima potrebno je ukratko opisati osnovne funkcije kormilarskog uređaja.

### **5.1 Kormilarski uređaj**

Osnovna namjena kormilarskog uređaja je zadržavanje plovila u zadanom kursu. U pravilu postoje dva načina upravljanja kormilarskim uređajem i to:

- Ručno upravljanje – na brodovima se koristi u plovidbi kod koje postoji potreba za učestalom i znatnom promjenom kursa primjerice u manovri, plovidbi kanalima, u obalnoj navigaciji, uvjetima slabe vidljivosti ili u slučajevima gustog prometa na plovidbenom putu. Kormilarskom kolom na zapovjedničkom mostu tada upravlja kormilar ili časnik plovidbe. Princip transmisije zakretanja kormilarskog kola na list kormila je sustav [8, p. 132]: „davača, primača impulsa ili telemotora, polužja za upravljanje i dobavne pumpe promjenljivog stapaja koja treba dati hidraulični tlak u cilindre stroja“. Kada je sustav transmisije hidraulični tada je tekućina medij između davača i primača;
- Automatsko upravljanje – na brodovima se koristi kada će brod neko određeno vrijeme ploviti u istom kursu pri sigurnim uvjetima navigacije (dobra vidljivost, slab promet, oceanska navigacija). Automatsko upravljanje se prema Kurteli [8, p. 134] može izvesti na dva načina: „a) kormilarenje sa žiro-pilotom i 2) ručno-električno upravljanje s tasterima ili malim kolom“.

Brod koji plovi u zadanom kursu teoretski ne bi trebao odstupati od kursa, što znači da bi se kormilo moglo blokirati u ravnom položaju kada se pramčanica broda poklopi s kursom kompasa (Kk). Međutim, zbog učinaka mora i vjetrova, konfiguracije broskog trupa i kormila, utjecaja vijka (desnokretni, ljevokretni), nagnutosti ili pretega, brod stalno odstupa od zadanog kursa te su potrebne stalne korekcije kursa. To je u prošlosti zahtijevalo stalno prisustvo kormilara koji je održavao brod u Kk. Pojavom žiro kompasa usavršeno je automatsko upravljanje kormilarskim uređajem na način da se za svako odstupanje pramčanice od zadanog kursa automatski korigira.



1-pumpa promjenljiva stapaja, 2-elektromotor, 3-nadoljevni tank, 4-primač telematora, 5-upravljački stup s davačem telematora, 6-davač pokazivača otklona, 7-pokazivač otklona, 8-prekotlačni i protočni ventil, 9-upravljačka ploča žiro-pilota, 10-usiljivač žiro-pilota, 11- povratna veza

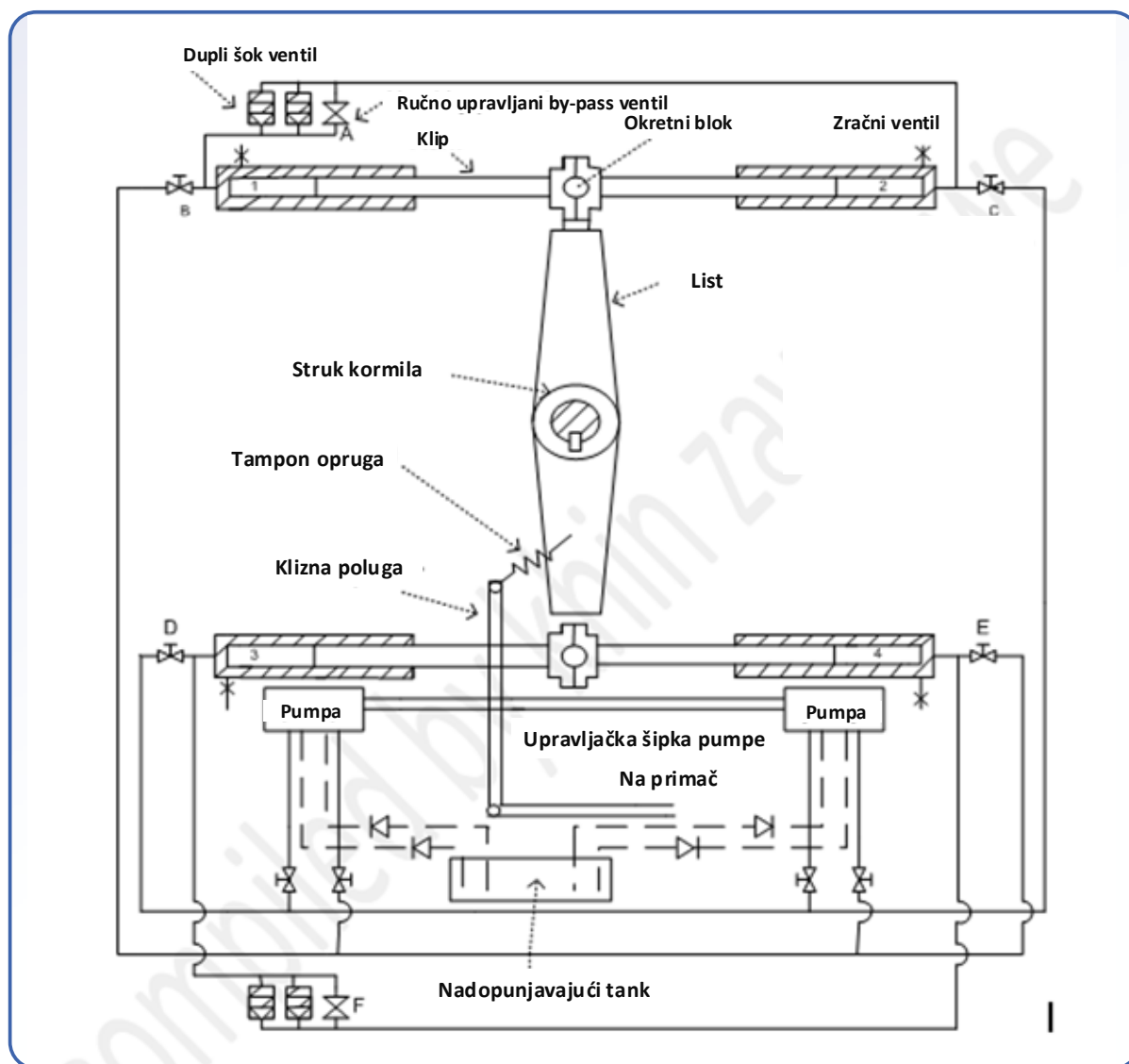
**Slika 5-26. Hidraulični kormilarski uređaj s kombiniranim žiro-hidrauličnim upravljanjem [8, p. 133]**

Svoju primjenu hidraulički kormilarski uređaji na brodovima nalaze u dva osnovna oblika i to kao a) hidraulički klipni uređaji i b) hidraulički rotacijski strojevi.

### 5.1.1 Klipni hidraulički kormilarski uređaj

Klipni hidraulički kormilarski uređaj se u skladu s temom Završnog rada analizira sa stajališta funkcioniranja izvršnih elemenata hidrauličkih sustava što uključuje i probleme s kojima se časnici stroja suočavaju.

Problematika kvarova odnosno otkaza pojedinih elemenata hidrauličkog prijenosa kod kormilarskog uređaja može dovesti do blokiranja kormila što posredno i neposredno dovodi u pitanje sigurnost broda u plovidbi. U nastavku se razmatraju najčešći kvarovi i načini otklanjanja kako su opisani na portalu Marine Insight [9]



Slika 5-27. Sigurnosni elementi hidrauličkog klipnog kormilarskog uređaja

Pumpa tlači ulje samo kad se pomakne kormilo. Klizna poluga vraća upravljačku šipku pumpe u srednji položaj čim je kormilo postavilo položaj u odnosu na kormilarsko kolo i ostaje tamo da se kolo ponovno ne zakrene.

Tijekom rada pod opterećenjima može doći do otkazivanja pojedinih cilindara pa tako vrijedi:

- Za cilindre 1 i 2 u pogonu, s otvorenim ventilima B, C i F, zatvorenim A, D i E
- Za cilindre 3 i 4 rade, s ventilima A, D i E otvorene B, C i F Zatvoreno, tj izoliranje drugog klipa poluge (ne dijagonalno).

Kao učinkovit odgovor na ovaj problem potrebno je:

- Uvijek koristiti samo jednu pumpu,
- Brodsku brzinu treba smanjiti na 70% od normalne, ako se očekuju veliki kutovi kormila, primjerice po jakom nevremenu ili zatvorenim vodama itd.
- Poželjno je da kormilar bude u kormilarnici
- Na svim izmijenjenim ventilima treba osigurati raspored zaključavanja
- Obavijestiti most o ograničenjima upravljačkog sustava.

U pravilu postoje dva para klipova, kojima mogu upravljati dva neovisna upravljačka motora. U slučaju pojedinačnog kvara, krug koji curi mora se otkriti i izolirati kako bi se vratilo upravljanje. U slučaju curenja ulja u bilo kojem od krugova upravljača (pojedinačni kvar), prvo će se pojaviti indikacija (alarm niske razine), zatim će se aktivirati sigurnosni ventil, a ako razina dodatno padne (niska-niska razina), drugi motor će se pokrenuti s već aktiviranim sigurnosnim ventilom, a prvi će se zaustaviti. Jedan upravljački motor može izolirati samo jedan par klipova, pa ako je kvar u drugom paru, drugi upravljački motor treba pokrenuti.

**Drugi problem** karakterističan za klipni hidraulički kormilarski uređaj je pojava zraka u sustavu.

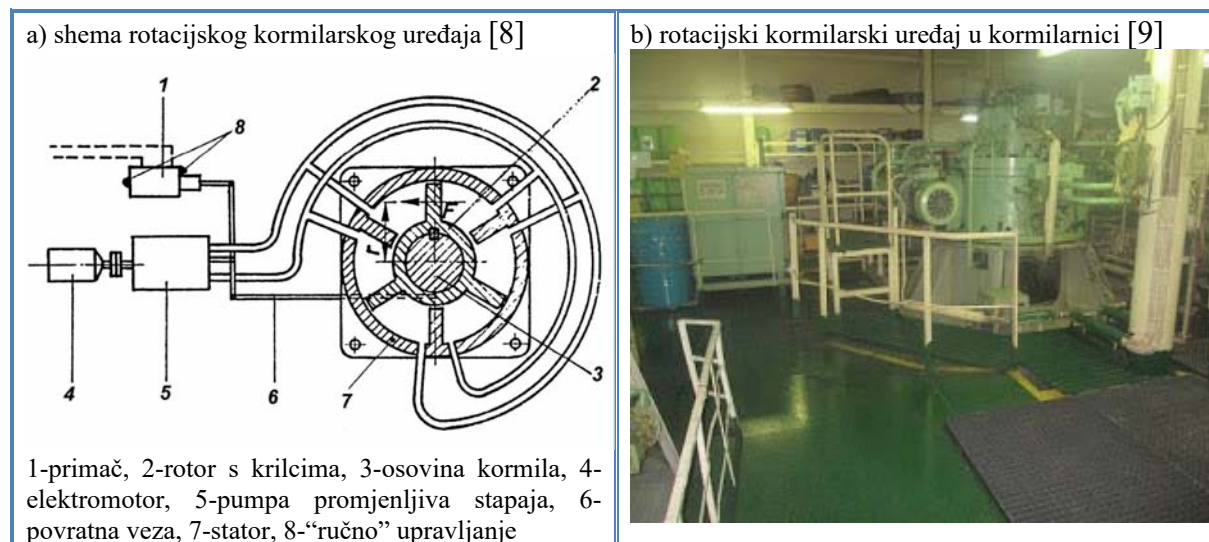
Pojava zraka u sustavu je štetna budući da komprimiranje zraka daje pogrešnu ravnotežu između jedinica, vremenskih kašnjenja i nenormalnog rada, što može biti opasno. Zrak u sustavu označen je neispravnim upravljanjem, pretjeranim pomicanjem kormilarskog kola prije pomicanja telemotora. Nema početnog pritiska i popuštanja kormilarskog kola pri okretanju, trzajućem radu i mogućim oscilacijama na manometrima.

Rješenje - Zrak se može ispuhati iz sustava pomoću ventila za odzračivanje. Ako u sustavu ima značajno mnogo zraka, ulje iz sustava treba potpuno isprazniti i potpuno napuniti.

Kao treći problem navodi se otkaz telemotora. U slučaju kvara telemotora, prebacivanjem preklopne osovine, upravljanje u nuždi može se izvršiti izoliranjem cilindra prijemnika te

provesti izravno upravljanje klipnjačom ručice pumpe glavnog upravljačkog sklopa. Indikator kuta kormila u nuždi i komunikacijski sustav za premošćivanje nalaze se u stanici za nuždu.

### 5.1.2 Rotacijski hidraulički kormilarski stroj



**Slika 5-28. Rotacijski hidraulički kormilarski stroj [8], [9].**

Sastoji se od rotora s lopaticama koji se mogu kretati u kućištu statora. Rotor je sigurno pričvršćen na konusni nosač kormila. Stator je čvrsto pričvršćen na brodsku strukturu. Brtvene trake postavljene su na pokretnu površinu rotacijske i fiksne lopatice. Komore su oblikovane između rotacijskih lopatica i fiksne lopatice kućišta statora. Te su komore naizmjenično povezani na usis i dovod iz hidrauličke pumpe.

Rotacijski kormilarski uređaj zauzima manje mjesta i jednostavniji je za održavanje. Često puta se na primaču (1) nalaze elektromagnetski ventili (8) na koje se može ručno djelovati preko prekidača, a oni opet djeluju na pomicanje motke za upravljanje koja je povezana s pumpom promjenljiva stapaja. Na taj se način može “ručno” kormilariti iz prostorije kormilarskog stroja.

Standardni rotacijski kormilarski uređaj je Porsgrunn s dvije lopatice [10]. To je konusna veza između kormila i rotora, a za ugradnju se koristi metoda ubrizgavanja ulja. Matica kormila s potpornim klipom na vrhu nosača. Ležajevi su podmazani uljem u sustavu kormičarskog uređaja.

Opterećenja / sile kormila / kormila preuzimaju gornji i donji radijalni ležajevi i nosač kormila. Obrtni moment se prenosi na trup pomoću vijaka (fitbolt) u graničnicima. Blok-ventila s upravljačkim ventilom (tipa uključeno / isključeno) i zapornim ventilima (brzo djelujući)

montirani su izravno na kućište ili na poklopac. U regulacijske ventile ugrađeni su sigurnosni ventili za zaštitu pumpi. Postoje najmanje dvije isključene jedinice napajanja. Jedan uobičajeni spremnik za curenje, otvoren za zrak, postavljen je na vrh pogona, cjevovodima do spremnika pumpe. Mehanički indikator kormila, odašiljač kuta kormila, povratne kočnice i granični prekidači kuta kormila montirani su na ekspanzijski spremnik. Spremnik za "curenje" trajno je povezan sa spremnikom za ulje.

Jedan ili dva sigurnosna ventila montiraju se izravno na kućište ili na poklopac kako bi zaštitili pogon. Jedna uobičajena sklopka razine postavljena je na spremnik za curenje i po jedan u svakom spremniku pumpe. Prostor upravljača: Električni starteri s instrumentima, prekidač start-stop. Uređaj za daljinsko / lokalno upravljanje kormilom. Lokalna kontrola upravljanja u načinu rada NFU (*Non-follow up*)<sup>1</sup> ili izravno na magnetskim ventilima:

- E.C.R. (*Electrical Control Room*): Paneli s indikacijama rada i indikacijama alarma za električne kvarove, hidraulična blokada i niska razina ulja.
- W.H. (*Wheelhouse*): Paneli s funkcijama start-stop-stand-by, indikatori pokretanja, spremnost upravljanja kormilom, daljinska i lokalna indikacija, indikacije alarma za električne kvarove. hidrauličnu blokadu, začepljen filter i nisku razina ulja.

## 5.2 Sustavi za blokiranje položaja kormila

Zbog svoje važnosti za sigurnost broda i posade kormilarski uređaj mora zadovoljavati cijeli niz sigurnosnih zahtjeva koji se odnose na upravljanje brodom te je stoga najčešće u uporabi kombinacija dvaju odvojenih sustava upravljanja s hidrauličkim telemotorom i žiro-pilotom [8, p. 134]. Stoga kada se raspravlja o blokiranju položaja kormila tada se načelno raspravlja o mogućim kvarovima i otkazima uzrokovanih unutarnjim čimbenicima (otkaz električnih, elektronskih ili hidrauličnih komponenti) te vanjskih (udar, lom, gubitak ili oštećenje lista). Sukladno temi Završnog rada analizirati će se mogući uzroci blokiranja izvršnih elemenata kormilarskog uređaja.

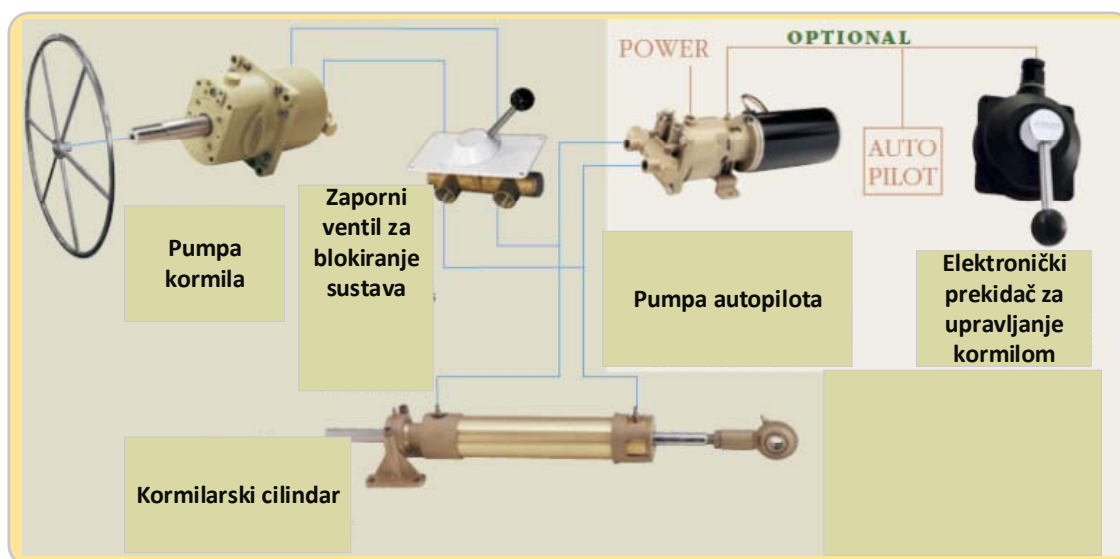
---

<sup>1</sup> NFU kontrola upravljanja je učinkovit i najsigurniji način kormilarenja, ali nije baš ugodan jer iziskuje punu koncentraciju kormilara. Kormilo se kreće sve dok NFU-kormilo radi i zaustavlja se kada se ručica otpusti ili se dostignu graničnik kormila. Koristi se kada je telemotor izvan funkcije.

### 5.2.1 Namjerno blokiranje kormila

U pomorstvu su poznati slučajevi namjernog blokiranja kormila, ali se to isključivo koristi na manjim brodicama i na relativno kratko vrijeme i to u trenucima sigurne plovidbe daleko od obale i prometa drugih brodova. Manje ribarske brodice služe se primitivnim podvezivanjem rude kormila dok bacaju ili podižu mreže ili parangale te dok ih čiste.

Na jedrilicama sa hidrauličkim kormilarskim uređajem se koristi blokada kormila kada skiper podiže jedra ili na trenutak mora napustiti kormilo a treba održavati određeni položaj smjera ili kormila, tada može zatvoriti sigurnosni ventil (engl. *lock valve*) držeći hidrauličko ulje u položaju, sve dok upravljač ne okrene novi smjer .



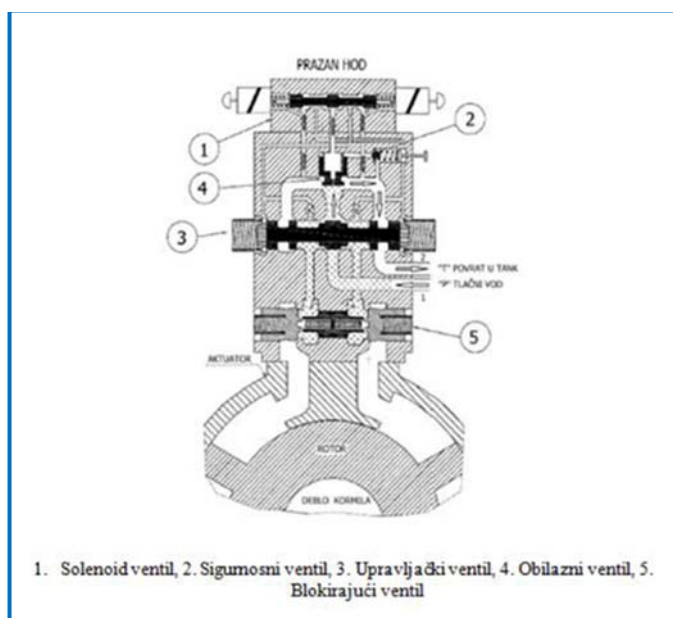
**Slika 5-29. Hidraulični kormilarski sustav na jedrilicama (s mogućnošću blokiranja kormila)**  
[11, p. 25]

Uobičajeni način upravljanja hidrauličkim kormilarskim uređajem je okretanje pumpe kormila (upravljač) koja potiskuje ulje kroz zaporni ventil (nepovratni ventil) do cilindra. Zaporni ventil omogućuje otvaranje nepovratnih ventila za slobodan protok u oba smjera, omogućujući skiperu da osjetiti povratni pritisak s kormila.

### 5.2.2 Blokiranje položaja kormila zbog potreba navigacije

Suvremeni uvjeti oceanske navigacije su zbog sigurnih konstrukcijskih i tehničkih performansi kormilarskog uređaja te visokog stupnja automatizacije svih važnijih navigacijskih uređaja i pomagala gotovo usavršili sustav upravljanja brodom do autonomnih rješenja održavanja broda u smjeru. Stoga u dnevnoj navigaciji u uvjetima povoljnim za plovidbu upravljanje brodom obavljaju samo dežurni časnici palube i stroja. Kod klipnih ili rotacijskih kormilarskih uređaja funkciju pozicioniranja položaja broda u zadanom smjeru blokirajućim ventilom. Princip rada blokirajućeg ventila je slijedeći [12]:

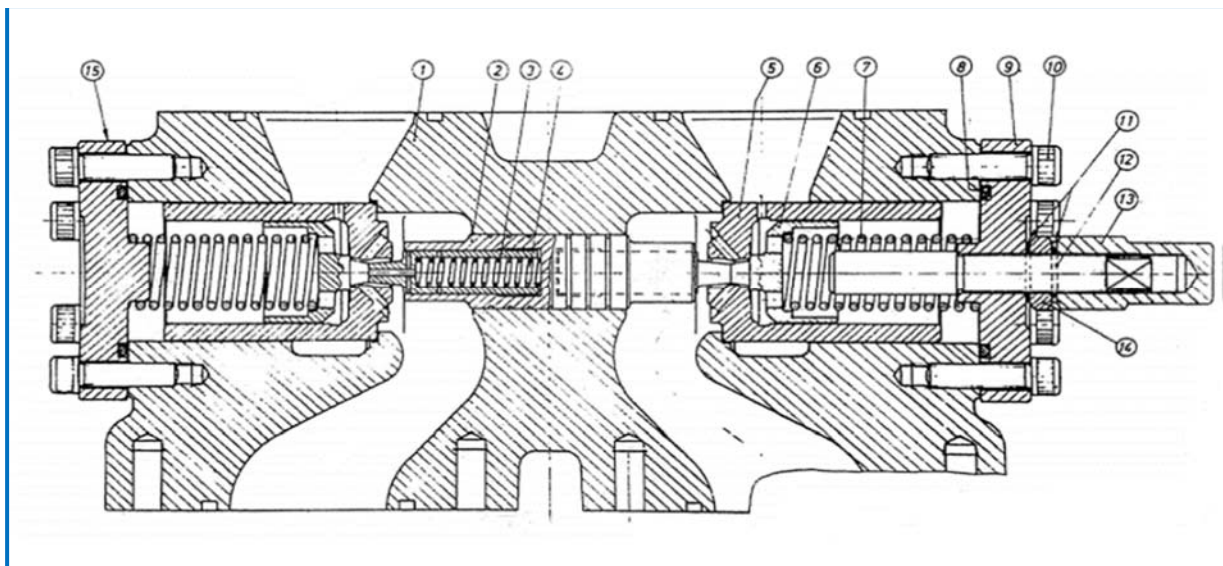
Kada je pramčanica broda dostigla smjer (kurs) -Kk, odašilje se impuls koji pumpu prebacuje u režim "praznog hoda".



Kada je kormilarski uređaj u stanju praznog hoda tada ulje koje ulazi putem tlačnog voda u razvodnik, vraća se direktno u tank putem povratnog voda, ne obavljajući svoju funkciju.

**Slika 5-30. Kormilarski uređaj u režimu praznog hoda [12]**

Istovremeno blokirajući ventil zatvara dovod ulja u tlačne komore i dovod ulja iz povratnih komora. Rotor kormilarskog stroja ostaje u zadanom položaju sve do pojave novog upravljačkog signala.



- 1) kućište ventila 2)klip 3) klip 4) opruga 5) sjedište ventila 6) pilot ventil 7) opruga 8) o-ring (prsten) 9) poklopac kućišta 10)vijak M12 11)brtva 12)osovina 13)sjedište 14)podloška 15) poklopac kućišta

**Slika 5-31. Blokirajući ventil [12]**

## 6. ZAKLJUČAK

Gotovo sve funkcionalne cjeline na brodovima (nadgrađe, strojarnica s glavnim i pomoćnim strojevima, paluba s palubnim uređajima i strojevima ili teretni i putnički prostor opremljene su i zavisne o nekom hidrauličkom sustavu. Njihova je široka primjena na brodovima, u različitim oblicima zaživjela je zbog svoje robusnosti, sigurnog rada, jednostavnog održavanja i raspoloživosti pričuvnih dijelova. Zbog zahtjeva sigurnosti plovidbe, neki od ključnih hidrauličkih strojeva imaju dvojni sustav napajanja kako bi uz svakom trenutku mogli očuvati svoju funkcionalnost.

Za navigaciju su dostupni različiti tipovi sustava upravljanja kormilarskim uređajem. Ovisno o principu rada i načinu upravljanja klasificirani su u tri osnovne vrste. To su elektro-mehanički, elektro-hidraulični i elektronički sustavi za aktiviranje kormila. Elektro-mehanički kormilarski uređaj nalazi se na malim brodovima. Načelo rada elektro-mehaničkih sustava je da se električni naredbeni signali pretvaraju u mehaničke pokrete uz pomoć pretvarača ili mehaničkih pokretača. Elektromehanički sustav upravljanja jednostavan je, jeftiniji, lako se održava, nema problema s curenjem. Ali ovi sustavi zahtijevaju veliku količinu snage za okretanje kormila i također manje precizni u smislu skretanja kormila. Elektro-hidraulički sustav upravljanja brodom / kormilom temelji se na principu tlaka fluida. Sastoji se od hidrauličkog uređaja koji postavlja položaj kormila pomoću tlaka fluida koji stvara pumpa. U primjeni se nalaze dvije osnovne vrste hidrauličkih kormilarskih uređaja i to klipni i rotacijski.

U ovom završnom radu su dostignuti uvodno postavljeni ciljevi koji su kroz tematska poglavlja sustavno opisani i koncizno prezentirani korištenjem odgovarajućih ilustracija iz dostupne literature i s web prostora.

U razmatranju konkretne teme rada nastojalo se obuhvatiti šire područje korištenja hidrauličkih uređaja za blokiranje izvršnih elemenata odnosno položaja brodskog kormila analizirajući detaljnije funkcioniranje elemenata hidrauličkog kormilarskog uređaja.

## LITERATURA

- [1] HE, »Hrvatska enciklopedija- natuknica Newtonovi zakoni,« 6 2021. [Mrežno]. Dostupno na: <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=43656>. [Pregledano 16 6 2021].
- [2] D. Siminiati, Uljna hidraulika, Rijeka: Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2012.
- [3] Eaton, Industrial Hydraulics Manual Your Comprehensive Guide to Industrial Hydraulics, Cleveland: Eaton Corporation Industrial, 2015.
- [4] ISO, »ISO 1219-1:2012 - Fluid power systems and components — Graphical symbols and circuit diagrams,« [Mrežno]. Dostupno na: <https://www.iso.org/standard/60184.html>. [Pregledano 16 6 2021].
- [5] A. Šestan, Uljna hidraulika i pneumatika, Rijeka: Sveučilište u Rijeci - Pomorski fakultet, 2003.
- [6] J. Petrić, Hidraulika, Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilište u Zagrebu, 2012.
- [7] R. Korbar, Pneumatika i hidraulika, Karlovac: Veleučilište u Karlovcu, 2007.
- [8] Ž. Kurtela, Osnove brodogradarstva, Dubrovnik: Veleučilište Dubrovnik, 2000.
- [9] Marine Insight, »marine engineer knowledge,« Evoma Business Centre, Prestige Featherlite Techpark, 2021. [Mrežno]. Dostupno na: <https://www.marineinsight.com/tech/common-problems-steering-gear-system-of-ships/>. [Pregledano 20 6 2021].
- [10] MacGregor, »Rotary vane steering gear datasheet - Porsgrunn,« MacGregor, 2021. [Mrežno]. Dostupno na: <https://www.macgregor.com/Products/products/steering-gear/rotary-vane-steering-gear/>. [Pregledano 20 6 2021].
- [11] Kobelt, Hydraulic Steering & Accessories, Surrey, British Columbia, Canada: Kobelt, 2021.
- [12] Martinović, D., »Sustav suvremenog kormilarskog uređaja,« 2015. [Mrežno]. Dostupno na: [https://www.pfri.uniri.hr/web/uploads\\_nastava](https://www.pfri.uniri.hr/web/uploads_nastava). [Pregledano 20 6 2021].
- [13] L. & Schmitt, *LS Hydraulic Steering Systems*, Urt: Lecomble & Schmitt S.A.S., 2021.
- [14] V. Ozretić, Brodski pomoćni strojevi i uređaji, 3 ur., Split: Split Ship Management, 1996.

## POPIS TABLICA

Tablica 3-1. Prednost i nedostaci hidrostatskih prijenosnika<sup>12</sup>

Tablica 4-1. Klasifikacija hidrauličnih fluida prema standardu ISO 6743<sup>14</sup> [5, p. 49]

Tablica 4-2. Karakteristike hidrauličkih pumpi i motora<sup>16</sup>

## POPIS SLIKA

Slika 2-1. Horizontalni presjek cilindrične posude [2, p. 21]<sup>3</sup>

Slika 2-2. Princip hidrauličke preše [2, p. 15]<sup>4</sup>

Slika 2-3. Princip pretvorbe tlaka<sup>5</sup>

Slika 2-4. Konstanti volumenski protok - nestišljiv fluid [2, p. 22]<sup>6</sup>

Slika 2-5. Bernoullijev princip [3, p. 37]<sup>7</sup>

Slika 2-6. Princip strukturiranja hidrostatskog sustava [2, p. 8]<sup>8</sup>

Slika 3-1. Shema prijenosa snage herostratskih prijenosnika snage [2, p. 5]<sup>10</sup>

Slika 3-2. Blok-shema hidrostatskog prijenosnika snage<sup>11</sup>

Slika 4-1. Zupčasta pumpa s vanjskim (a) i unutrašnjim (b) ozubljenjem [7]<sup>16</sup>

Slika 4-2. Vijčane pumpe [6, p. 79]<sup>17</sup>

Slika 4-3. Krilna pumpa s regulacijom specifičnog protoka [2, p. 132]<sup>18</sup>

Slika 4-4. Aksijalno klipne pumpe [6, p. 87]<sup>19</sup>

Slika 4-5. Radijalne klipne pumpe [6, p. 84]<sup>21</sup>

Slika 4-6. Dvoradni cilindar [3, p. 151]<sup>22</sup>

Slika 4-7. Cilindar s dvostranom klipnjačom [3, p. 152]<sup>23</sup>

Slika 4-8. Jednoradni cilindri [3, pp. 149-150]<sup>23</sup>

Slika 4-9. Ventili za ograničenje tlaka [6, p. 97]<sup>24</sup>

Slika 4-10. Ventili za reguliranje tlaka [6, p. 100]<sup>25</sup>

Slika 4-11. Načini usporavanja protoka fluida [6, p. 101]<sup>25</sup>

Slika 4-12. Načini reguliranja protoka fluida<sup>26</sup>

Slika 4-13. Središnje pozicije razvodnika<sup>27</sup>

Slika 4-14. Konstrukcijske izvedbe servo-razvodnika<sup>28</sup>

Slika 4-15. Dizajn spremnika ulja [3, pp. 96-98]<sup>29</sup>

Slika 4-16. Rashladnici hidrauličnih fluida [5, p. 153]<sup>30</sup>

Slika 4-17. Hidropneumatski akumulatori s razdjelnim elementom [2, p. 201]<sup>31</sup>

Slika 5-1. Hidraulični kormilarski uređaj s kombiniranim žiro-hidrauličnim upravljanjem [8, p. 133]33

Slika 5-2. Sigurnosni elementi hidrauličkog klipnog kormilarskog uređaja34

Slika 5-2. Rotacijski hidraulički kormilarski stroj [8], [9].36

Slika 5-3. Hidraulični kormilarski sustav na jedrilicama (s mogućnošću blokiranja kormila) [11, p. 25]38

Slika 5-5. Kormilarski uređaj u režimu praznog hoda [12]39

Slika 5-6. Blokirajući ventil [12]40