

Hidraulični sustav suvremenog kormilarskog uređaja

Rušnjak, Andrej

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:948880>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-05**



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

ANDREJ RUŠNJAK

**HIDRAULIČNI SUSTAV SUVREMENOG KORMILARSKOG
UREĐAJA**

ZAVRŠNI RAD

Rijeka, 2024.

SVEUČILIŠTE U RIJECI

POMORSKI FAKULTET

**HIDRAULIČNI SUSTAV SUVREMENOG KORMILARSKOG
UREĐAJA**

HYDRAULIC SYSTEM OF MODERN STEERING GEAR

ZAVRŠNI RAD

BACHELOR THESIS

Kolegij: Brodska hidraulika i pneumatika

Mentor: mr. sc. Rikard Miculinić

Student: Andrej Rušnjak

Studijski smjer: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112072631

Rijeka, srpanj 2024.

Student: Andrej Rušnjak

Studijski program: brodstrojarstvo

JMBAG: 0112072631

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom
hidraulični sustav suvremenog kormilarskog uređaja

izradio samostalno pod mentorstvom mr. sc. Rikarda Miculinića

te komentorstvom _____

stručnjaka/stručnjakinje 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 povezo/la s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student



Ime i prezime studenta
Andrej Rušnjak

Student: Andrej Rušnjak

Studijski program: brodstrojarstvo

JMBAG: 0112072631

IZJAVA STUDENTA – AUTORA
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

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

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

Student - autor



SAŽETAK

U ovom radu istražuju se hidraulični sustavi modernih kormilarskih uređaja. Cilj i zadaci rada bili su objasniti kako ovi sustavi rade i zašto su važni, kao i kako se primjenjuju pravila SOLAS konvencije. U dijelu Funkcija i podjela kormilarskih uređaja opisane su glavne vrste kormilarskih uređaja. Osnovne karakteristike hidrauličnih kormilarskih uređaja objašnjavaju kako ti sustavi funkcioniraju i koje su njihove prednosti.

Posebno su obrađeni Hidraulični krilni kormilarski uređaj i Hidraulični klipni kormilarski uređaj, gdje je detaljno opisana njihova primjena i rad. Jedan od važnih dijelova rada je i Opis aksijalne klipne pumpe s nagibnim rotorom, koja je ključna za rad ovih sustava.

Također su analizirani Pomoćni elementi kao što su filteri i sigurnosni ventili, koji su važni za siguran rad sustava. U dijelu Funkcija hidrauličnog fluida i Osnovna svojstva hidrauličnih fluida objašnjeno je zašto je hidraulični fluid bitan i kako njegovo stanje utječe na rad sustava.

Zaključak rada ističe da su hidraulični sustavi modernih kormilarskih uređaja ključni za precizno i pouzdano upravljanje brodovima. Pravilno održavanje i poštivanje sigurnosnih standarda su neophodni za njihov dugotrajan rad.

Ključne riječi: kormilarski uređaji, krilni kormilarski uređaj, klipni kormilarski uređaj, pumpe, filteri, sigurnosni ventili, fluidi.

SUMMARY

This paper explores the hydraulic systems of modern steering gear devices. The Goal and Objectives were to explain how these systems work and why they are important, as well as how the SOLAS convention rules apply. The section Function and Classification of Steering Gear Devices describes the main types of steering gear devices. Basic Characteristics of Hydraulic Steering Gear Devices explains how these systems function and their advantages.

Special focus is given to the Hydraulic Vane Steering Gear Device and the Hydraulic Piston Steering Gear Device, detailing their applications and operations. An important part of the paper is the Description of the Axial Piston Pump with Tilting Rotor, which is crucial for the operation of these systems.

Additionally, Auxiliary Components such as filters and safety valves are analyzed, highlighting their importance for safe system operation. In the sections Function of Hydraulic Fluid and Basic Properties of Hydraulic Fluids, the significance of hydraulic fluid and how its condition affects system performance are explained.

The conclusion emphasizes that hydraulic systems of modern steering gear devices are essential for precise and reliable ship maneuvering. Proper maintenance and adherence to safety standards are necessary for their long-term operation.

Key words: steering gear devices, Hydraulic Vane Steering Gear, Hydraulic Piston Steering Gear Device, pump, safety valve, fluid.

SADRŽAJ

SAŽETAK.....	I
SUMMARY	I
SADRŽAJ	III
1. UVOD.....	1
2. SOLAS KONVENCIJA	2
3. MANEVRIRANJE I UPRAVLJANJE BRODOM	4
3.1. POVIJEST UPRAVLJANJA BRODOM.....	4
3.2. BUDUĆNOST UPRAVLJANJA BRODOM	5
4. DJELOVI I OSNOVNI PRINCIP RADA U HIDRAULICI.....	6
5. PUMPE.....	9
5.1. AKSIJALNE KLIPNE PUMPE SA NAGIBNOM PLOČOM	9
5.2. AKSIJALNE KLIPNE PUMPE SA NAGIBNIM ROTOROM.....	11
5.3. RADIJALNE KLIPNE PUMPE.....	12
5.4. ZUBČASTE PUMPE	14
6. POMOĆNI ELEMENTI.....	14
6.1. FILTERI.....	15
6.2. AKUMULATORI.....	16
6.3. SPREMNICI.....	16
7. UPRAVLJAČKI I REGULACIJSKI ELEMENTI.....	17
7.1. SIGURNOSNI VENTIL.....	18
7.2. NEPOVRATNI VENTIL.....	19
7.3. VENTIL REGULACIJE PROTOKA	20
7.4. RAZVODNICI	21
8. AKTUATORI	22
8.1. LINEARNI AKTUATOR	22

8.2.	ROTACIJSKI AKTUATOR	23
9.	SVOJSTVA HIDRAULIČNIH FLUIDA	24
9.1.	GUSTOĆA FLUIDA	25
9.2.	VISKOZNOST FLUIDA	25
9.3.	STLAČIVOST.....	26
10.	HIDRAULIČKI KRILNI KORMILARSKI UREĐAJ	27
11.	HIDRAULIČKI LINEARNI KORMILARSKI SUSTAV.....	30
11.1.	HIDRAULIČKI LINEARNI KORMILARSKI SUSTAV SA DVA CILINDRA	30
11.2.	HIDRAULIČKI LINEARNI KORMILARSKI SUSTAV SA ČETIRI CILINDRA	33
12.	ZAKLJUČAK.....	35
13.	LITERATURA	36
14.	POPIS SLIKA	37
15.	POPIS SHEMA	37

1. UVOD

Hidraulični sustavi igraju ključnu ulogu u suvremenoj brodogradnji, posebno u kontekstu upravljanja brodovima. Kormilarski uređaji, koji omogućuju precizno i učinkovito zakretanje kormila, nezamjenjivi su za sigurno i pouzdano manevriranje brodovima različitih veličina i namjena. U ovom radu fokusirat ćemo se na hidraulične sustave suvremenih kormilarskih uređaja, analizirajući njihov princip rada, sastavne dijelove i primjenu u praksi.

Međunarodna konvencija o sigurnosti života na moru (SOLAS) predstavlja temeljni regulativni okvir koji definira minimalne standarde sigurnosti za kormilarske uređaje na brodovima. Razumijevanje SOLAS konvencije i njezinih propisa ključno je za pravilnu primjenu i održavanje hidrauličnih sustava u pomorstvu.

Suvremeni hidraulični sustavi na velikim brodovima temelje se na principu prijenosa snage putem hidrostatskog tlaka, što omogućuje visoku preciznost i kontrolu u radu kormilarskih uređaja. Detaljno je analizirano hidraulički sustavi klipnih kormilarskih uređaja s dva i četiri cilindra te hidraulički sustav krilnih kormilarskih uređaja

2. SOLAS KONVENCIJA

SOLAS je skraćenica za "Međunarodna konvencija o sigurnosti života na moru" (*eng. International Convention for the Safety of Life at Sea*). Riječ je o međunarodnom pomorskom ugovoru koji postavlja minimalne sigurnosne standarde za gradnju, opremu i operacije trgovačkih brodova. Primarni cilj SOLAS konvencije je specificirati standarde koji osiguravaju da brodovi poštuju sigurnosne mjere koje štite živote putnika i posade. SOLAS konvencija je prvi put usvojena 1914. godine kao odgovor na katastrofu Titanica. Od tada je više puta ažurirana i dopunjena. Najnovija verzija je SOLAS 1974, koja je do sada više puta dopunjena kako bi ostala relevantna. podijeljena je u 12 poglavlja. Poglavlje II-1 - Dio C - Odredba br.29 sadrži propise za kormilarski uređaj, i Odredba br.30 sadrži propise za električne i elektrohidraulične kormilarske uređaje

1. Glavni i pomoćni kormilarski uređaji

- Osim ako nije izričito drugačije predviđeno, svaki brod mora biti opremljen glavnim kormilarskim uređajem i pomoćnim kormilarskim uređajem na zadovoljstvo nadležnog tijela. Glavni kormilarski uređaj i pomoćni kormilarski uređaj moraju biti tako postavljeni da kvar jednog od njih neće učiniti drugi neoperativnim.

2. Komponente kormilarskog uređaja

- Konstrukcija komponenata: Sve komponente kormilarskog uređaja i osovina kormila moraju biti izrađene od pouzdanih i kvalitetnih materijala, što zadovoljava nadležno tijelo. Posebna pažnja mora se posvetiti prikladnosti bilo koje ključne komponente koja nije duplicirana. Svaka takva ključna komponenta, gdje je prikladno, treba koristiti ležajeve bez trenja kao što su kuglični ležajevi, valjkasti ležajevi ili ležajevi s rukavcima, koji moraju biti trajno podmazani ili opremljeni uređajima za podmazivanje.
- Konstrukcijski pritisak: Konstrukcijski pritisak za izračunavanje dimenzija cijevi i drugih komponenti kormilarskog uređaja izloženih unutarnjem hidrauličkom pritisku mora biti najmanje 1,25 puta veći od maksimalnog radnog pritiska koji se očekuje pod operativnim uvjetima navedenim u odlomku 3.2, uzimajući u obzir bilo koji pritisak koji može postojati na niskotlačnoj strani sustava. Nadležno tijelo može primijeniti kriterije zamora materijala za konstrukciju cijevi i komponenti, uzimajući u obzir pulsirajuće pritiske uzrokovane dinamičkim opterećenjima.

- Sigurnosni ventili: Sigurnosni ventili moraju biti postavljeni na svaki dio hidrauličkog sustava koji može biti izoliran i u kojem se pritisak može generirati iz izvora napajanja ili vanjskih sila. Postavka sigurnosnih ventila ne smije prelaziti konstrukcijski pritisak. Ventili moraju biti odgovarajuće veličine i tako postavljeni da se izbjegne prekomjerno povećanje pritiska iznad konstrukcijskog pritiska.
3. Glavni kormilarski uređaj i osovina kormila moraju biti:
- Dovoljno čvrsti i sposobni upravljati brodom pri maksimalnoj brzini naprijed, što se mora demonstrirati.
 - Sposobni zakrenuti kormilo s 35° na jednu stranu na 35° na drugu stranu pri najvećem gazu broda i pri maksimalnoj brzini naprijed, po istim uvjetima od 35° so 30° u roku od najviše 28 sekundi. Ako je ovo nepraktično tijekom pokusnih vožnji, ispunjenje ovog zahtjeva može se dokazati na jedan od sljedećih načina:
 - Tijekom pokusnih vožnji brod je u ravnoteži, a kormilo je potpuno uronjeno pri maksimalnoj brzini naprijed.
 - Ako se potpuno uranjanje kormila ne može postići tijekom pokusnih vožnji, izračunava se odgovarajuća brzina naprijed koristeći površinu uronjenog dijela kormila pri uvjetima pokusnih vožnji. Izračunata brzina naprijed mora rezultirati silom i momentom na glavni kormilarski uređaj kao pri najvećem gazu broda.
 - Sila i moment na kormilo pri uvjetima pokusnih vožnji pouzdano su predviđeni i ekstrapolirani na uvjete potpunog opterećenja. Brzina broda mora odgovarati maksimalnom broju kontinuiranih okretaja glavnog motora i maksimalnom dizajnerskom nagibu propelera.
 - Pogonjene snagom, gdje je potrebno, kako bi se ispunili zahtjevi iz stavka 3.2, i u svakom slučaju kada nadležno tijelo zahtijeva osovina kormila promjera preko 120 mm, isključujući pojačanja za navigaciju po ledu.
 - Tako dizajnirani da ne budu oštećeni pri maksimalnoj brzini unatrag; ovaj dizajnerski zahtjev ne mora se dokazivati pokusnim vožnjama pri maksimalnoj brzini unatrag i maksimalnom kutu kormila.

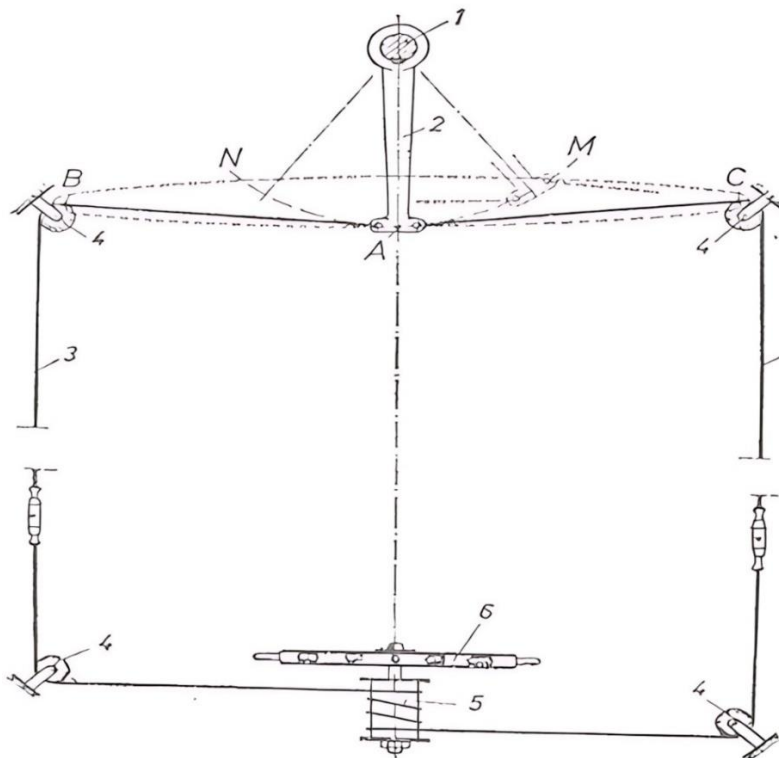
3. MANEVRIRANJE I UPRAVLJANJE BRODOM

Manevriranje brodom odnosi se na kontrolu kretanja broda, posebno prilikom složenih radnji kao što su pristajanje, isplovljavanje, zaokretanje i izbjegavanje prepreka korištenjem vesla, kormila, propulzije, navigacijskih instrumenata, Sve ove aktivnosti moraju se obavljati uz maksimalnu sigurnost uključujući planiranje rute, praćenja uvjeta na moru i primjena sigurnosnih mjera kao šta je Korištenje sigurnosne opreme, pridržavanje sigurnosnih protokola i osiguravanje da posada bude spremna za hitne slučajeve.

3.1. POVIJEST UPRAVLJANJA BRODOM

Mornari su kroz povijest koristili različite tehnike za upravljanje svojim brodovima. Jedna od najranijih metoda bila je upotreba vesla. Veslanjem na jednoj strani broda mogli su mijenjati smjer plovidbe. Ova metoda, iako jednostavna, zahtijevala je fizički napor i koordinaciju.

Kasnije je uvedeno kormilo, koje je bilo ravni komad drveta ili metala postavljen na krmi broda. Kormilo je omogućilo učinkovitije upravljanje, jer je bilo jednostavnije kontrolirati smjer broda pomicanjem kormila nego veslanjem.



Slika 1. Sustav za zakretanje kormila koji se sastoji od kormilarskog

Izvor: Pelić. V. prezentacija iz brodskih pomoćnih strojeva i uređaja

Tek u 18. stoljeću pojavljuje se upravljač, što je mornarima pružilo intuitivniju i pouzdaniju metodu upravljanja. Upravljač se sastojao od drvenog ili metalnog kotača spojenog konopima na sustav kormila. Ovaj sustav omogućio je mornarima da promijene smjer kretanja broda okretanjem volana, što je bilo značajno lakše i preciznije u odnosu na ranije metode.

Kombinacija kormila i upravljača revolucionirala je navigaciju, omogućujući brodovima da plove učinkovitije i sigurnije kroz različite morske uvjete. Ovi povijesni napredci u tehnologiji upravljanja brodovima postavili su temelje za moderne navigacijske sustave koji se danas koriste u globalnom pomorstvu.

Kormilo broda doživjelo je nekoliko modifikacija u suvremenoj eri, kako hidraulični i elektronički sustavi upravljanja postaju sve popularniji. Ovi sustavi nude precizniju i bržu kontrolu, čineći ih atraktivnim izborom za suvremene brodove. Međutim, oni također dolaze s višom cijenom i povećanom složenošću, što može biti nedostatak za neke korisnike.

Hidraulični sustavi upravljanja koriste pumpu za pomicanje cilindra, što rezultira poboljšanom povratnom informacijom i kontrolom, iako zahtijevaju više održavanja i veće troškove. Glavni elementi hidrauličnog sustava upravljanja na brodu uključuje kormilo, hidrauličku pumpu i motor, hidrauličke visokotlačne cijevi i ventile, kormilarsko kolo

Unatoč povećanim troškovima, hidraulični sustavi upravljanja postali su pristupačniji za manja plovila u posljednjih nekoliko godina.

3.2. BUDUĆNOST UPRAVLJANJA BRODOM

Odvija se značajna transformacija: uspon autonomnih brodova. Ova samonavigirajuća plovila, postupno zauzimaju svoje mjesto u pomorskoj industriji.

Autonomni brodovi, često nazvani bespilotnim plovilima, su kao samostalni mornari mora. Oni mogu obavljati zadatke bez potrebe za izravnim ljudskim angažmanom na brodu. Ovi brodovi koriste napredne tehnologije poput senzora, umjetne inteligencije (AI) i samoučećih sustava kako bi sigurno navigirali, izbjegavali prepreke, planirali rute i izvršavali druge važne funkcije. Dolaze u različitim veličinama, od malih brodica do velikih kontejnerskih brodova,

Autonomni brodovi predstavljaju značajan korak naprijed u pomorskoj industriji, nudeći potencijalne prednosti u pogledu sigurnosti, učinkovitosti i ekonomske isplativosti. Međutim, također donose nove izazove i zahtijevaju pažljivo razmatranje sigurnosnih, regulatornih i etičkih pitanja.

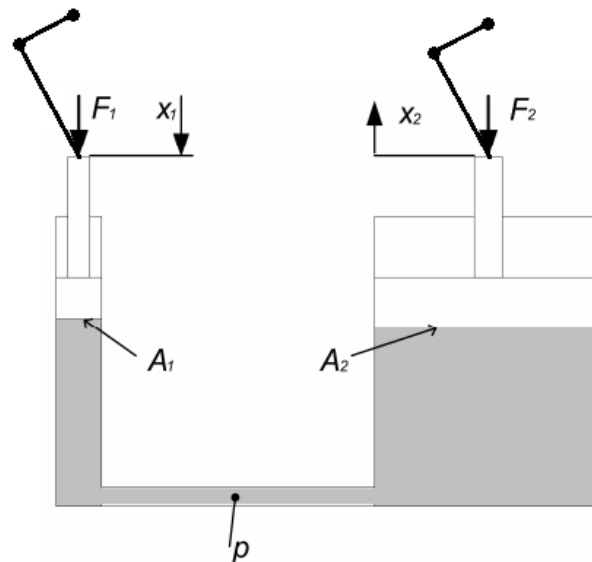
Ovaj novi tehnološki napredak obećava oblikovanje budućnosti pomorstva na način koji smo donedavno mogli samo zamisliti.

Kod budućnosti kormilarških sustava cilj je povećati Energetsku učinkovitost, Smanjiti buku, Smanjiti volumeni spremnik, povećati nivo pritiska i smanjiti prostor za instalaciju Poboľšana svojstva materijala i ulja, Omogućiti veću dostupnosti i održavanje, povećati Sigurnost, pojednostaviti korištenja i Softver za puštanje u rad.

4. DJELOVI I OSNOVNI PRINCIP RADA U HIDRAULICI

Osnovni princip rada hidrostatskih prijenosnika snage temelji se na prijenosu snage preko fluida koji povezuje hidrauličnu pumpu i hidraulični motor. Energija prenesena fluidu, u obliku tlaka i protoka, omogućava rad sustava. Hidraulična pumpa potiskuje fluid u sustav dok tlak fluida uzrokuje okretanje motora.

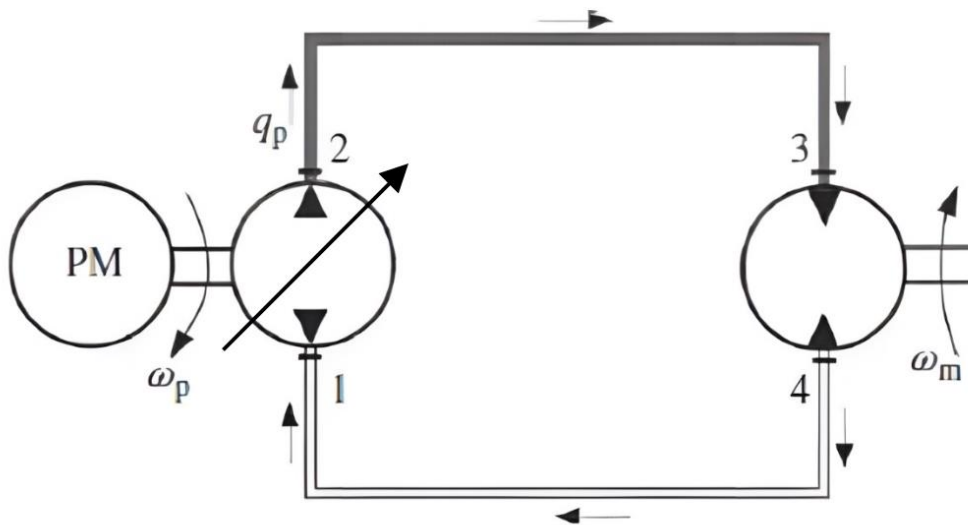
Prikazan je osnovni princip rada hidrostatskog motora i pumpe. S lijeve strane slike, u obliku klipnog ili stapnog mehanizma, prikazana je pumpa koja potiskuje fluid silom F_1 , stvarajući tlak u sustavu. Sa desne strane je također u obliku klipnog ili stapnog mehanizma, prikazan motor kod kojeg se zbog nastalog tlaka pomiče stap i zakreće vratilo. Iz slike je jasno da nije moguće pokretati pumpu ako je motor zaustavljen.



Slika 2. Hidrostatički prijenosnik

Izvor: Petrić J. , 2012. g. , Hidraulika i pneumatika, 1

Slika prikazuje najosnovniji oblik hidrostatskog prijenosnika. Pogonski stroj (PM) pokreće pumpu promjenjive dobave, koja može mijenjati smjer protoka. Usisna strana (1) i tlačna strana (2) povezane su cjevovodom na ulaznu (3) i izlaznu stranu (4) dvosmjernog motora. Ovaj sustav omogućuje dvosmjerno kretanje fluida, što omogućava promjenu smjera rada motora.



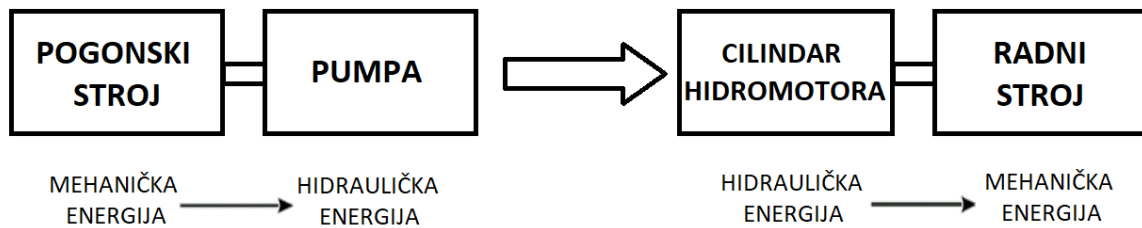
Slika 3. osnovni oblik hidrodinamičkog prijenosnika sa pumpom promjenjive dobave i pumpom promjenjivog smjera dobave

Izvor: *Regulacija hidrauličkih i pneumatskih sustava* Dr. sc. Željko Šitum

Dobava pumpe (q_p) je umnožak brzine vrtnje pogonskog stroja (ω_p) i jediničnog volumena pumpe (D_p), što se može izraziti formulom:

$$q_p = \omega_p \cdot D_p$$

Dijelovi hidrodinamičkog prijenosnika snage sastoje se od pogonskog stroja koji pogoni pumpu. Pumpa pretvara mehaničku energiju u hidrauličku energiju, koja se zatim putem hidrauličkih cilindara prenosi na radni stroj, pretvarajući hidrauličku energiju natrag u mehaničku energiju.

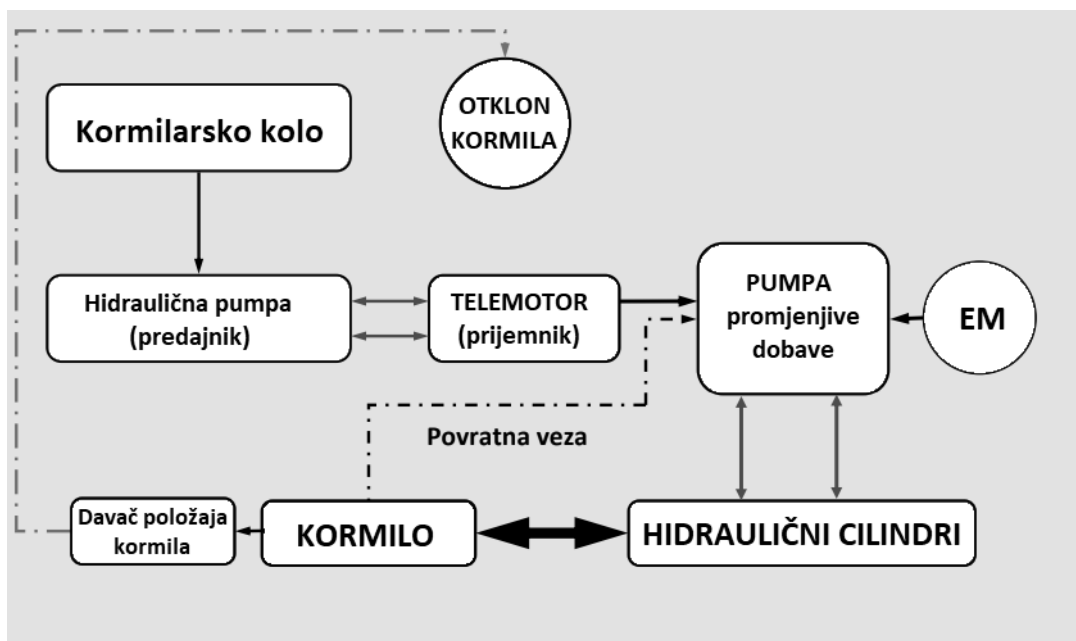


shema 1. jednostavan prikaz prijelaza mehaničke u hidrauličku i hidrauličke u mehaničku energiju

Izvor: izradio student

Na shemi 2. vidimo cjelokupni elektro-hidraulički kormilarski sustav. Prikazuje postupak od početka, počevši od kormilarskog kola, pa sve do kormila, objašnjavajući kako se proces odvija kroz sustav.

Izvor energije u sustavu može biti elektromotor, motor sa unutarnjim izgaranjem ili parna turbina, dok je pretvarač energije pumpa promjenjive dobave s radijalnim ili aksijalnim klipovima, zupčaste, krilne i vijčane pumpe. Reguliraju se razvodnicima, ventilima (sigurnosnim, nepovratnim i kontrole protoka). Pomoćni elementi sustava uključuju filtere, akumulatore i spremnike. Aktuatori, korisnika energije uključuju vitla, transportna sredstva, alatne strojeve i u ovom slučaju kormilo.



shema 2. prikaz Elektro-hidraulični kormilarski sustav

izvor: Pelić. V. prezentacija iz brodskih pomoćnih strojeva i uređaja

5. PUMPE

Pumpe su najčešći strojevi na brodovima. U njima se mehanička energija pretvara u hidrauličku energiju fluida koji se pumpa. Njihova svrha je premještanje raznih fluida, kao što su: Destilati, Kaljuža, Viskozne tekućine, Agresivne tekućine, Morska i Slatka voda, Goriva i ulje kao najvažniji fluid za hidraulički sustav.

	Volumetrijske (stapne)	Dinamičke (centrifugalne)
Protok	Diskontinuiran	Kontinuiran
Tlak (napor)	Vrlo visok	Nizak (za jedan stupanj)
Ovisnost protoka o tlaku	Zanemariva	Velika
Mogućnost usisa	Samousisne	Potrebna pomoć

Tablica 1. prikaz razlike volumetrijskih i hidrauličkih pumpi

izvor: Pelić. V. prezentacija iz brodskih pomoćnih strojeva i uređaja

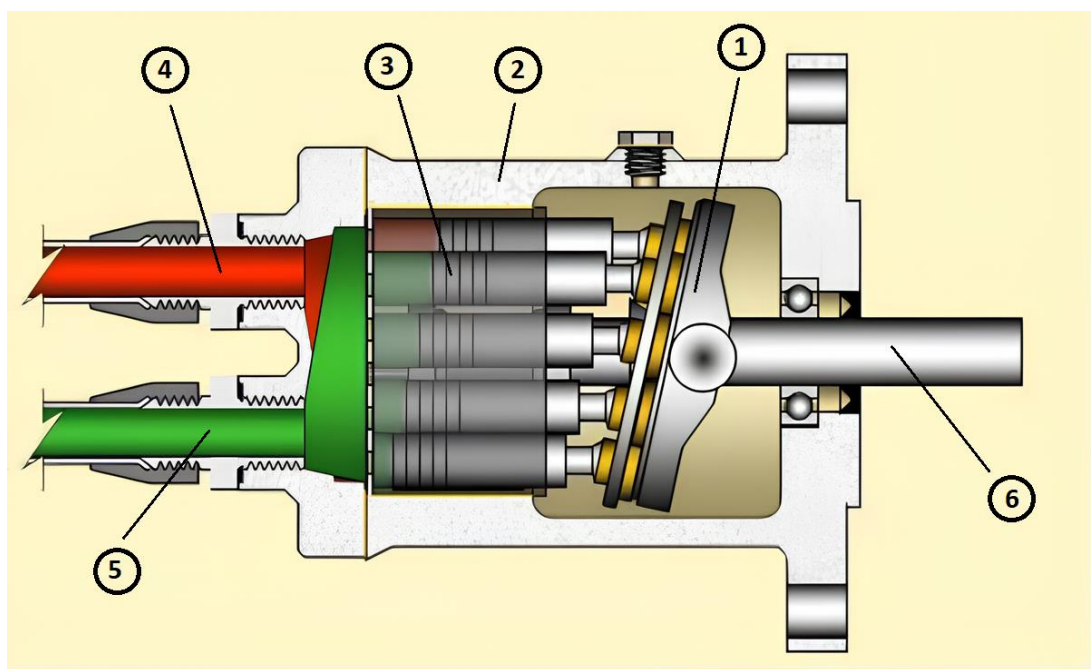
Pumpe se dijele na Dinamičke (centrifugalne, dijagonalne i aksijalne), Mlazne (ejektori) i najbitnije kod hidrauličkog sustava volumetrijske (klipne i stapne, vijčane, zupčaste, krilne, membranske)

5.1. AKSIJALNE KLIPNE PUMPE SA NAGIBNOM PLOČOM

Ova pumpa ima vratilo koje okreće cilindarsko kućište zajedno s klipovima, koji su postavljeni aksijalno, odnosno paralelno s osi rotacije. Cilindarsko kućište je pritisnuto uz razvodno zrcalo, koje ima usisne i tlačne kanale koji vode izvan kućišta pumpe, zbog toga što nema ventile dobava je jednolika. Klipovi su povezani s nagibnom pločom pomoću kliznih ležajeva (papuča). Nagibna ploča ostaje nepomična dok se cilindarsko kućište i klipovi rotiraju, što uzrokuje aksijalno pomicanje klipova. Klizne papuče su povezane pričvrstnom pločom, a nagibna ploča ima mogućnost promjene kuta nagiba u odnosu na os rotacije.

Promjena kuta nagiba nagibne ploče omogućava regulaciju količine fluida i smjer dobave koji se pumpa, čime se kontrolira izlazni tlak i protok pumpe. Ako ostane okomito na os rotacije dobave nema. Ovakav dizajn pumpe omogućava visoku efikasnost i preciznu kontrolu, što je posebno važno u brodskim sustavima gdje je pouzdanost i prilagodljivost ključna. Aksijalne klipne pumpe često se koriste za prijenos viskoznih i agresivnih tekućina, te su sposobne raditi pod visokim pritiscima, što ih čini idealnim za razne brodske aplikacije, uključujući sustave goriva, ulja, hidraulike i rashladne tekućine.

Osim toga, održavanje ovih pumpi je relativno jednostavno zbog njihove modularne konstrukcije, što omogućava brzu zamjenu dijelova i smanjuje vrijeme zastoja. To ih čini ne samo pouzdanim već i ekonomičnim izborom za dugotrajnu uporabu na brodovima zato i jesu najupotrebljavanije pumpe današnjice skupa sa ostalim klipnim i stapnim pumpama



Slika 4. aksijalna klipna pumpa sa nagibnom pločom

izvor: Pelić. V. prezentacija iz brodskih pomoćnih strojeva i uređaja

1. Nagibna ploča
2. Kućište cilindra
3. Klipovi
4. Tlačni protočni kanali
5. Usisni protočni kanali
6. Vratilo pumpe

5.2. AKSIJALNE KLIPNE PUMPE SA NAGIBNIM ROTOROM

Aksijalno klipna pumpa s nagibnim rotorom je slična aksijalnoj klipnoj pumpi s nagibnom pločom, kod koje je cilindarsko kućište (rotor) postavljeno pod određenim kutom u odnosu na pogonsko vratilo. Dobava pumpe ovisi o kutu nagiba rotora. Rotor se okreće pomoću klipova koji se naizmjenično pomiču preko prirubnice sa kojom je rotor povezan pomoću igličastog ležaja.



Slika 5. aksijalna klipna pumpa sa nagibnim rotorom

Izvor: wikipedija, hidrauličke pumpe

Spoj klipova i prirubnice izveden je pomoću stapajice, dok su klipovi i stapajica također povezani na isti način kako bi kompenzirale zakrivljenu putanju. Stapajica prenosi sile s prirubnice na klipove, omogućujući aksijalno pomicanje klipova, odnosno usis i tlačenje fluida. Usisna i tlačna strana aksijalnih pumpi je podijeljena pomoću provrta na razvodnom zracu.

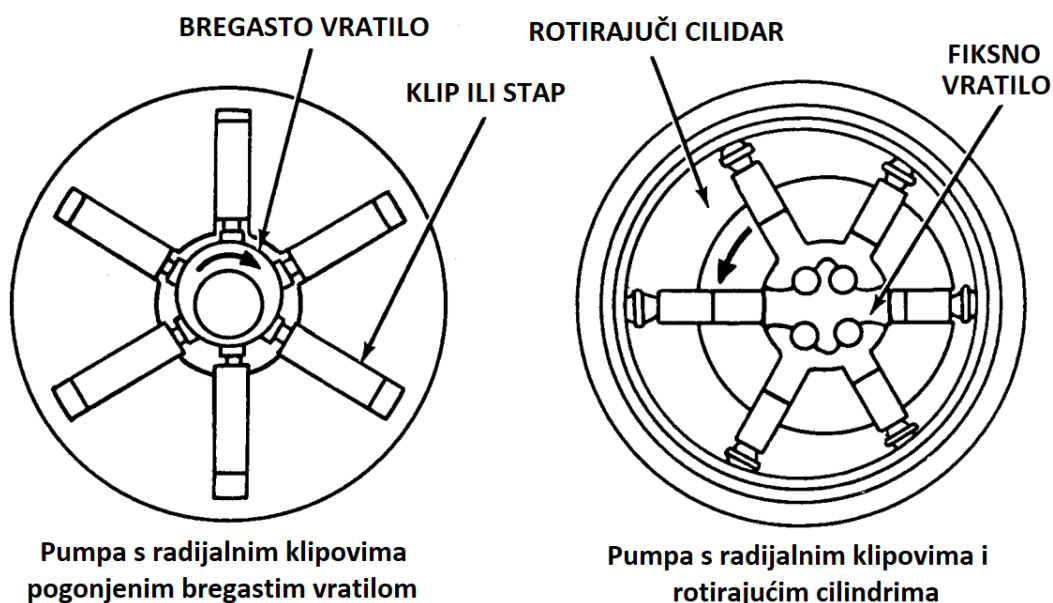
Ove pumpe imaju različite izvedbe, gdje se spoj rotora i pogonskog vratila ostvaruje pomoću kardanskog spoja ili pomoću zupčanika.

Dodatno, aksijalno klipne pumpe s nagibnim rotorom često se koriste u aplikacijama koje zahtijevaju promjenjivu izlaznu snagu i fleksibilnost kao što je potrebno kod kormilarških sustava. Takav dizajn omogućava preciznu kontrolu nad radnim parametrima pumpe, što je ključno u industrijskim primjenama poput hidrauličkih sustava, sustava za podmazivanje i hlađenje te različitih procesnih sustava.

Ove pumpe su poznate po svojoj pouzdanosti i dugotrajnosti, uz jednostavno održavanje zahvaljujući modularnoj konstrukciji koja omogućava brzu zamjenu dijelova i minimalizaciju zastoja. Stoga su aksijalno klipne pumpe s nagibnim rotorom nezamjenjive u mnogim tehnološkim i industrijskim okruženjima gdje je potrebna visoka učinkovitost i prilagodljivost.

5.3. RADIJALNE KLIPNE PUMPE

Radialne klipne pumpe možemo podijeliti na pumpe s radialnim klipovima pogonjenim bregastim vratilom i pumpe s radialnim klipovima i rotirajućim cilindrima.



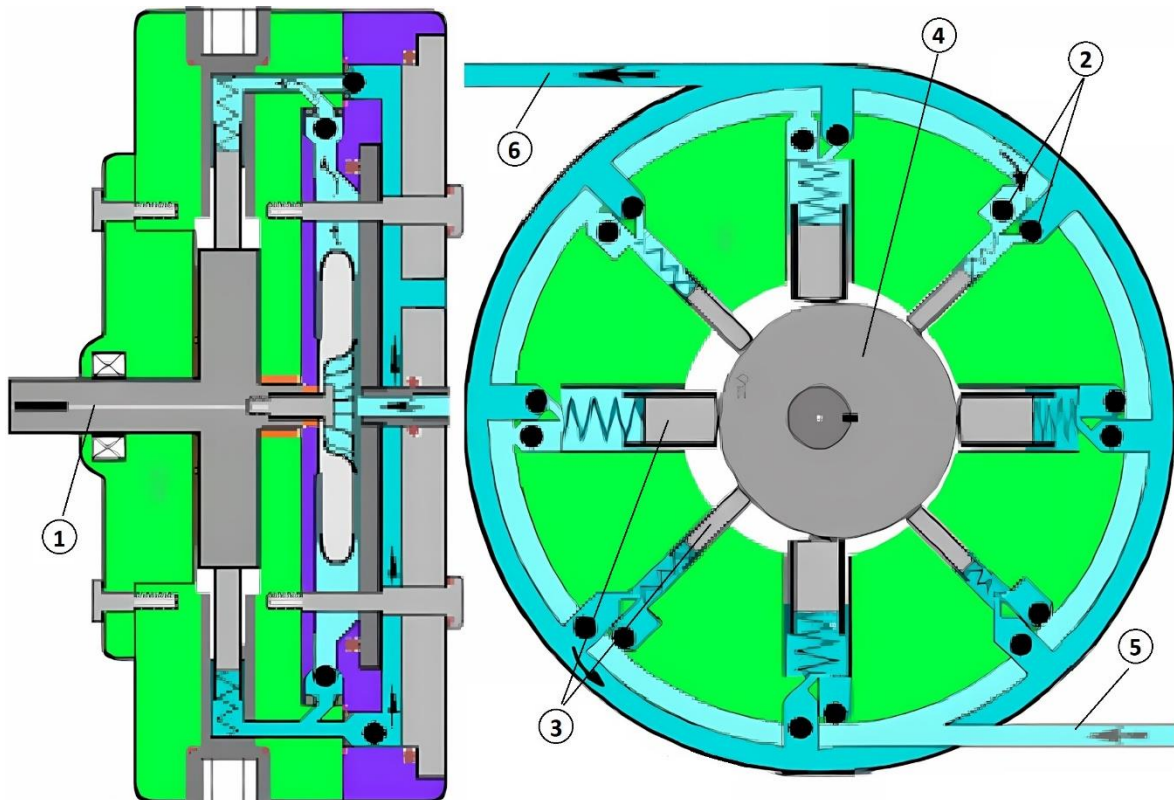
Slika 6. pumpe s radialnim klipovima pogonjene bregastim vratilom i rotirajućim cilindrima

izvor: Pelić. V. prezentacija iz brodskih pomoćnih strojeva i uređaja

Pumpe s radialnim klipovima pogonjenim bregastim vratilom gdje ekscentrično vratilo pokreće klipove koji su raspoređeni radialno unutar cilindara. Vratilo stvara

ekscentrično gibanje koje uzrokuje pomicanje klipova prema van i prema unutra, što omogućava usisavanje i tlačenje tekućine.

Pumpe s radijalnim klipovima i rotirajućim cilindrima - U ovom tipu pumpe, cilindri zajedno s klipovima rotiraju oko centralne osi. Ovdje se klipovi pokreću zbog rotacije cilindra, a usisavanje i tlačenje tekućine ostvaruje se zahvaljujući promjeni volumena unutar cilindra tijekom rotacije.



Slika 7. pumpa sa radijalnim klipovima pogonjenim bregastim vratilom

izvor: Pelić. V. prezentacija iz brodskih pomoćnih strojeva i uređaja

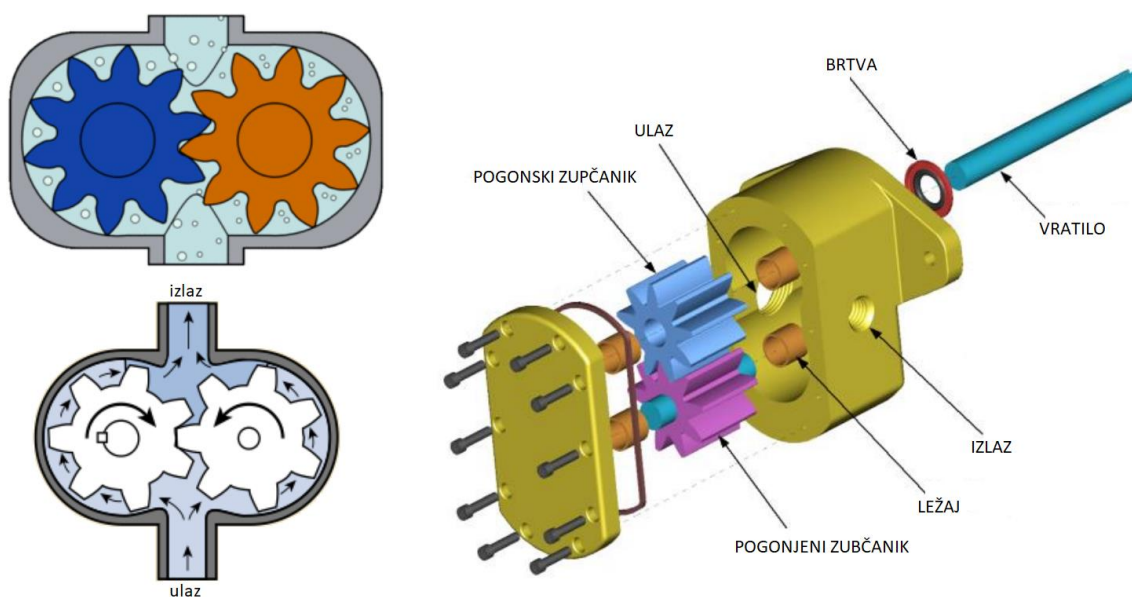
1. Vratilo
2. Kuglični ventili
3. Klipovi
4. Ekscentrični brijeg
5. Dovod fluida
6. Odvod fluida

5.4. ZUBČASTE PUMPE

Zupčaste pumpe se sastoje od dva međusobno spregnuta zupčanika smještena unutar kućišta pumpe, pri čemu jedan zupčanik pogonski a drugi je pogonjeni.

Tlačne komore su prostori između zubaca zupčanika i unutarnje strane kućišta pumpe. Kada se zupčanici okreću, oni zahvaćaju fluid u ove komore i prenose ga sa usisne na tlačnu stranu pumpe. Vakuum potreban za usisavanje fluida nastaje kada zubac jednog zupčanika izađe iz prostora između zubaca drugog zupčanika, čime se povećava volumen i stvara podtlak.

Dobavni volumen pumpe ovisi o prostoru između zubaca zupčanika i brzini njihove rotacije. Ova konstrukcija omogućuje učinkovit prijenos fluida, čineći zupčaste pumpe idealnim za razne hidrauličke aplikacije. Koriste u hidrauličnim sustavima zbog svoje jednostavnosti, niske cijene, pouzdanosti i sposobnosti dostizanja visokih radnih tlakova. Ove pumpe



Slika 8. zubčasta pumpa

izvor: Pelić. V. prezentacija iz brodskih pomoćnih strojeva i uređaja

6. POMOĆNI ELEMENTI

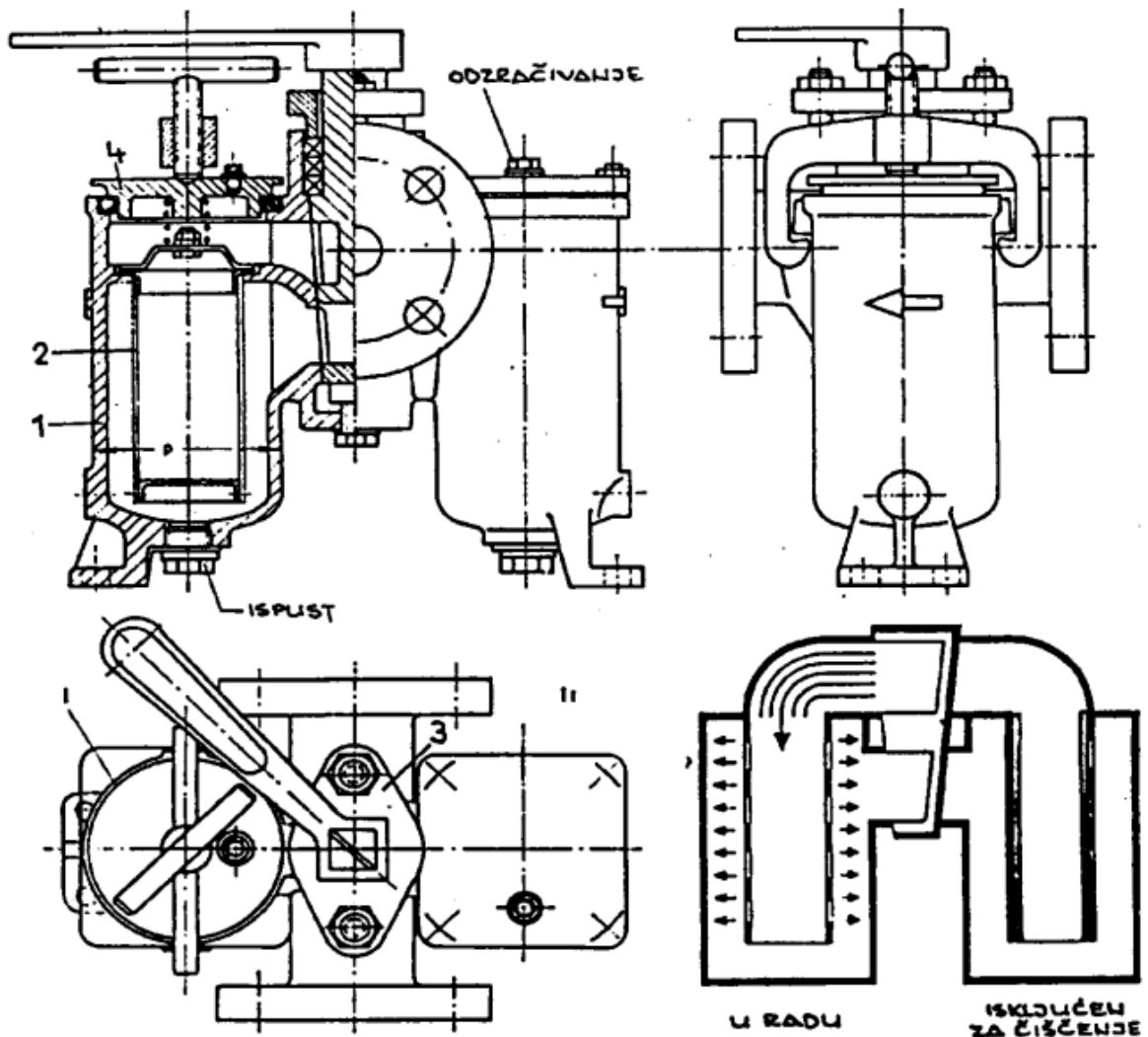
Pomoćni elementi hidrauličnih sustava igraju ključnu ulogu u osiguravanju pravilnog funkcioniranja, održavanja i pouzdanosti sustava. Ovi elementi ne sudjeluju izravno u

prijenosu snage, ali podržavaju rad glavnih komponenti. Evo nekoliko ključnih pomoćnih elemenata: uključuju filtere, akumulatore i spremnike,

6.1. FILTERI

Filteri uklanjaju nečistoće iz hidrauličnog fluida, čime se sprječava oštećenje pumpi, ventila i aktuatora od raznih nečistoća i čestica uzrokovane trošenjem. Kod kormilarskog sustava vazno je jednom godišnje otvoriti i očistiti filter ulja za dugovječnost i učinkovitost sustava

Vrste filtera mogu varirati od jednostavnih do automatiziranih samočistivih i rade na principu absorpcije ili adsorpcije, ovisno o veličini čestica koje želimo filtrirati



Prekretni filter sa sitom

1 kućište, 2 sito, 3 prekretni ventil, 4 poklopac s podizačem sita

Slika 9. jednostavan prekretni filter sa sitom

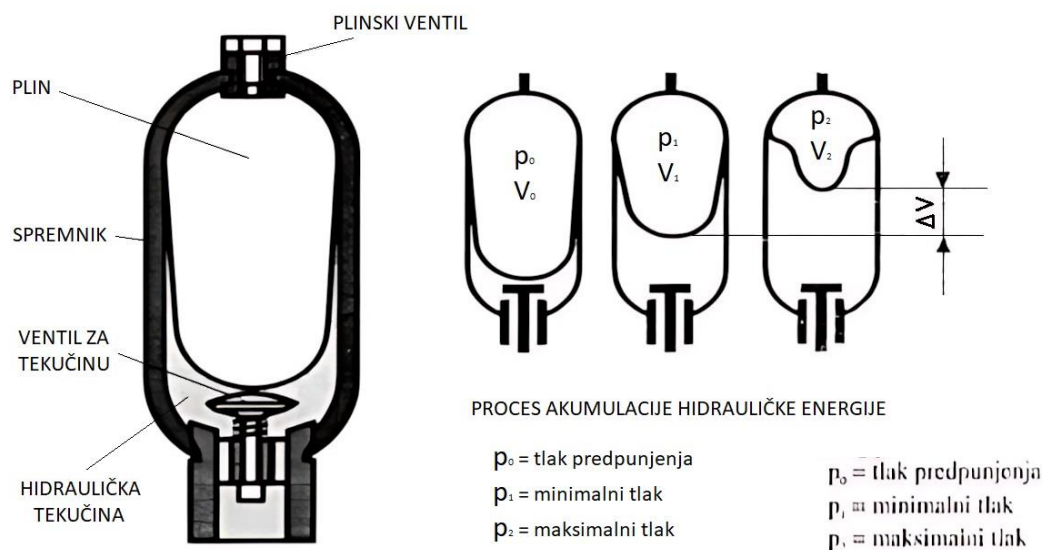
izvor: Pelić. V. prezentacija iz brodskih pomoćnih strojeva i uređaja

6.2. AKUMULATORI

Akumulatori služe za pohranu hidrauličke energije i koriste različite principe za djelovanje. Oni pohranjuju hidrauličku energiju u trenucima viška ili za hitne operacije koristeći povećanje potencijalne energije. Ova energija se može pohraniti podizanjem mase, sabijanjem opruge ili stlačivanjem plina. Kada je hidraulička energija ponovno potrebna, pohranjena potencijalna energija se pretvara natrag u hidrauličku energiju.

Prema načinu pohrane energije, akumulatori se dijele na tri vrste: akumulatori s masom, akumulatori s oprugom i akumulatori s plinom. Među njima, najčešće korišteni su akumulatori s plinom, poznati kao hidropneumatski akumulatori. Ovi akumulatori se dalje dijele prema konstrukciji na klipne, membranske i akumulatore s mijehom.

Hidropneumatski akumulatori su najzastupljeniji zbog svoje učinkovitosti i pouzdanosti u raznim hidrauličkim sustavima.



Slika 10. hidropneumatski akumulator

Izvor: prezentacija, hidraulički akumulatori

6.3. SPREMNICI

Spremnici ili tankovi u hidrauličnim sustavima prvenstveno služe za pohranu hidrauličnog fluida, ali moraju zadovoljiti i druge funkcije.

Hlađenje hidrauličnog fluida je jedna od tih funkcija; toplina koja nastaje zbog gubitaka u sustavu odvodi se kroz stijenke spremnika, a rebra se ugrađuju po potrebi radi poboljšanja hlađenja.

Odzračivanje je također važno, jer mjehurići zraka, koji nastaju zbog otopljenog zraka u fluidu ili propuštanja na usisnom cjevovodu, mogu uzrokovati buku i oštećenja, osobito na pumpama zbog kavitacije. Zbog toga je poželjno da spremnik ima što veću površinu ulja za učinkovito odzračivanje.

Spremnici također služe za taloženje nečistoća koje nastaju zbog starenja i trošenja materijala. Nečistoće koje prođu kroz filter talože se na dnu spremnika koji se ugrađuje pod kutem kako bi se olakšalo taloženje.

spremnici pomažu u odvajanju kondenzirane vode koja nastaje zbog varijacija temperatura. Manji dio kondenzirane vode otapa se u hidrauličnom fluidu, dok ostatak stvara emulziju koja se taloži na dnu spremnika i odvaja kroz drenažni ventil zajedno s nečistoćama. Ove funkcije osiguravaju učinkovitost i dugovječnost hidrauličnih sustava.

7. UPRAVLJAČKI I REGULACIJSKI ELEMENTI

Upravljački i regulacijski elementi ključni su za funkcioniranje hidrauličkih sustava, omogućujući precizno kontroliranje i održavanje različitih operativnih parametara. Upravljački elementi u hidrauličkim sustavima usmjeravaju fluid i omogućuju pokretanje ili zaustavljanje protoka. Primjeri su razvodnici i kontrolni ventili. Regulacijski elementi održavaju tlak i protok fluida na željenim razinama. Tlačni ventili kontroliraju tlak, dok protočni ventili reguliraju brzinu protoka. Ovi elementi zajedno omogućuju preciznu kontrolu i sigurnost hidrauličkih sustava.

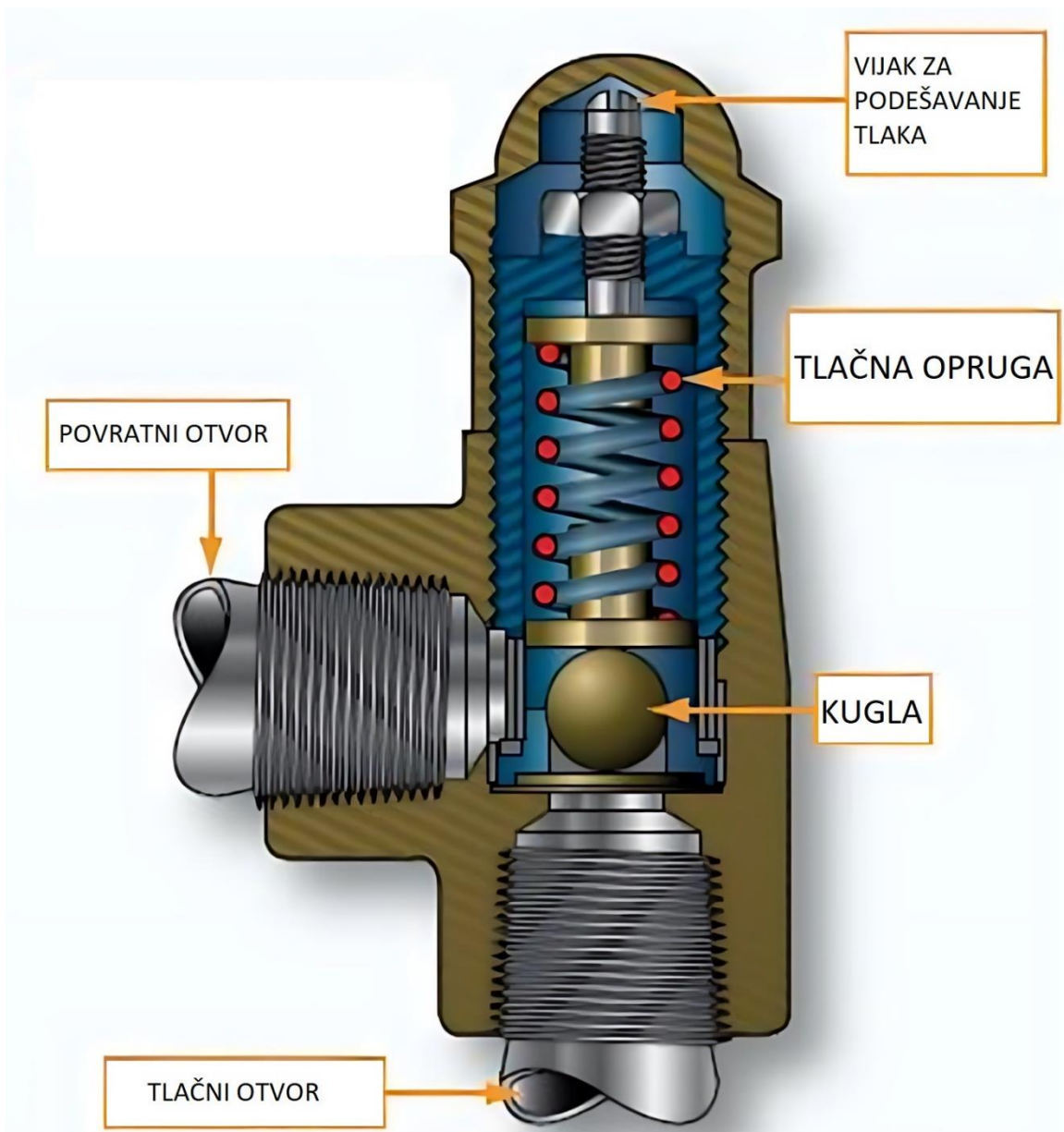
Ventili su ključni elementi za pravilno funkcioniranje hidrauličkih sustava, a prema definiciji (DIN ISO 1219), oni su uređaji za upravljanje ili regulaciju pokretanja, zaustavljanja, usmjeravanja, te tlaka i protoka fluida pod tlakom dobavljenog pumpom ili pohranjenog u akumulatoru. Ventili se mogu klasificirati prema njihovoj funkciji na razvodnike, tlačne ventile, protočne ventile i nepovratne (zaporne) ventile, a svaki od njih obavlja specifične zadatke unutar sustava.

Osim prema funkciji, ventili se razlikuju i po konstrukciji pomičnog elementa koji vrši njihovu osnovnu funkciju. Tako imamo ventile sa sjedištem, gdje pomični element može biti kugla, stožac ili tanjur, te ventile s kliznim elementom koji su poznati kao klizni ventili.

7.1. SIGURNOSNI VENTIL

Sigurnosni ventili, poznati i kao ventili za ograničavanje tlaka, ključni su za zaštitu hidrauličnih sustava od preopterećenja i mogućih oštećenja. Oni ograničavaju tlak u sustavu tako da otvaraju ventil kada tlak dosegne kritičnu razinu, propuštajući višak fluida natrag u spremnik. Ventil se otvara kada sila uzrokovana tlakom na površini ventila nadvlada silu opruge, čime se sprječava oštećenje komponenti i cjevovoda.

Osim osnovne funkcije zaštite, sigurnosni ventili također omogućuju održavanje stabilnog rada sustava, sprječavajući nepredvidive promjene tlaka koje bi mogle utjecati na performanse. Pravilno podešeni sigurnosni ventili osiguravaju da sustav radi unutar sigurnih operativnih granica, čime se povećava pouzdanost i dugotrajnost hidrauličkog sustava.



Slika 11. Sigurnosni ventil

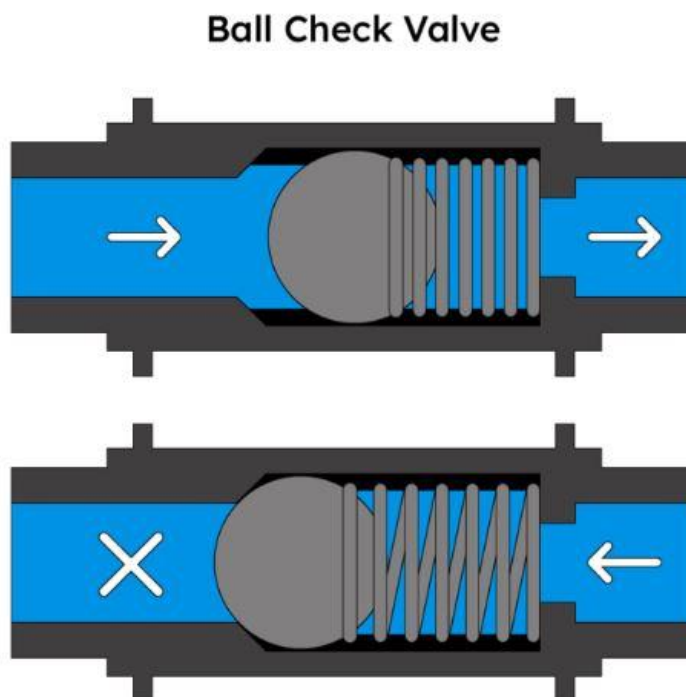
izvor: Pelić. V. prezentacija iz brodskih pomoćnih strojeva i uređaja, uredio student

7.2. NEPOVRATNI VENTIL

Nepovratni ventili omogućuju protok fluida samo u jednom smjeru, dok ga u suprotnom smjeru onemogućuju. Osim ove osnovne funkcije, koriste se za primjenu različitih paralelnih tokova i za postizanje određenog pretlaka u dijelovima sustava. Zbog tih različitih uloga, najbolje ih je promatrati kao posebnu vrstu ventila.

Konstruktivski, nepovratni ventili su uvijek izrađeni kao ventili sa sjedištem kako bi osigurali zatvaranje bez propuštanja. Mogu biti izvedeni s oprugom ili bez nje, ovisno o specifičnoj primjeni. Ventili s oprugom koriste se za održavanje određenog pretlaka prije

nego što se otvore, dok ventili bez opruge omogućuju slobodan protok fluida kada se postigne dovoljan tlak.



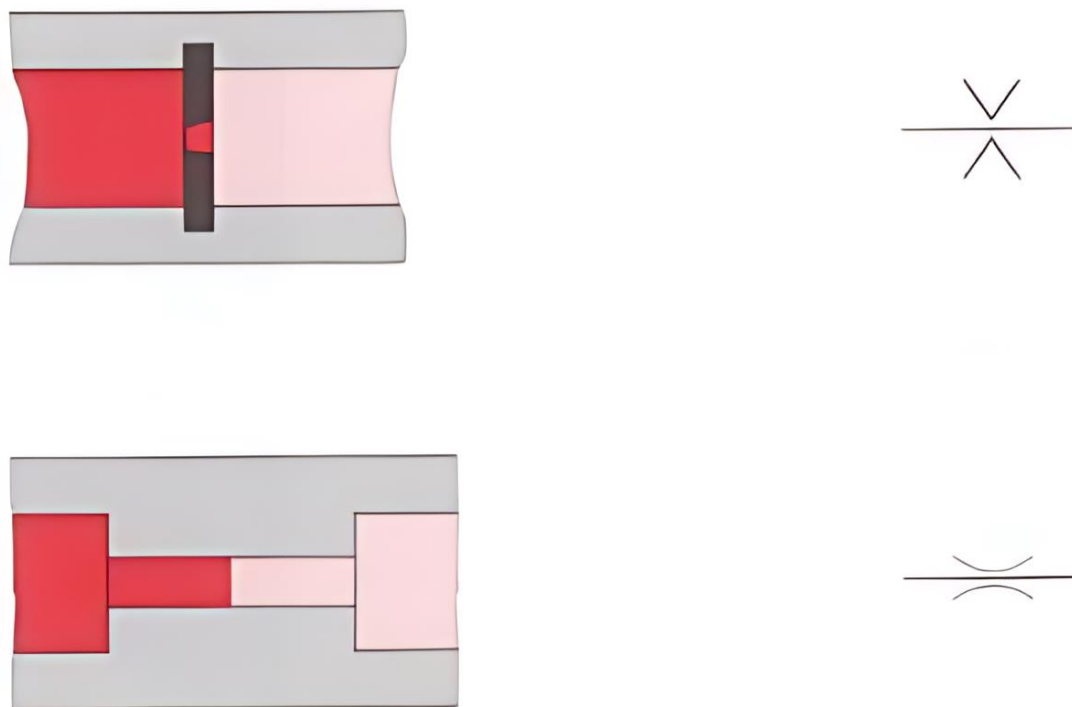
Slika 12. nepovratni ventil

izvor: Pelić. V. prezentacija iz brodskih pomoćnih strojeva i uređaja

7.3. VENTIL REGULACIJE PROTOKA

Ventili za kontrolu protoka utječu na brzinu gibanja aktuatora u hidrauličnom sustavu reguliranjem protoka fluida. Prigušnice i blende stvaraju otpor protjecanju fluida, čime usporavaju protok. Kod prigušnica, zbog dužeg puta prigušenja i većeg trenja, protok ovisi o viskozitetu fluida, koji se mijenja s temperaturom. Blende imaju kraći prigušni put, pa njihov protok nije ovisan o viskozitetu i temperaturi.

Protok kroz prigušnicu i blendu ovisi o padu tlaka na prigušnom mjestu. Promjene opterećenja aktuatora mijenjaju tlak nakon prigušnog mjesta, što utječe na brzinu gibanja aktuatora, veće opterećenje smanjuje brzinu i obrnuto. Da bi se održala konstantna brzina gibanja bez obzira na promjene tlaka, koristi se regulator protoka. Regulator prilagođava veličinu otvora prigušnog mjesta kako bi kompenzirao promjene tlaka i održao stalan protok.



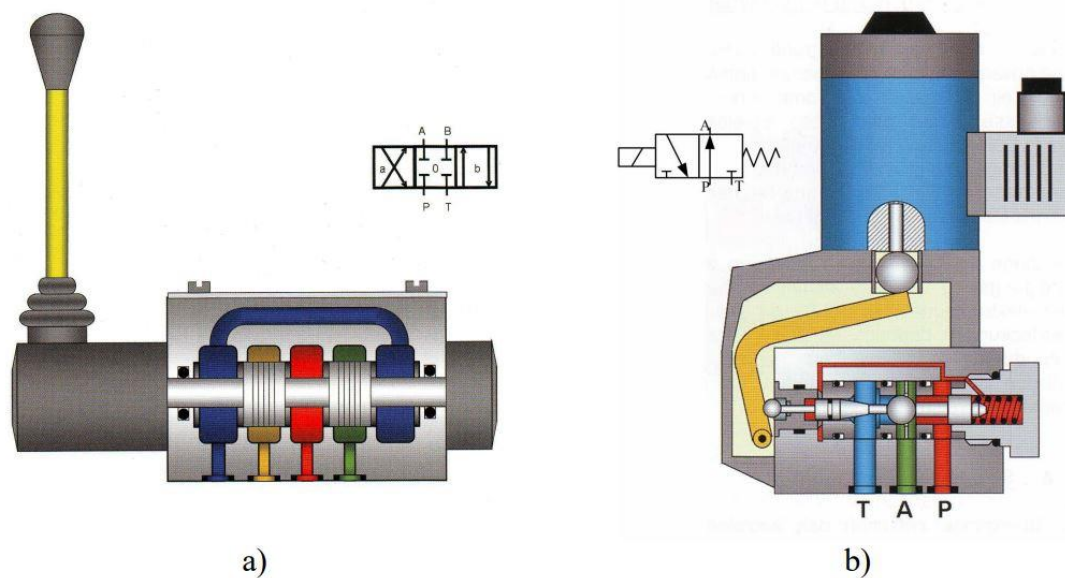
Slika 13. blenda i prigušnica

Izvor: "Regulacija hidrauličkih i pneumatskih sustava" Dr. sc. Željko Šitum

7.4. RAZVODNICI

Razvodnici se koriste za povezivanje različitih dijelova hidrauličnog sustava omogućavanjem otvaranja, zatvaranja i promjene smjera protoka ili tlaka fluida. Također služe za upravljanje hidrauličnim cilindrima ili motorima, omogućujući pokretanje, zaustavljanje ili promjenu smjera rotacije. Razvodnici su označeni brojem hidrauličnih priključaka i brojem položaja.

Najčešće su razvodnici klizne izvedbe, gdje se klizni element aksijalno pomiče kako bi otvorao i zatvarao različite utore. Pomicanje kliznog elementa može biti ostvareno ručno, mehanički, hidraulično, pneumatski ili električno. Ova fleksibilnost u načinu upravljanja čini razvodnike ključnim komponentama za precizno i pouzdano funkcioniranje hidrauličnih sustava.



Slika 14. a) s kliznim elementom, 4/3, pokretan ručno

b) s kuglom, 3/2, pokretan elektromagnetom

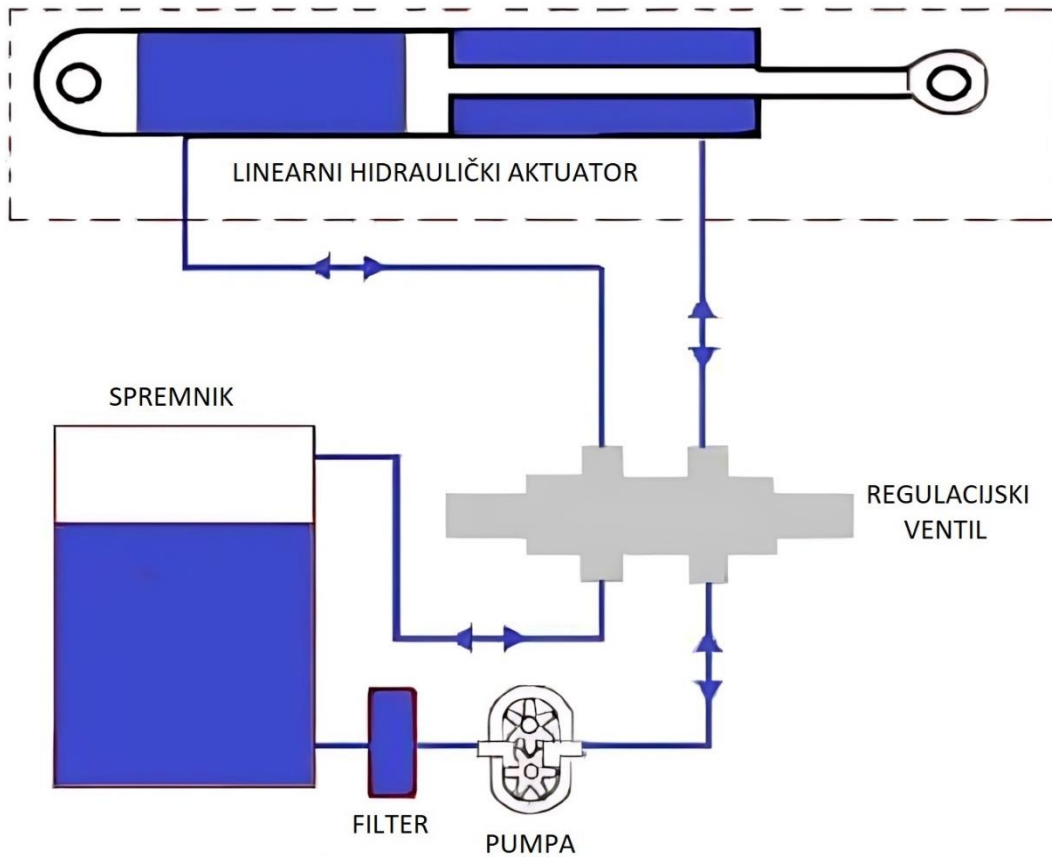
izvor: Internet, uredio student

8. AKTUATORI

Aktuatori su krajnji elementi u hidrauličnim sustavima jer pretvaraju hidrauličnu energiju fluida u mehaničku energiju pomoću radnih elemenata. Dijele se u tri glavne grupe: linearni aktuatori (hidraulični cilindri), rotacijski i zakretni aktuatori. Kormilarski hidraulički kormilarski uređaji se također klasificiraju prema vrsti aktuatora koje koriste, te mogu biti klipni ili krilni (rotacijski)

8.1. LINEARNI AKTUATOR

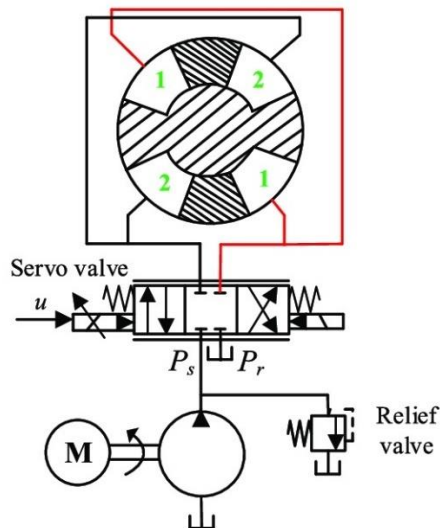
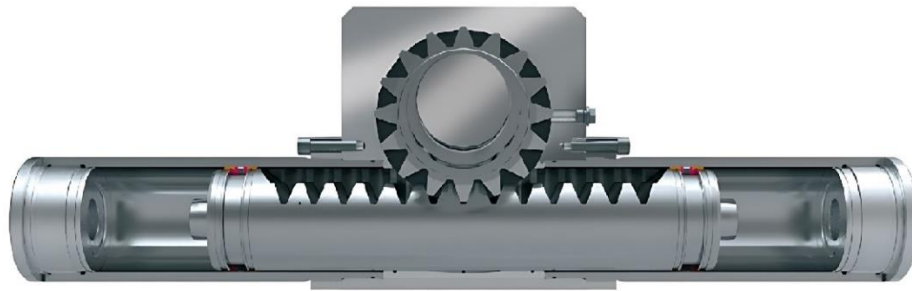
Linearni aktuatori su uređaji koji pretvaraju hidrauličnu energiju fluida u linearno mehaničko gibanje. Najčešće se koriste hidraulični cilindri, koji omogućuju precizno kontrolirano linearno gibanje do više metara. Linearni aktuatori su ključni u različitim industrijama i primjenama gdje je potrebno pouzdano i snažno linearno kretanje i sastoje se od cilindra, poklopca sa obadvije strane, klipa i klipnjače, brtvi i cjevovode hidrauličkih fluida. Cilindri mogu biti dvoradni i jednoradni. Ovi aktuator se najviše koriste kod najvećih brodova zbog mogućnosti podnošenja visokog tlaka za razliku od krilnih (rotacijskih)



*Slika 15. Jednostavna shema linearnog hidrauličkog akuatora
izvor: prezentacija, hidraulički akuatori, uredio student*

8.2. ROTACIJSKI AKTUATOR

Rotacijski akuatori pretvaraju hidrauličku energiju u rotacijsko gibanje, omogućujući rotaciju izlazne osovine za određeni kut ili kontinuiranu rotaciju. Koriste se za kontrolu rotacijskih pokreta u industriji, poput upravljanja ventilima, pokretanja robotskih zglobova i upravljanja strojnom opremom kao šta je kormilo. Princip rada je sličan kao kod linearnih, radni fluid pod visokim tlakom ulazi u komoru i pomiče radne elemente povećavajući volumen, pretvarajući hidrauličku energiju u mehaničku



Slika 16. rotacijski (krilni) aktuator

Izvor: prezentacija, hidraulički aktuatori, uredio student

9. SVOJSTVA HIDRAULIČNIH FLUIDA

Fluid u hidrauličkom sustavu je osnovni elemenat koji prenosi energiju i omogućuje osnovnu funkciju sustava. Osim prijenosa energije, hidraulički fluid također služi za podmazivanje, odvođenje topline, zaštitu od korozije te ponekad djeluje kao sredstvo za brtvljenje. Zbog tih višestrukih uloga, svojstva fluida su ključna za ispravno funkcioniranje hidrauličkog sustava.

Tri osnovna svojstva hidrauličkog fluida su gustoća, stišljivost i viskoznost. utječu na učinkovitost prijenosa energije i podmazivanja. Ova svojstva moraju biti pažljivo odabrana i prilagođena specifičnim zahtjevima sustava kako bi se osigurala optimalna učinkovitost i dugovječnost hidrauličkog sustava.

9.1. GUSTOĆA FLUIDA

Gustoća materijala (ρ) [kg/m^3] je njegova masa (m) [kg] po jedinici volumena (V) [m^3] kojeg zauzima, izražena formulom:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Gustoća je promjenljiva veličina koja ovisi o tlaku i temperaturi. Kod plinova, ove promjene su značajne i gustoća se izražava pomoću jednadžbe stanja plina. Kod krutih tijela i tekućina, promjene gustoće su manje i često se zanemaruju. Povećanje tlaka uvijek povećava gustoću materijala, dok povećanje temperature obično smanjuje gustoću zbog širenja materijala.

9.2. VISKOZNOST FLUIDA

Viskoznost je mjera otpora fluida na smično naprezanje, odnosno sposobnost fluida da se odupre smičnoj ili kutnoj deformaciji. Kada su izloženi konstantnim smičnim naprezanjima, fluidi kontinuirano deformiraju i oslobađaju toplinu. Viskoznost hidrauličnih fluida je kritična karakteristika jer utječe na učinkovitost sustava.

Hidraulični fluidi s povećanjem temperature smanjuju viskoznost. Također, viskoznost može ovisiti i o tlaku, ali u manjoj mjeri u usporedbi s temperaturom. Viskoznost je ključni faktor pri odabiru odgovarajućeg hidrauličnog fluida za sustav. Prevelika viskoznost može uzrokovati visok pad tlaka, povećanje temperature i energetske gubitke, dok preniska viskoznost može dovesti do slabog podmazivanja, ubrzanog trošenja dijelova i curenja fluida.

Mjerenje viskoznosti obavlja se standardnom metodom koja uključuje mjerenje vremena potrebnog da fluid protekne kroz kapilaru. Precizna kontrola viskoznosti osigurava optimalno funkcioniranje hidrauličkog sustava i produžava vijek trajanja njegovih komponenti.

9.3. STLAČIVOST

Stlačivost ili kompresibilnost fluida kvantitativno se izražava pomoću volumenskog modula elastičnosti (K), koji predstavlja omjer promjene tlaka i relativne promjene volumena fluida.

$$\frac{dV}{V} = \frac{-dp}{K}$$

V - volumen fluida, [m³]

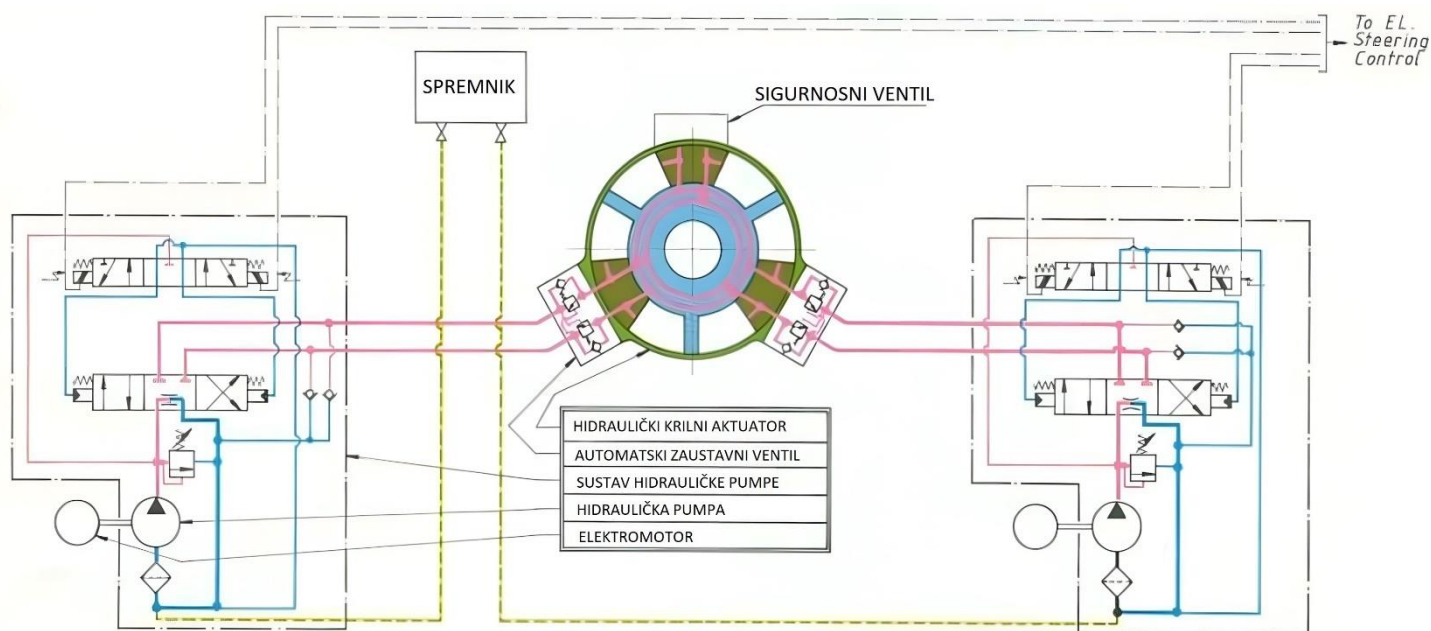
p - tlak, [Pa]

K - volumenski modul elastičnosti. [Pa]

Modul elastičnosti izražava se u jedinicama tlaka, a negativni predznak u formuli označava da povećanje tlaka smanjuje volumen fluida. Na primjer, ako se u posudu volumena 1 litra, koja sadrži mineralno ulje pod tlakom od 10 bara, doda još 1 ml ulja, tlak će porasti na 28 bara. Nasuprot tome, ako se isti primjer izvede sa zrakom umjesto ulja, tlak će porasti samo za 1 mbar, što jasno pokazuje veliku razliku u stlačivosti zraka i ulja.

Velika stlačivost fluida povećava vrijeme odaziva hidrauličkog sustava i smanjuje preciznost gibanja aktuatora. U praksi, stlačivost je znatno pogođena prisutnošću zraka u sustavu koji ostaje zarobljen u fluidu te upotrebom fleksibilnih cijevi.

10. HIDRAULIČKI KRILNI KORMILARSKI UREĐAJ



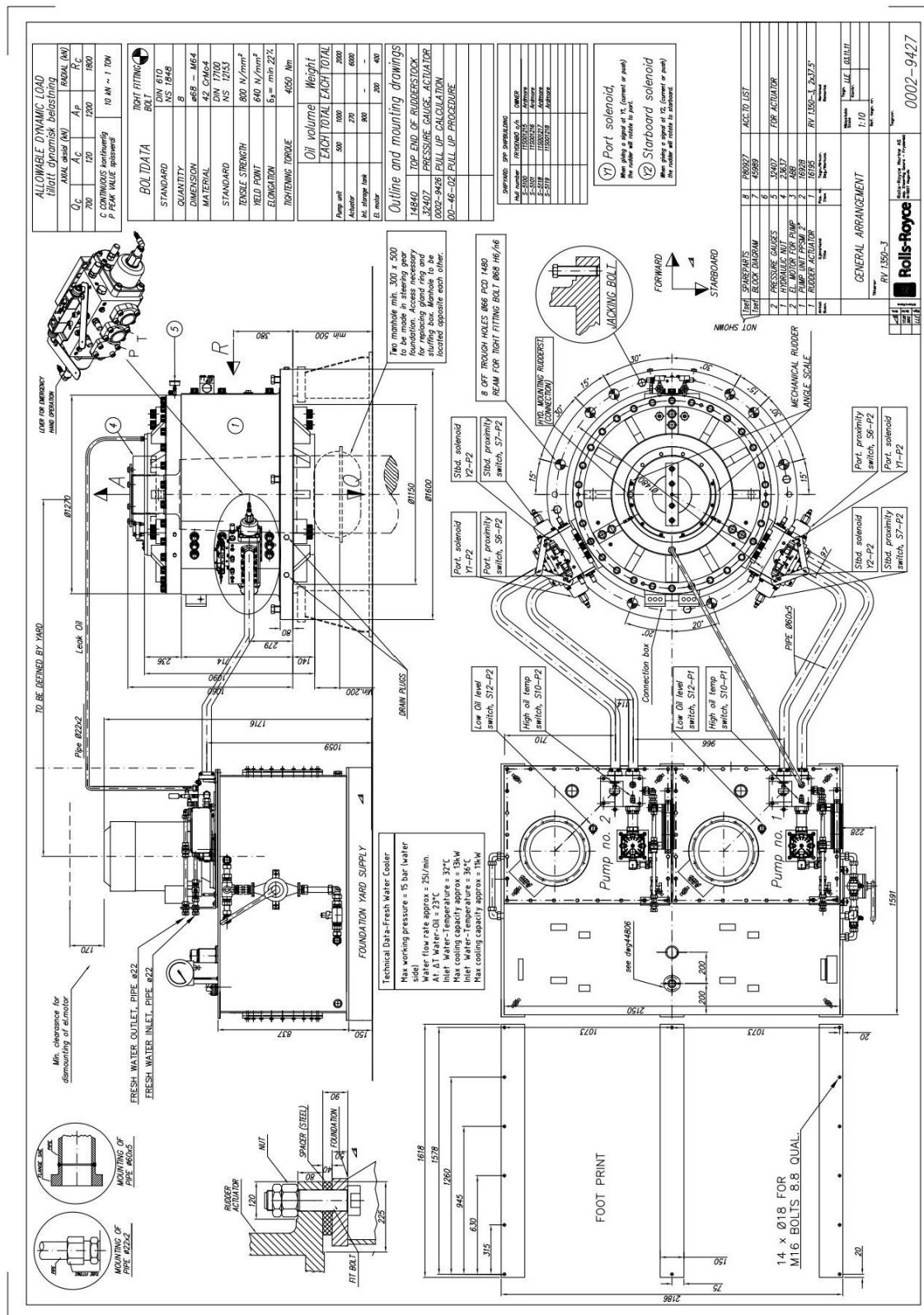
Slika 17. Elektro-hidraulički krilni kormilarski sustav

izvor: Pelić. V. prezentacija iz brodskih pomoćnih strojeva i uređaja

učinkovite izvedbe te malih dimenzija i težine. Iako su skuplji i imaju niže radne tlakove od modernih klipnih kormilarskih uređaja, njihov maksimalni radni tlak je obično 90 bara jer se na većim tlakovima mogu dogoditi deformacije i propuštanja. Ovi uređaji su ekvivalentni kormilarskom uređaju s dva cilindra, a postavljanjem dva krilna uređaja jedan iznad drugog može se postići sigurnost kao kod uređaja s četiri cilindra.

Kod ovog tipa kormilarskog uređaja, rotor s krilima pričvršćen je na vratilo kormila i slobodno se zakreće unutar statora koji je pričvršćen na konstrukciju broda. U kružnom prostoru između fiksnih krila statora i rotacijskih krila rotora stvaraju se dva para tlačnih komora. Veličina tih komora mijenja se kako se rotor zakreće, a komore se mogu tlačiti zahvaljujući brtvenim trakama na dodirnim površinama. Komore su spojene na odvojene sustave cjevovoda. Kada se tekućina tlači u sve komore na desnoj strani rotacijskih krila i usisava iz komora na lijevoj strani, vratilo kormila se zakreće u smjeru kazaljke na satu. Obrnuto zakretanje postiže se zamjenom uloga komora za tlačenje i usisavanje.

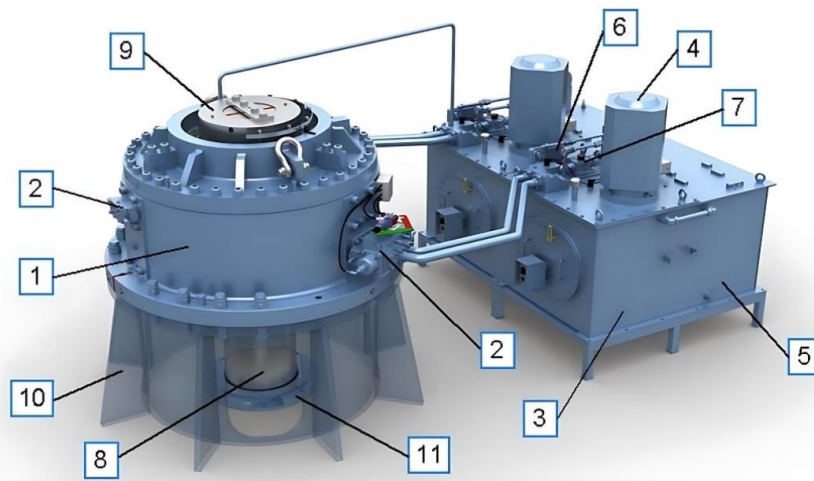
Najčešće se koriste krilni kormilarski uređaji s tri fiksna i tri rotacijska krila, što omogućuje ukupni kut otklona kormila od 70° , odnosno 35° na svaku stranu, pri čemu krila služe i kao graničnici. Ako je potreban veći kut otklona, koristi se izvedba s dva fiksna i dva rotacijska krila, koja omogućuje ukupni kut otklona do 130° .



Slika 18. Shema Rolls-Royce kormilarskog krilnog sustava

Izvor: Rolls-Royce Steering Gear Mechanical/ Hydraulic system manual

Iz Rolls-Royce priručnika: "Rolls-Royce kormilarski uređaj na ovom brodu sastoji se od jednog hidrauličkog aktuatora kormila montiranog izravno na osovini kormila, kojemu je opskrba uljem osigurana iz energetskeg paketa koji isporučuje potreban protok ulja za upravljanje kormilom. Energetski paket se sastoji od dvije jedinice pumpi koje mogu raditi zajedno ili odvojeno. Svaka jedinica pumpe osigurava dovoljno ulja za postizanje zadanog kuta kormila. Tijekom plovidbe, obično je u radu samo jedna jedinica pumpe, dok je druga u pripravnosti, ali kada je potreban najkraći mogući vrijeme upravljanja, moguće je uključiti obje jedinice pumpe istovremeno, čime se udvostručuje brzina zakretanja. Jedinice pumpi se u normalnom radu kontroliraju daljinski, ali u hitnim situacijama mogu se ručno upravljati iz prostorije za upravljanje kormilom."



Slika 19. 3D model Rolls-Royce kormilarskog krilnog sustava

Izvor: Rolls-Royce Steering Gear Mechanical/ Hydraulic system manual

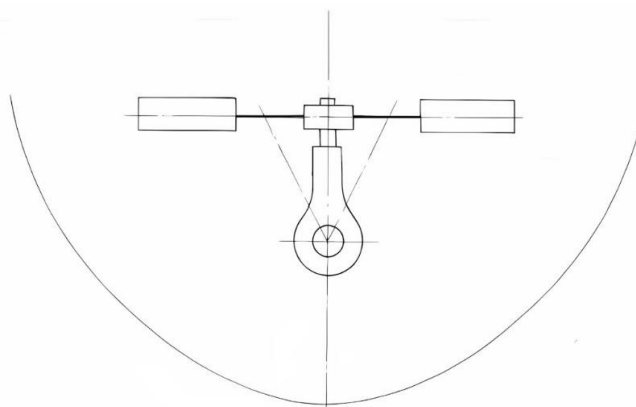
1. Aktuator kormila
2. Ventili
3. Pogonski sustav
4. pumpe
5. Spremnik za ulje
6. Hladnjak za ulje
7. Filter
8. Spoj osovine kormila
9. Hidraulična matica
10. Temelj
11. Brtvena kutija

11. HIDRAULIČKI LINEARNI KORMILARSKI SUSTAV

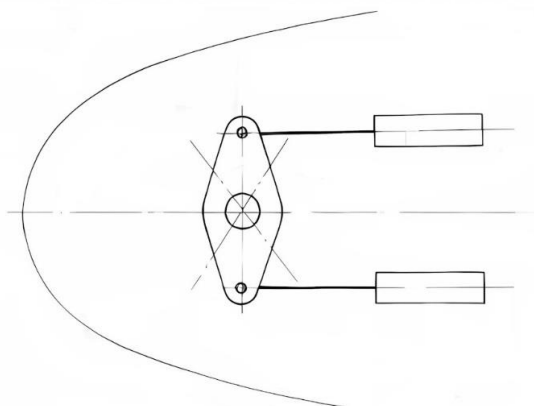
Na brodovima se uglavnom koriste dvije izvedbe hidrauličnih klipnih kormilarskih uređaja sa dva ili četiri cilindra ovisno o potrebnom momentu za zakretanje kormila. Najčešće se koristi izvedba s dvoradnim klipovima, izrađenim iz jednog komada. Hidraulični tlak obično se stvara pomoću radijalnih ili aksijalnih klipnih pumpi s promjenjivom dobavom. Tekućina pod tlakom prenosi se cjevovodima do cilindra, gdje su klipovi povezani s rudo kormila pomoću križne glave ili viličaste izvedbe. Sila generirana u hidrauličnim cilindrima prenosi se preko klipova na rudo kormila, stvarajući moment koji zakreće kormilo.

11.1. HIDRAULIČKI LINEARNI KORMILARSKI SUSTAV SA DVA CILINDRA

OKOMITI POLOŽAJ CILINDARA NA SIMETRALU BRODA



PARALELNI POLOŽAJ CILINDARA SA SIMETRALOM BRODA

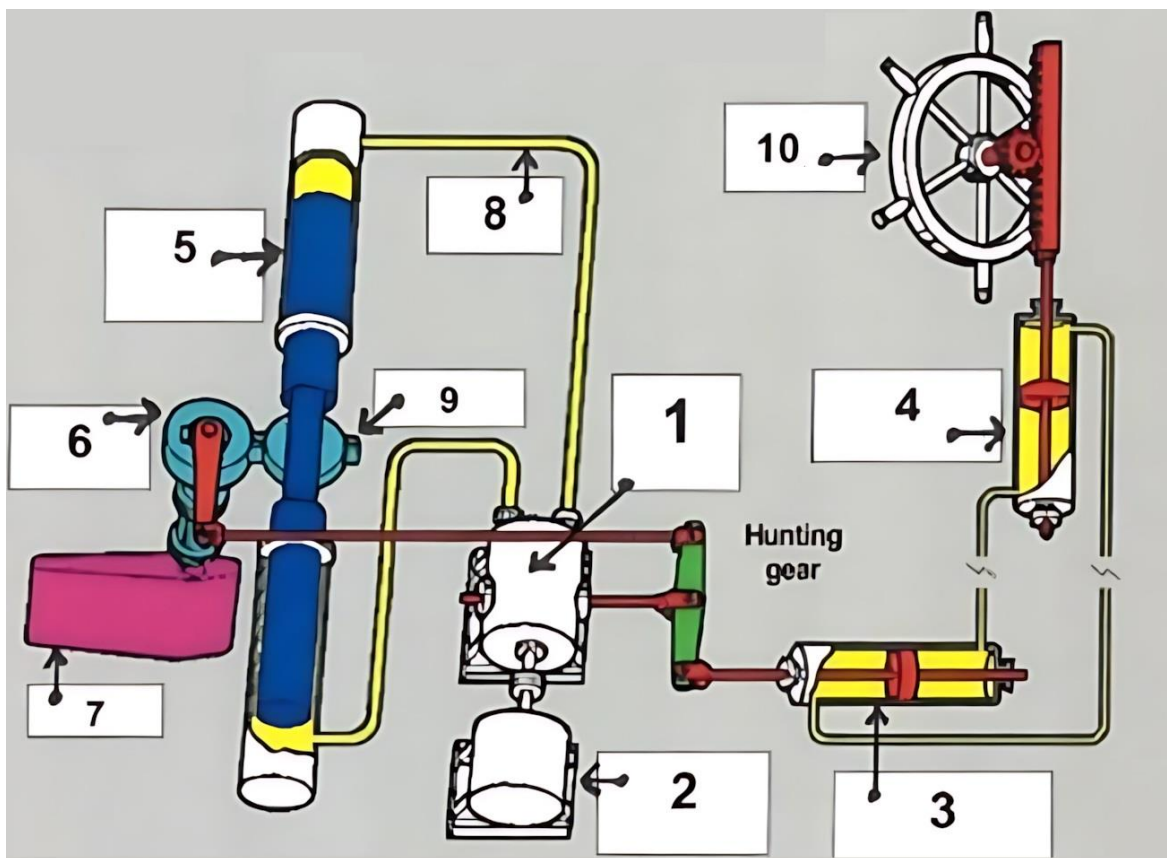


Slika 20. paralelni i okomiti položaj cilindra na kormilo

Izvor: Ozretić V., 1996. g., Brodski pomoćni strojevi i uređaji

Hidraulični cilindri kormilarskog stroja mogu biti postavljeni okomito na središnju liniju broda. U tom slučaju, spojnica zahvaća rudo kormila. Druga izvedba hidrauličnog kormilarskog stroja se postavi uzduž broda i koriste se za manje momente. Ako je potrebna veća sila za stvaranje momenta, postavljaju se četiri hidraulična cilindra. cilindri su obično okomito postavljeni na središnju liniju broda. Cilindri su spojeni s konstrukcijom broda preko temeljne ploče kormilarskog uređaja.

Klipovi unutar cilindra klize uzdužno pod djelovanjem tlaka ulja koje dobavljaju sisaljke. Cilindar ima vodilice za klip kako bi se osigurala stabilnost gibanja. Na otvorenoj strani cilindra postavljena je brtvenica kako bi se spriječio gubitak ulja. Na kraju cilindra nalazi se priključak za cijev. Klipovi su uobičajenog oblika, a otvor na njima mora biti dovoljno širok da čvrsta spojnica, koja izlazi iz klipa i zahvaća rudo kormilo, ne udara u klip u krajnjim položajima.



Slika 21. jednostavna shema okomito postavljenih cilindra kormilarskog sustava

Izvor: ispitni zadatak

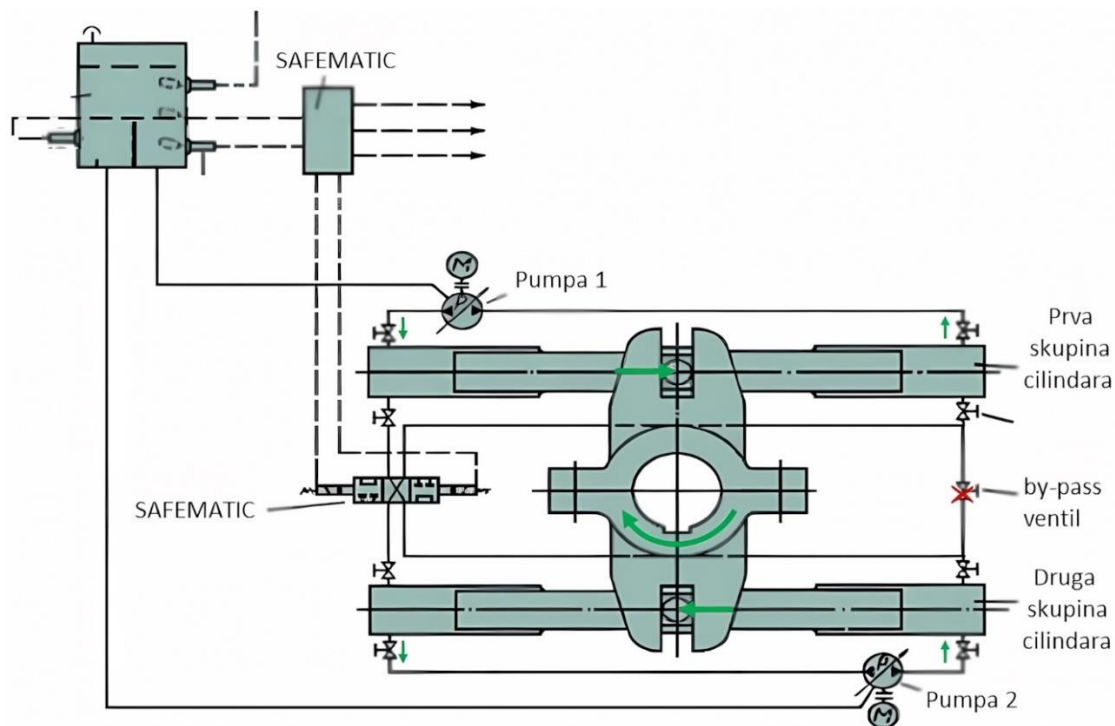
1. **Hidraulička pumpa** : Pumpa koja osigurava protok hidrauličnog fluida kroz sustav.
2. **Elektromotor**: Motor koji pokreće hidrauličku pumpu.

3. **Prijemnik telemotora 2:** Drugi prijemnik koji prima signale od prijemnika 1
4. **Prijemnik telemotora 1:** prvi prijemnik koji prima signale od predajnika telemotora.
5. **Cilindar:** Hidraulični cilindar koji pretvara hidrauličnu energiju u mehanički pokret.
6. **Spoj osovine kormila:** Mehanički spoj koji povezuje osovinu kormila s cilindrima.
7. **Kormilo:** Mehanički dio broda koji upravlja smjerom kretanja.
8. **Visokotlačne cijevi:** Cijevi koje prenose hidraulični fluid pod visokim tlakom.
9. **Pokazivač otklona kormila:** Uređaj koji pokazuje trenutni kut otklona kormila.
10. **Predajnik telemotora:** Upravljački uređaj (npr. kormilarsko kolo) koji šalje signale prijemnicima telemotora.

Kada operater okrene predajnik (kormilarsko kolo), mehanički pokret se pretvara u hidraulični signal. Predajnik kontrolira protok hidrauličnog fluida prema prijemnicima (cilindrima). Prijemnici primaju hidraulični fluid i pretvaraju hidrauličnu energiju u mehanički pokret. Kretanjem fluida kroz cilindre, kormilo se zakreće u željenom smjeru. Pomoću križne glave, sila iz cilindra prenosi se na kormilo.

Fluid se kreće kroz cilindre i vraća se natrag u spremnik kroz povratni vod. Hidraulični fluid iz spremnika prolazi kroz sustav i filtrira se putem filtra. Pumpa pokreće fluid kroz sustav, osiguravajući potrebni tlak. Fluid prolazi kroz servo-upravljač koji regulira protok fluida prema prijemnicima. Servo-upravljač odgovara na signale predajnika i usmjerava fluid prema cilindrima. Sigurnosni ventili i ostale kontrolne komponente osiguravaju pravilno funkcioniranje sustava i zaštitu od prekomjernog tlaka.

11.2. HIDRAULIČKI LINEARNI KORMILARSKI SUSTAV SA ČETIRI CILINDRA



Slika 22. jednostavna shema kormilarskog sustava sa četiri cilindra

izvor: Pelić. V. prezentacija iz brodskih pomoćnih strojeva i uređaja

sustav sadrži sklop zapornih i bypass ventila, što omogućava upravljanje kormilom pomoću četiri cilindra ili dva susjedna cilindra, ali nikad dva dijagonalna cilindra. Neaktivni cilindri izoliraju se ventilima i povezuju bypass ventilima kako bi omogućili slobodno kretanje fluida kroz njih. Jedna ili obje pogonske jedinice mogu se povezati s bilo kojom kombinacijom cilindara.

Kada su u pogonu samo dva cilindra, zakretni moment je upola manji nego kad su u pogonu sva četiri cilindra, čak i ako su obje pogonske jedinice aktivne. Međutim, brzina odaziva se povećava kada su obje pogonske jedinice aktivne.

Pogonske jedinice i njihov način rada isti su kao u sustavu s dva cilindra, dok se ostatak sustava razlikuje. Ventilna stanica u ovom sustavu mora upravljati s četiri cilindra u svim kombinacijama, što zahtijeva četiri ventila za izolaciju cilindara i dva bypass ventila (*na slici je umjesto by pass ventila razvodnik*)

Za prebacivanje s rada s četiri cilindra na rad s dva cilindra, potrebno je izolirati dva cilindra ventilima za izolaciju i otvoriti bypass ventil između njih. Na shemi su ti ventili prikazani kao zasebni elementi, ali svaki par ventila može biti izveden kao ventil s

dvostrukim sjedištem, čime se automatski otvara bypass ventil kad se izolira bilo koji cilindar. Ovaj sustav omogućuje fleksibilno upravljanje i sigurnost hidrauličkog kormilarskog sustava, osiguravajući optimalnu kontrolu i brz odaziv.

Kada pratimo zelene strelice na slici, možemo vidjeti kako hidraulični fluid prolazi kroz sustav i omogućava rad cilindara u kormilarskom sustavu. Pumpa 1 i Pumpa 2 generiraju hidraulični tlak i pokreću fluid kroz sustav. Hidraulični fluid ulazi u sustav putem visokotlačnih cijevi, a prva skupina cilindara prima fluid od pumpe 1, što omogućava kretanje klipova unutar cilindara i generiranje potrebne mehaničke sile za upravljanje kormilom. Druga skupina cilindara može biti aktivirana istovremeno s prvom skupinom, te fluid teče prema ovoj skupini cilindara na sličan način kao i kod prve skupine, omogućujući obje skupine cilindara da zajedno rade samo sa 1 pumpom, uključena je pumpa 2 za povećanje zakretnog momenta i poboljšanje performansi upravljanja kormilom. Ako se određeni cilindri ne koriste, bypass ventili omogućuju protok fluida oko neaktivnih cilindara, održavajući cirkulaciju fluida i smanjujući opterećenje na sustav. Križna glava omogućuje prijenos sile s cilindara na kormilo, što omogućuje precizno upravljanje smjerom broda.

12.ZAKLJUČAK

Hidraulični sustavi suvremenih kormilarskih uređaja igraju ključnu ulogu u sigurnom i efikasnom upravljanju brodovima. Analizom različitih tipova kormilarskih sustava, uključujući klipne i krilne uređaje, ovaj rad ističe važnost pouzdanih i preciznih hidrauličnih komponenti. Sustavi koji koriste hidraulične cilindre i rotacijske aktuatore omogućuju visoku razinu kontrole i prilagodljivosti, što je presudno za operativne potrebe modernih brodova. Prednosti hidrauličnih kormilarskih sustava uključuju visoku učinkovitost i preciznost, dok se nedostaci očituju u višim troškovima održavanja i potrebom za redovitim servisiranjem. Pravilno održavanje i razumijevanje SOLAS propisa osiguravaju da hidraulični sustavi zadovoljavaju najviše sigurnosne standarde.

Cilj ovog rada bio je pružiti sveobuhvatan pregled funkcionalnosti, prednosti i izazova hidrauličnih sustava suvremenih kormilarskih uređaja. Nadamo se da će ovaj rad doprinijeti boljem razumijevanju.

13.LITERATURA

1. [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx)
2. <https://www.articlesfactory.com/articles/hobbies/ship-steering-wheel-history.html>
3. <https://www.ils.be/autonomous-ships/>
4. <https://www.powermotiontech.com/sensors-software/controlsinstrumentation/article/21887953/hydraulics-of-the-future>
5. <https://www.custom.com.au/future-of-hydraulic-equipment/>
6. USER MANUAL 2013. g. Rolls-Royce Steering Gear Mechanical/ Hydraulic system
7. Petrić J. , 2012. g. , Hidraulika i pneumatika, 1. dio: Hidraulika, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
8. Ozretić V. , 1996. g. , Brodski pomoćni strojevi i uređaji, treće izdanje, Split Ship Management d.o.o. , Split
9. Pelić V. 2024. g. prezentacija Brodskih pomoćnih strojeva i uređaja, Fakultet brodstrojarstva, Sveučilište u Rijeci, Rijeka
10. Regulacija hidrauličkih i pneumatskih sustava" Dr. sc. Željko Šitum, izv. prof., Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb, zrno.fsb.hr, 2011.
11. Pneumatika i hidraulika" Radoslav Korbar, Sveučilište u Karlovcu, 2007.

14. POPIS SLIKA

- Slika 1. Sustav za zakretanje kormila koji se sastoji od kormilarskog4
- Slika 2. Hidrostatički prijenosnik6
- Slika 3. osnovni oblik hidrostatskog prijenosnika i pumpe promjenjive dobave7
- Slika 4. aksijalna klipna pumpa sa nagibnom pločom10
- Slika 5. aksijalna klipna pumpa sa nagibnim rotorom11
- Slika 6. pumpe s radijalnim klipovima pogonjene bregastim vratilom i rotirajućim cilindrima12
- Slika 7. pumpa sa radijalnim klipovima pogonjenim bregastim vratilom13
- Slika 8. zubčasta pumpa14
- Slika 9. jednostavan prekretni filter sa sitom15
- Slika 10. hidropneumatski akumulator16
- Slika 11. Sigurnosni ventil19
- Slika 12. nepovratni ventil20
- Slika 13. blenda i prigušnica21
- Slika 14. a) s kliznim elementom, 4/3, pokretan ručno22
- Slika 15. Jednostavna shema linearnog hidrauličkog aktuatora23
- Slika 16. rotacijski (krilni) aktuator24
- Slika 17. Elektro-hidraulički krilni kormilarski sustav27
- Slika 18. Shema Rolls-Royce kormilarskog krilnog sustava28
- Slika 19. 3D model Rolls-Royce kormilarskog krilnog sustava29
- Slika 20. paralelni i okomiti položaj cilindra na kormilo30
- Slika 21. jednostavna shema okomito postavljenih cilindra kormilarskog sustava31
- Slika 22. jednostavna shema kormilarskog sustava sa četiri cilindra33

15. POPIS SHEMA

shema 1. jednostavan prikaz prijelaza mehaničke u hidrauličku i hidrauličke u mehaničku energiju8

shema 2. prikaz Elektro-hidraulični kormilarski sustav8

