

**Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Индустијски инжењеринг

Предмет: Механика флуида

Број индекса: 86/2011

Стефан М. Радојевић
Основи хидрауличних система
Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану

1. Проф. др Слободан Савић – ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру завршног рада кандидат треба да:

- проучи одговарајућу литературу везану за основне појмове и компоненте хидрауличних система,
- представи развој хидрауличних система сходно просперитету цивилизације,
- прикаже класификацију и принцип рада хидрауличног система и компоненти на основу прикупљених и систематизованих података из препоручене и друге литературе,
- укаже на избор хидрауличног уља које има значајан утицај на експлоатациони век и продуктивност хидрауличних система и
- селективно прикаже основе одржавања хидрауличних система.

Препоручена литература:

- [1] Адамовић, Ж., Основи хидраулике и одржавања уљно-хидрауличних система, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1997.
- [2] Јовановић, С., Уљна хидраулика. Део 2, Техничка књига, Београд, 1981.
- [3] Ашковић, Р., Чантрак, С., Тирић, М., Радојевић, З., Црнојевић, Ц., Мирковић, Љ., Јовановић, П., Хидраулика, Разводници и вентили: хидраулика високог притиска: хидропнеуматске компоненте, Машински факултет, Нови Београд, 1986.

Крагујевац, 2015.

ментор:
др Слободан Савић, ванр. проф.

Резиме

Хидраулика представља грану машинства која изучава преношење сила уз помоћ течних медија као и механичке особине течности, док хидраулични систем дефинише састав уређаја који врше трансфер енергије посредством хидрауличне течности.

Завршни рад садржи основне појмове и делове хидрауличног система, као и класификацију и поделу елемената хидрауличног система. Представљени су историјат, принцип рада најважнијих елемената и параметри самог система. Такође, са високим степеном пажње су описани најважнији поступци одржавања једног хидрауличног система.

Кључне речи: хидраулика, течност, принцип, одржавање хидрауличких система

Abstract

Hydraulics is a branch of mechanical engineering that studies the transmission of force through liquid media as well as mechanical properties of liquids. A hydraulic system defines the composition of devices that transfer energy through the hydraulic fluid.

This Final Paper presents basic concepts and components of the hydraulic system, as well as the categorization and classification of the hydraulic system elements. The history, working principles of the main elements and the parameters of the system are also presented here, while the most significant methods of the hydraulic system maintenance are described in details.

Keywords: hydraulics, liquid, principle, hydraulic system maintenance

Садржај:

1. Увод	6
2. Историјат хидрауличних система.....	7
3. Принцип рада хидрауличних система	9
4. Основни параметри хидрауличних система.....	11
4.1 Притисак и проток	11
4.2 Флуид	12
4.2.1 Минерална уља.....	13
4.2.2 Синтетички флуиди	13
4.2.3 Вода (хидраулични флуид)	13
4.3 Губици у хидрауличном систему	14
4.4 Радна температура	16
5. Класификација и подела хидрауличних система	16
5.1 Хидрауличне пумпе	16
5.1.1 Центрифугалне пумпе	17
5.1.2 Зупчасте пумпе.....	18
5.1.2.1 Зупчасте пумпе са спољашњим озубљењем	19
5.1.2.2 Зупчасте пумпе са унутрашњим озубљењем	20
5.1.3 Кричне пумпе	20
5.1.4 Вијчане пумпе	22
5.1.5 Аксијално - клипне пумпе.....	23
5.2 Разводници	24
5.2.1 Клипни хидраулични разводници	26
5.2.2 Електрохидраулични разводници	26
5.2.3 Плочасти разводници	27
5.3 Вентили.....	28
5.3.1 Вентили притиска	28
5.3.2 Вентили за регулисање протока	29
5.3.3 Регулатори смера струјања радне течности	31
5.4 Извршни елементи хидрауличног система.....	32
5.4.1 Хидромотори	32
5.4.1.1 Зучасти хидромотори	32
5.4.1.2 Крилни хидромотори.....	33

5.4.2 Хидраулични цилиндри.....	34
5.5 Хидраулични преносни елементи	35
6. Одржавање хидрауличних система	38
6.1 Превентивно одржавање	39
6.2 Одржавање пумпи и мотора.....	40
6.3 Одржавање хидрауличних цилиндара	40
7. Закључак	42

1. Увод

Хидраулика представља научну дисциплину која се бави изучавањем равнотеже и кретања течности. Базира се на изучавању теоријских и практичних закона мировања течности, као и на практичној примени ових закона у адекватним областима технике и људске делатности [2].

Хидраулика се састоји из 2 елементарне целине:

- Хидростатике – закона мировања и равнотежа течности, и
- Хидродинамике – закона кретања течности и крутих тела.

Специјалне особине којима располаже хидраулика биле би следеће:

- велике силе (обртни момент),
- прилагођавање сила врши се аутоматски,
- остваривање континуалног утицаја на брзине, обртни момент, силе дизања итд.,
- лака акумулација енергије посредством гаса,
- изградња централних система уз резултате високе економичности и уз присуство децентрализоване трансформације хидрауличке и механичке енергије.

Има велику примену на објектима на копну (машине, радилице и процеси у металоправаљачкој индустрији, пољопривредне машине, грађевинарство, транспортне машине, хидроенергетски објекти итд.), на пловним објектима и у ваздухопловству.

Хидраулични систем дефинише састав уређаја који имају улогу преноса енергије посредством хидрауличне течности. Пренос хидрауличне енергије може имати две форме преноса: хидростатички (запремински) и хидродинамички. Хидростатички вид преноса хидрауличне енергије се базира на енергији притиска (потенцијална енергија радне течности) [1]. Претварачи енергије код хидростатичког преноса су запреминска пумпа и запремински хидромотор. Претварач енергије представља машину која трансформише механичку у хидрауличну енергију (енергија притиска) радне течности. Подела хидростатичких преноса енергије по кинематици кретања:

- са обртним кретањем (извршни елемент је хидромотор),
- са наизменичним праволинијским кретањем (извршни елемент је хидроцилиндар)
- са наизменичним закретним кретањем (извршни елемент је закретни мотор).

Хидродинамички систем преноса хидрауличне енергије врши пренос енергије заснован на кинетичкој енергији струјања радне течности. Делови хидрауличних система:

- извор протока радне течности (углавном пумпа),
- хидромотор (праволинијско или обртно кретање),
- управљачки део (вентили, разводници),
- помоћни уређаји (резервоар, филтери и др.),
- цевовод.

Предности хидростатичких система у релацији са осталим системима [4]:

- пренос великих сила уз помоћ уређаја мањих димензија,
- лака одрживост система,
- поседују миран и тих рад упркос бучном напајању,
- не постоји потреба за производњом магнетног поља или варница као што је случај код електричних система,
- лака трансформација ротационог кретања у транслаторно,
- лака заштита од преоптерећења уз помоћ пригушивача.

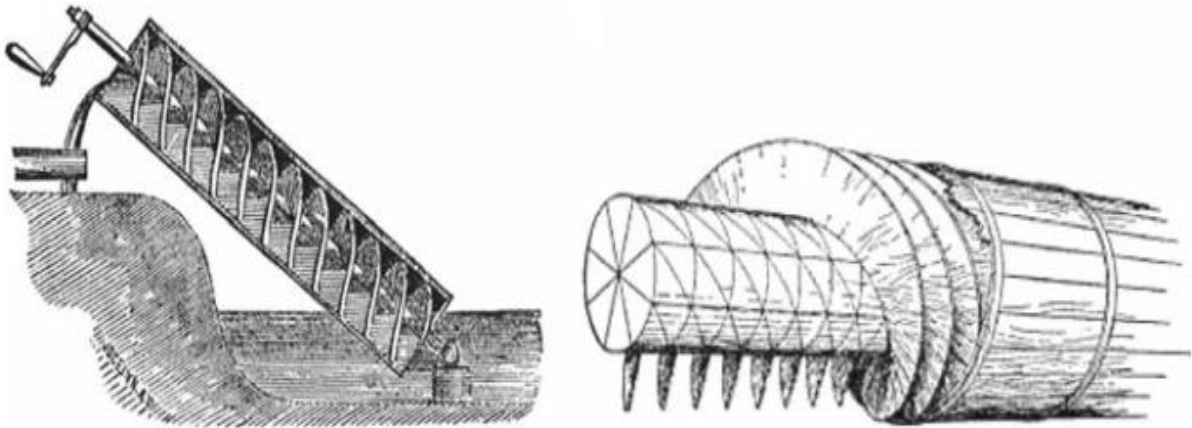
Упркос силним предностима којима располаже овај модел система, треба напоменути и недостатке:

- ниска прецизност у поређењу са електричним системима,
- виши ниво одржавања у поређењу са пнеуматским системима,
- губици енергије који се претварају у топлоту (притушно управљање),
- негативни утицаји промене температуре и прљавштине,
- мали степен искоришћења енергије.

2. Историјат хидрауличних система

Ако термин хидраулика у конотацији може означавати коришћење воде за корист човечанства, онда се може сматрати да је њена примена старија од забележене историје. Остаци канала за наводњавање из праисторијског доба су и данас присутни на просторима данашњег Египта и древне Месопотамије. Река Нил је преграђена у Мемфису пре шест хиљада година како би било обезбеђено довољно снабдевање водом, а чак раније је ток реке Еуфрат је преусмерен у реку Тигар ради исте сврхе. У данашњем Пакистану, налазе се куће из праисторијских раздобља које садрже керамичке цевоводе за водовод и канализацију старости око пет хиљада година. Ови подаци су јасан показатељ да су се људи бавили хидрауликом пре неколико миленијума.

У античкој Грчкој, највећи допринос у домену хидраулике је дао математичар Архимед (287 – 212 п. н. е.) који је творац основног закона хидростатике који гласи: „На свако тело потопљено у течност делује сила потиска која је једнака тежини телом истиснуте течности.“. Такође, један од његових најважнијих инвенција је Архимедов завртањ. Овај уређај је карактерисан као прва пумпа по модерним стандардима. Завртањ садржи тесних цилиндара који формирају спиралу који се једним делом спуштају испод нивоа воде [5]. Механичким окретањем се вода подиже. Упркос Архимедовим сазнањима која су касније пренета и на запад уз помоћ арапских научника, просперитет у хидростатици није извршен у наредних 18 векова.



Слика 2.1 Илустрација Архимедовог завртња

Наредан битан допринос у хидраулици је рад и дело холандског хидрауличног инжењера Сајмона Стевина који је 1586. године открио хидростатички парадокс. Хидростатички парадокс се састоји у томе да притисак течности на дно суда зависи једино од висине нивоа течности у суду, али не и од облика суда у којем се налази течност, па према томе не зависи ни од укупне количине течности [6].

Први који је комплетирао начела хидростатике је француски научник Блез Паскал. Успео је да разјасни преносивост притиска од тачке до тачке на хидрауличној дизалици. Такође је доказао да атмосферски притисак варира у зависности од надморске висине а једно од највећих достигнућа је и Паскалов закон. Први успешан покушај примене хидростатичког преноса снаге је остварен 1882. године на пресамa, а улогу флуида је имала вода.

Даљи прогрес хидрауличних система се може видети кроз развој хидростатичког преноса снаге када је 1900. године уз помоћ Вилијамса и Џениза који су конструисали аксијалну клипну пумпу са девет клипова и померљивом плочом. 1930. године познати научник у домену уљне хидраулике, професор Тома изумео је прву аксијалну клипну пумпу са померљивим пумпним телом. Усавршавањем оваког вида система дошло је до конструисања клипно-аксијалних пумпи са зглобном везом. Са серијском производњом ових пумпи је почело око 1940. године у САД-у, Енглеској и Немачкој. Од 1945. године са појавом електронског рачунара и напретком у детекцији и побољшањем опреме за прикупљање података извршена је револуција у многим аспектима хидрауличних система. Данас постоје различити облици хидрауличне енергије који се користе тренутно или су развијене. Већина њих генеришу електричну енергију али такође постоје и неколико који генеришу и механичку енергију. Такође, данас можемо видети много примера примене хидрауличне енергије као што су багери, дизалице, пумпе и остали системи који се ослањају на хидраулични погон. Хидраулични погон представља тип уређаја који користи флуид под притиском у циљу како би се извршио погон машине коју сачињавају више компоненти, од којих је једна од најважнијих хидраулична пумпа која поседује густину снаге и до десет пута јачу од електромотора. Данашњи инжењери имају на располагању модерне рачунаре и радне станице са алатима за постизање вишег степена ефективности и економичности приликом израде пројеката.

3. Принцип рада хидрауличних система

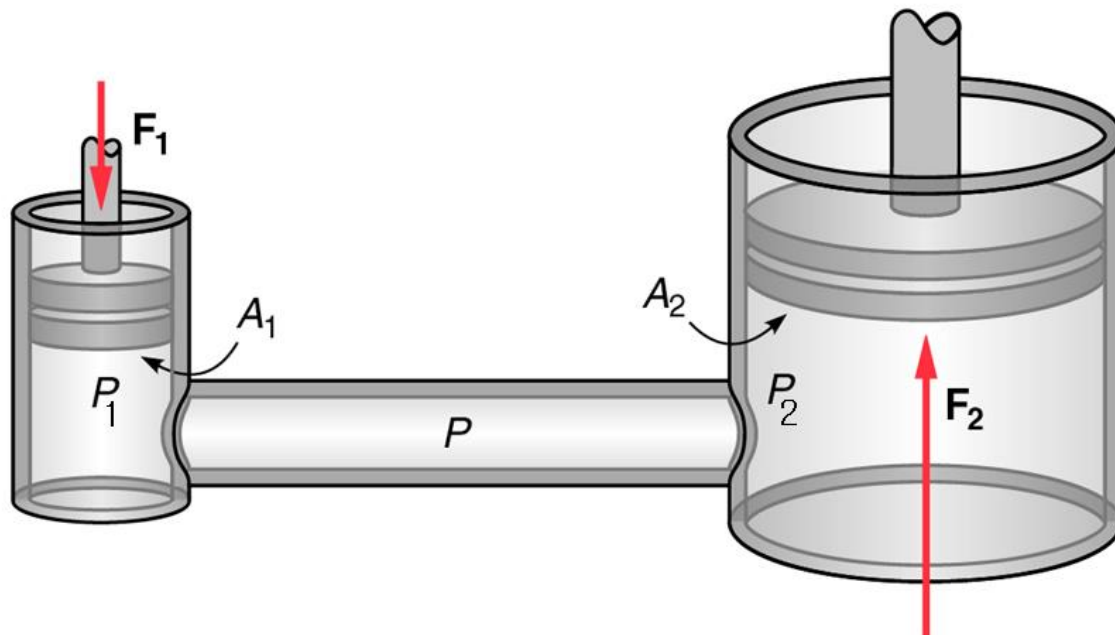
Хидраулични системи се данас могу наћи у широком спектру примена у машинству. Главни задатак им је претварање механичке енергије у хидрауличну и супротно, хидрауличну у механичку. Омогућавају да се изврши значајан рад као што су дизање тешких терета, окретање осовина, прецизно бушење рупа са минималним улагањем механичких веза кроз примену Паскаловог закона [7]. Улогу основног медијума за трансформацију и преношење енергије у овим системима обавља флуид. Карактеристика нестишљивих течности које се примењују у хидрауличним системима је да се њихова запремина не сме екстремно мењати под утицајем спољне силе.

Принцип рада хидрауличних уређаја је базиран на Паскаловом закону, као и практичној нестишљивости хидрауличке течности.

Еминентни француски научник Блез Паскал је разним огледима дошао до закључка да спољашњи притисак који делује на затворене течности и гасове преноси се еквивалентно у свим правцима и има исту вредност. Основна мерна јединица за притисак у SI систему је Паскал (Pa). Паскалов закон се изражава обрасцем:

$$p = F / A; \quad (3.1)$$

где су: p - притисак, Pa, F – сила, N и A - активна површина клипа, m^2 .



Слика 3.1 Принцип рада Паскаловог закона

Хидраулични уређај приказан на слици садржи два одвојена цилиндрична суда које су испуњене течношћу [8]. Попречни пресеци ова два суда су различити што имплицира да ће и површине клипова који их затварају бити различите.

A_1 – површина мањег клипа,

A_2 – површина већег клипа.

Притисци испод клипова су:

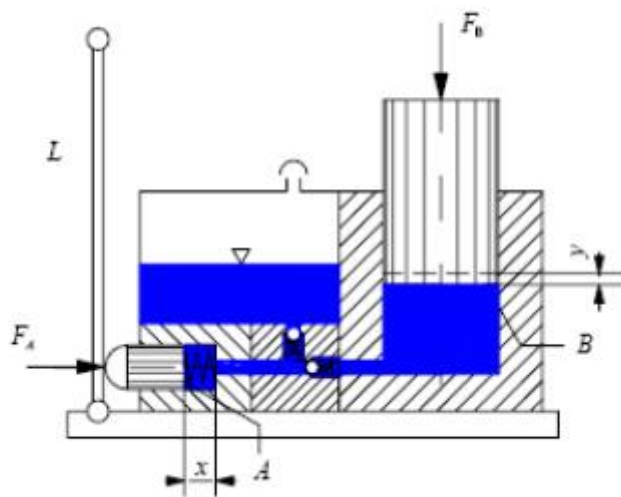
$$p_1 = \frac{F_1}{A_1} \quad (3.2)$$

$$p_2 = \frac{F_2}{A_2} \quad (3.3)$$

Према Паскаловом закону притисци су еквивалентни ($p_1 = p_2$) што имплицира:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}, \quad (3.4)$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2}. \quad (3.5)$$



Слика 3.2 Приказ хидрауличне дизалице [9]

Хидраулична пумпа је врста уређаја која у првом цилиндру претвара механички рад претвара притисак у хидрауличну енергију, док хидраулични мотор у другом цилиндру хидрауличну енергију претвара у механички рад. На слици 3.2 је приказан један модел хидрауличног система у форми дизалице. Садржи два цилиндра са покретним клиповима који су међусобно повезани каналима уз помоћ вентила. Канали у себи садрже радну течност [9]. Спољна сила F_A помера мањи клип цилиндра и утиче да исти клип врши померање у десну страну. Као резултат добија се притисак p у течности. Врх клипа преусмерава течност уз помоћ једносмерног вентила у већи цилиндар (површина клипа B) и на тај начин се ствара сила F_B . Након тога, клип мањег цилиндра (површина клипа A) врши померање за одређену величину x услед деловања силе F_A . Последица тога је притисак $p = F_A/A$, а врх клипа потиска запремину течности $V = A \cdot x$. Симултано, клип већег цилиндра (површина клипа B) врши померање за одређену величину y због дејства силе $F_B = p \cdot B$ створене због притиска у хидрауличном систему. Пренос енергије са клипа A на клип B омогућен је физичким дислоцирањем запремине течности: $V = A \cdot x = B \cdot y$. Однос величина хода клипова:

$$\frac{x}{y} = \frac{B}{A} \quad (3.6)$$

Четири елементарне функције хидрауличног система [9]:

1. трансформација механичке енергије у хидрауличну,
2. пренос енергије,
3. трансформација хидрауличне енергије у механичку,
4. појачање силе ($F_B > F_A$).

4. Основни параметри хидрауличних система

Основни параметри једног хидрауличног система су [2]:

- притисак и проток,
- флуид,
- губици,
- радна температура

4.1 Притисак и проток

Притисак је параметар од кога зависи дефинисање хидрауличних система као што су уљно-хидрауличне пумпе и мотори, као и дефинисање дебљине зидова цевовода, димензије и врсте разводних и регулационих компоненти. Други основни параметар је проток хидрауличних система. Битан је због одабира пумпе, мотора, одређивања пречника цевовода и цревовода, као и димензија осталих компоненти хидрауличних система. Притисак и проток хидрауличних система директно утичу на вредности силе (притисак) и брзине (проток) система.

Главне зависности приликом стварања параметара у једном хидрауличном систему где су притисак и проток основни параметри [2]:

$$\bullet \quad F = P \cdot A = P \frac{D^2 \pi}{4} \cdot 9.8 \quad (\text{N}) \quad (4.1)$$

Сила која се врши на трансляторном извршном органу хидрауличног ситема (радном цилиндру), еквивалентна је производу из притиска у систему и површине клипа у радном цилиндру.

$$\bullet \quad v = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (\text{m/s}) \quad (4.2)$$

Брзина које добија на транслаторном извршном органу хидрауличног система једнака је количнику протока у систему и површине клипа у радном цилиндру.

$$\bullet \quad N = \frac{P \cdot Q}{450} \cdot 0.735 \quad (\text{KW}) \quad (4.3)$$

Снага која се врши у систему је производ притиска и протока система.

$$\bullet \quad t = \frac{60000 \, V_{r \cdot C}}{Q} \quad (\text{s}) \quad (4.4)$$

Време за извршење одређеног хода транслаторног извршног органа једнако је количнику из запремина извршног органа и протока система.

$$\bullet \quad S = \frac{Q \cdot t}{60000 \, A} = \frac{Q \cdot t}{\pi D^2 \cdot 15000} \quad (\text{m}) \quad (4.5)$$

Ход транслаторног извршног органа једнак је производу протока система и времена подељеном са површином клипа у радном цилиндру.

$$\bullet \quad v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{Q}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{4Q}{\pi d^2} \quad (\text{m/s}) \quad (4.6)$$

Брзина кроз цевоводе и цревоводе система једнака је количнику протока у систему и проточне површине цевовода и цревовода.

$$\bullet \quad V_{RC} = \frac{Q \cdot t}{60000} = \frac{S \cdot D^2 \pi}{4} \quad (\text{m}^3) \quad (4.7)$$

Запремина транслаторног извршног органа једнака је производу протока у систему и времена за остварење хода.

4.2 Флуид

Флуиди за хидраулички пренос снаге могу се поделити у три елементарне групе:

1. минерална уља (уља за хидраулику),
2. синтетички флуиди (незапаљиви флуиди), и
3. вода

4.2.1 Минерална уља

Уношењем одређених адитива у минерална уља доводи до просперитета у домену повећања века трајања уља, побољшања отпорности према корозији, отклањању појаве пене, као и елиминације утицаја температуре на вискозитет уља [10]. Главне карактеристика минералних уља у хидрауличним системима [2]:

- поседовање одређеног степена вискозитета који је компатибилан са радним условима. При вишим притисцима у систему, селектира се уље вишег вискозитета. Класификација уља:
 1. за притисак до 500 N/cm^2 користе се уља вискозитета $2^\circ - 3^\circ$ Engler-a,
 2. за притиске у распону од $500 \text{ N/cm}^2 - 1500 \text{ N/cm}^2$, уља $3^\circ - 6^\circ$ Engler-a,
 3. за притиске преко 1500 N/cm^2 , уља $6^\circ - 9^\circ$ Engler-a,
- промена вискозитета уља мора бити спроведена минимално у релацији са променом радне температуре како би хидраулични систем могао да функционише на оптималном нивоу,
- поседовање високог степена квалитета подмазивања и отпорност према топлоти,
- отпорност према мешању са ваздухом (појава пене),
- недозвољено присуство киселине и осталих материја које имају нагризајуће особине, металне прашине и делиће метала који узрокују корозију и оштећења регулационих компоненти система,
- недозвољена тенденција стварања емулзије са водом.

4.2.2 Синтетички флуиди

Представљају врсту флуида који су незапаљиве течности, и по карактеристикама су најсличнији минералним уљима. Предности синтетичких уља у односу на минерална уља:

- потребна или жељена својства не могу се добити минералним уљима, чак и са присуством адитива,
- топлотна стабилност,
- оксидациона стабилност
- понашање протока при нижим температурама,
- испарљивост на вишим температурама,
- отпор при паљењу,
- утицај околине.

4.2.3 Вода (хидраулични флуид)

Имплементирају се у системима [11] због својих еколошких карактеристика као и одређених предности у односу на минерална уља:

- нижи степен вискозитета,
- висок модул еластичности,
- оптималније отпуштање ваздуха,
- незапаљивост.

Упркос предностима, вода као медијум у хидрауличним системима поседује недостатке попут подстицаја корозије и микроорганизама, низак квалитет подмазивања као и велики степен испаравања. Услед тога се користе материјали за израду делова система који нису уобичајени у хидраулици попут керамичких или полимерних превлака и нерђајућег челика.

4.3 Губици у хидрауличном систему

Одређивање губитака се врши уз помоћ Бернулијеве једначине [2]:

$$\sum \Delta P = (p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} + \rho h_1 g) - (p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho h_2 g) \quad (4.8)$$

где су : p – притисак у систему (Pa)
 v – брзина у систему (m/s)

Врсте губитака:

- губици у праволинијским цевоводима

$$\Delta P = \lambda \frac{L}{D} \frac{\rho}{2} v^2 \quad (4.9)$$

где су: L – дужина цевовода
 D – пречник цевовода
 λ – коефицијент који је зависан од Рејнолдсовог броја (Re)

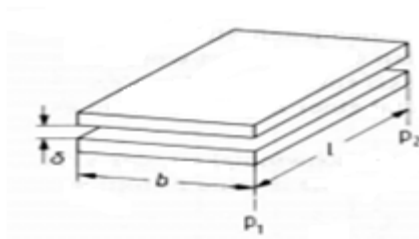
- губици у кривим цевоводима

$$\Delta P = \xi \frac{\rho v^2}{2} \quad (4.10)$$

где је: η – коефицијент губитка зависан од полупречника кривине r и унутрашњег пречника цевовода

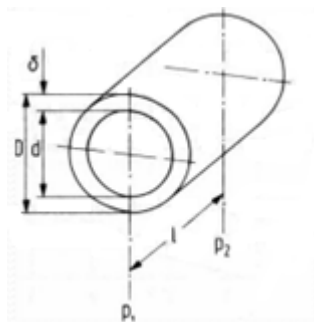
- губици цурења у распорима

Распори су присутни код свих хидростатских уређаја и од велике су важности како би систем функционисао. Димензије распора се крећу преко 5 mm по дужини и ширини, док је висина 5 – 20 μ m. Услед таквог димензионисања, струјање је ламинарно, а Рејнолдсов број има нижу вредност [2].



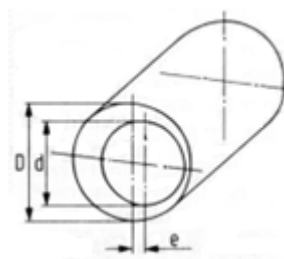
Слика 4.1 Приказ равног распора [2]

$$Q_L = \frac{b \cdot \delta^3}{12 \cdot \eta} \cdot \frac{p_1 - p_2}{l} \quad (4.11)$$



Слика 4.2 Приказ концентричног распора [2]

$$Q_L = \frac{\pi \cdot \delta^3 \cdot d}{12 \cdot \eta} \cdot \frac{p_1 - p_2}{l} \quad (4.12)$$



Слика 4.3 Приказ ексцентричног распора [2]

$$Q_L = \frac{\pi \cdot \delta^3 \cdot d}{12 \cdot \eta} \cdot \frac{p_1 - p_2}{l} \cdot (1 + 1,5 \cdot \varepsilon^3) \quad (4.13)$$

$$\delta = \frac{D-d}{2}, \varepsilon = \frac{e}{\delta} \quad (4.14)$$

4.4 Радна температура

Представља параметар који се одређује пре финалног детерминисања компоненти и ситема. Вредности максималних радних температура које се користе приликом детерминисања [2]:

- хидраулични системи за машине радилице $t = 40^{\circ} - 50^{\circ}\text{C}$,
- хидраулични системи за опште машинство $t = 50^{\circ} - 60^{\circ}\text{C}$, и
- хидраулични системи за моторна возила $t = 65^{\circ}\text{C}$.

Развијену количину топлоте можемо представити обрасцем

$$\Delta Q = \sum_{\text{nct}} + \sum_{\text{mct}} \Delta T$$

где су: m – маса делова система који се загрева,

c – специфична топлота делова,

t – специфична температура делова,

E – коефицијент преноса топлоте,

A – површина делова система и

t' – разлика температуре између површина делова и околине.

5. Класификација и подела хидрауличних система

Најоптималнији вид класификације хидрауличних система је по функцији компоненте [1]:

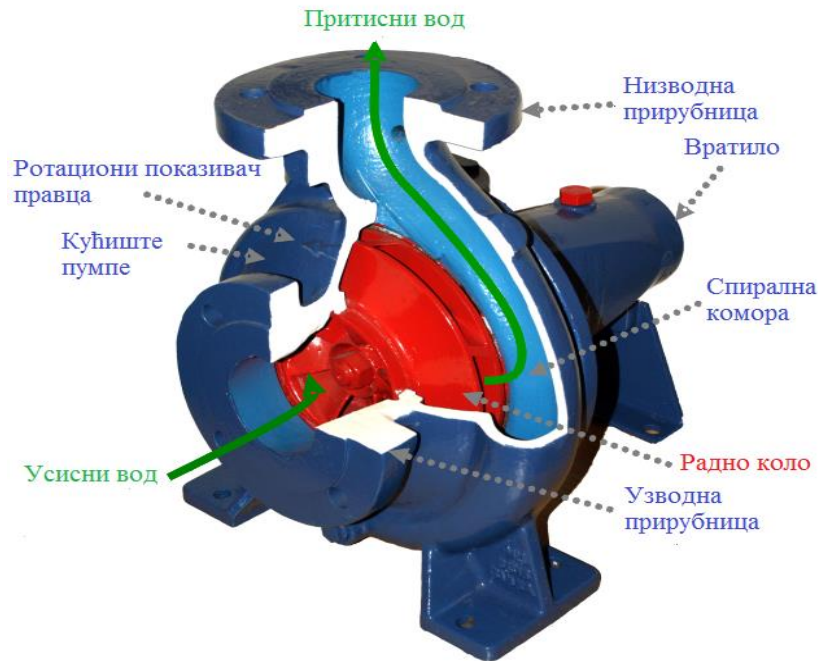
- изворни елементи (хидрауличне пумпе),
- разводни елементи (разводници),
- регулациони елементи (вентили),
- извршни елементи (цилиндри и мотори),
- преносни елементи (преносници).

5.1 Хидрауличне пумпе

Хидраулична пумпа је механички уређај који претвара механичку у хидрауличну енергију. Базира се на принципу компресовања флуида унутар механичких компоненти и потискивањем флуида ротирањем или осцилирањем тих компоненти [1]. Када хидраулична пумпа функционише, ствара се вакуум на улазу пумпе који потискује течност из резервоара до улазне линије пумпе а затим механичким дејством допрема се течност до излазног дела пумпе а затим се потискује у хидраулични систем. Данас хидрауличне пумпе се могу наћи практично у свим мобилним и индустријским применама и користе клипове, лопатице или зупчанике како би створили испумпавање које производи проток.

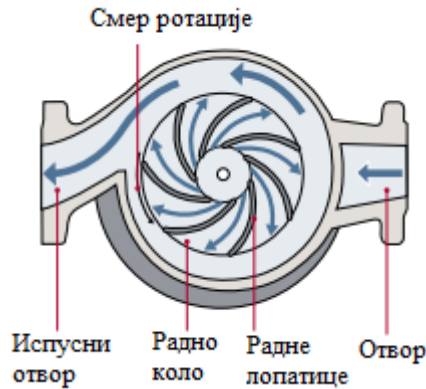
5.1.1 Центрифугалне пумпе

Центрифугалне пумпе се користе да изазову проток или да подигну притисак течности. Једна је од најкоришћенијих типова хидрауличних пумпи. Принцип рада пумпе се остварује тако што она ствара повећање притиска преносом механичке енергије из мотора до течности користећи радно коло које врши ротацију. Течност се креће од улаза до центра радног кола и након тога дуж лопатица. Центрифугална сила тиме повећава брзину флуида а кинетичка енергија се трансформише у притисак [12].



Слика 5.1 Шетатски приказ центрифугалне пумпе [13]

Пумпа је повезана са цеводом уз помоћ улазне и излазне прирубнице. Дизајн прирубница зависи од примене пумпе. Отвор доводи воду до радног кола. Лопатице ротационог радног кола преносе енергију на флуид повећавајући брзину и притисак. Флуид се усисава у радно коло и тече кроз канале радног кола који су формиран од стране радних лопатица. Радно коло је примарна компонента за детерминисање рада пумпе. Способност радног кола да повећа притисак и да створи проток зависи искључиво од тога да ли флуид пролази аксијално или радијално кроз радно коло. Код радијалног радног кола, постоји значајна разлика између пречника отвора и испуста као и разлика између ширине и пречника испуста. Последица тих разлика је центрифугална сила која резултира у високом притиску и малом протоку. Док код аксијалног радног кола постоји низак притисак и велики проток без промена у радијалном правцу и ширине испуста.



Слика 5.2 Кућиште центрифугалне пумпе

Број лопатица радног кола зависи од жељених перформанси и ограничења буке као и од количине и величине чврстих честица у флуиду. Радна кола са пет до десет канала дају највећу ефикасност и користе се за флуиде без чврстих честица. До 3 канала се користе се за флуиде који садрже отпадне воде. Главна ивица радног кола је конструисана да смањи ризик од честица које могу да блокирају рад радног кола. Спирална комора је пролаз који окружује радно коли и дифузор [14]. Флуид улази тангенцијално у комору из пролаза радног и креће се у кућиште пумпе. Кућиште је конструисано за константну брзину протока. То мења дирекцију протока од сукцесивних пролаза што омогућује флуиду да напусти кућиште на излазном делу пумпе.

Специфична брзина пумпе:

$$N_s = \frac{N\sqrt{q}}{(H_{td})^{0.75}} \quad (5.1)$$

где су: N_s – специфична брзина пумпе,
 N – ротациона брзина пумпе,
 q – капацитет пумпе
 H_{td} – теоријски напор кола

Једначина центрифугалне пумпе по Бернулијевој једначини [1]:

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} \quad (5.2)$$

5.1.2 Зупчасте пумпе

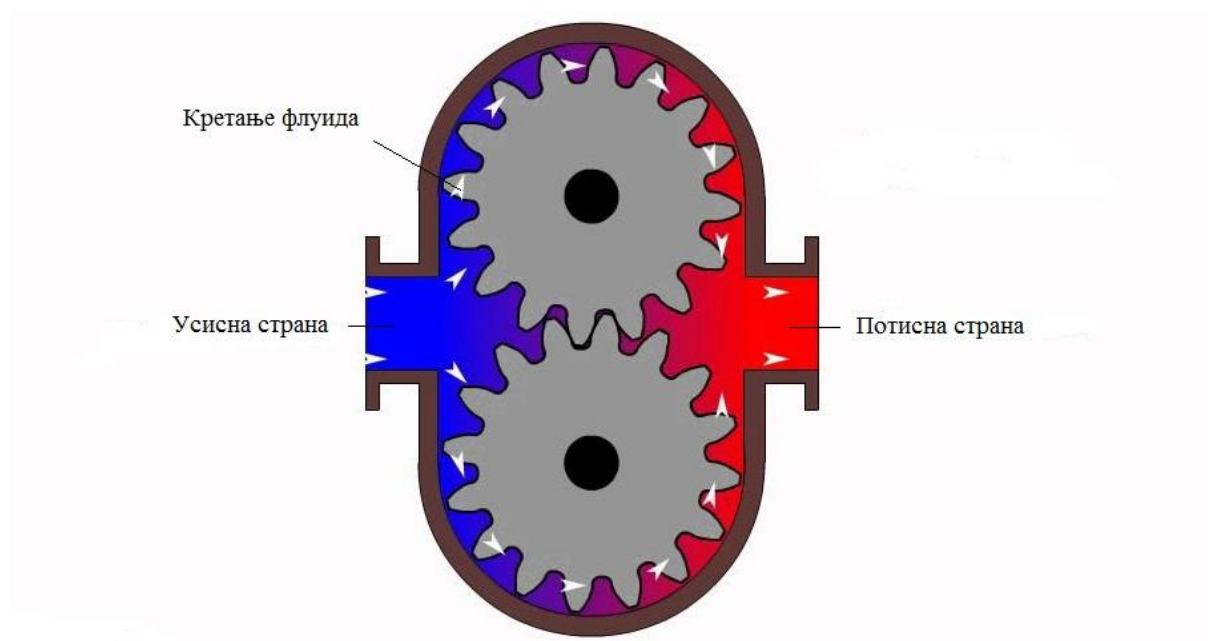
Конструкција ова пумпе је базирана на озубљеном пару зупчаника са еквивалентним бројем зуба, док се флуид преноси од усисног до потисног дела у међузубљу зупчаника које је ограничено статором. Налазе су у групи запреминских пумпи код којих се потискивање течности врши преко зуба зупчаника. Због своје просте контрукције и мали број компоненти, замену делова пумпи је лако извршити.

Лоше особине ових пумпи одликују велики шум приликом великих броја обртаја и притиска и висок степен неравномерног потискивања флуида.

5.1.2.1 Зупчасте пумпе са спољашњим озубљењем

Поседују изузетно чврст склоп и толеранцију за рад под високим диференцијалним притисцима. Одликују се једноставном конструкцијом, малим димензијама и оптималном ценом. Користе се углавном за пренос или мерење течности. Три фактора су укључена у регулацији протока:

1. радна комора између зуба,
2. брзина зупчаника и
3. количина течности која клизи ка усисној страни преок механизма (зависност толеранције).



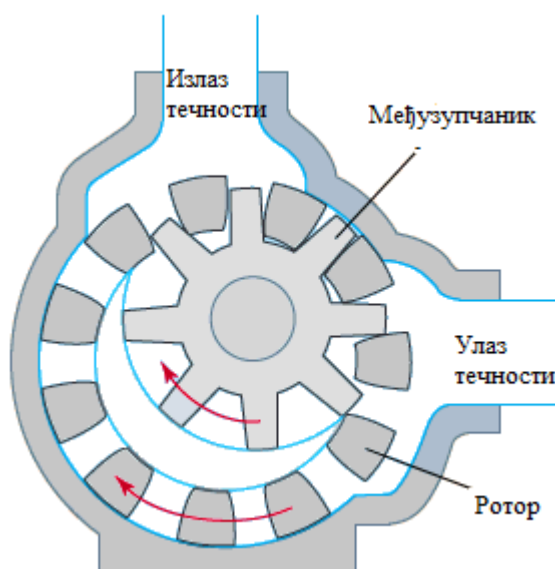
Слика 5.3 Шематски приказ зупчасте пумпе са спољашњим озубљењем

Погон се врши преко водећег вратила које је повезано са водећим зупчаником, чије се окретање преноси и на вођени зупчаник [15]. Радна течност која се налази у међузубљу креће се са са усисне стране до потисне стране и креће се око зупчаника. Зупчаници ротирају и настављају да врше снабдевање течности из усисне стране пумпе до потисне стране. Координисањем зупчаника на потисној страни потискује се течност из пумпе у потисни вод. Део течности који остаје између зуба приликом улаза у захват, одводи се специјалним каналом. Једна од предности ових пумпи је могућност самоусисавања јер зупчаници приликом ротирања испразњују ваздух у усисном воду. Ово производи вакуум који омогућава атмосферском притиску да потискује течност до потисног вода. Оваква способност зупчасте пумпе је идеалан избор када се захтева да се пумпа налази изнад нивоа течности, а течност се мора подићи до нивоа пумпе.

Хидраулички губици су веома мали, пумпе нису осетљиве на запрљану радну течност и експлоатационе карактеристике пумпи су на високом нивоу.

5.1.2.2 Зупчасте пумпе са унутрашњим озубљењем

Користе се при раду са ретким течностима попут растварача и мазута, али се посебно истичу приликом испумпавања густих течности као што су асфалт, чоколала и адхезиви. Поред широког опсега вискозности, ове пумпе имају и температурни опсег приликом рада са течностима до 400 °С. Подмазивање зупчаника се врши уз помоћ течности, док је конструкција пумпе поуздана, пумпе су једноставне за руковање као и одржавање због присуства само два покретна дела. Постоји само један погонски зупчаник који је неопходан да би механизам функционисао. Имају релативно ниску брзину и притисак усисног вода.



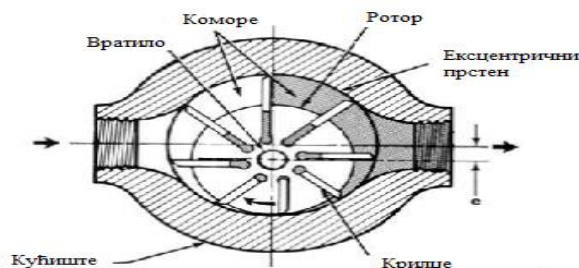
5.4 Шематски приказ зупчасте пумпе са унутрашњим озубљењем

Принцип рада је приказан на слици 5.4. Течност улази у усисни вод између ротора (већег спољашњег зупчаника) и међузупчаника (мањи унутрашњи зупчаник). Стрелице показују смер кретања течности и пумпе. Течност се креће кроз пумпу између зуба као и код пумпе са спољашњим озубљењем. Простор између зупчаника у облику полумесеца дели течност и делује као заптивач између усисног и испусног вода. Глава пумпе је поплављена, непосредно пре потискивања течности из испусног вода. Ротор и зупци међузупчаника се захваћују у потпуности и на тај начин се стварају заптивне силе које приморавају течност да изађе из испусног вода. Пумпа не садржи механизам за управљање што значи да се смер потискивања, величина протока и притисак у току рада не могу регулисати.

5.1.3 Крилне пумпе

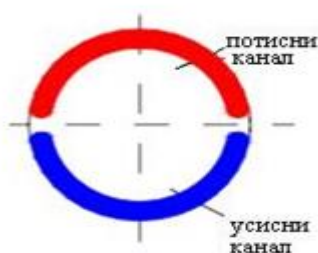
Крилне пумпе су доступне у великом броју крилних конфигурација, укључујући крилца као што су клизећа, флексибилна, осцилирајућа и спољашња. Познате су по сувом подмазивању, лако одржавању и dobrим усисним карактеристикама [1]. Поврх

тога, овај тип пумпи може поднети температуре течности у распону од $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $260\text{ }^{\circ}\text{C}$ и диференцијалне притиске до 15 bar. Крилца су потискујући елементи којих има углавном од десет до дванаест, а радна комора је смештена између ротора, статора и крилаца. Крилна пумпа је приказана на слици 5.5.



5.5 Шематски приказ крилне пумпе

Центар ротора је померен у односу на осу статора за величину (e) која се зове ексцентрицитет и од тога зависи проток пумпе. Усисна страна пумпе је одвојена од потисне разводном плочом која се састоји од два отвора у облику полумесеца. Разводна плоча је приказана шематски на слици 5.6.



5.6 Разводна плоча

Принцип рада крилних пумпи се врши тако што се обртањем ротора пумпе мења и запремина радних комора. Највећа вредност запремине радне коморе се остварује закретањем ротора за пола круга (π), док се најмања вредност врши при достизању пуног круга (2π). Континуираним закретањем ротора постиже се да комора има мању запремину. Улога усисног канала разводне плоче омогућава својим позиционирањем попуњавање радних комора течностима константно док се у исто време њихова запремина повећава (заокрет од 0 до π), док потисни канал врши одвођење радне течности за време смањивања радне коморе (заокрет од π до 2π).

Предности крилних пумпи:

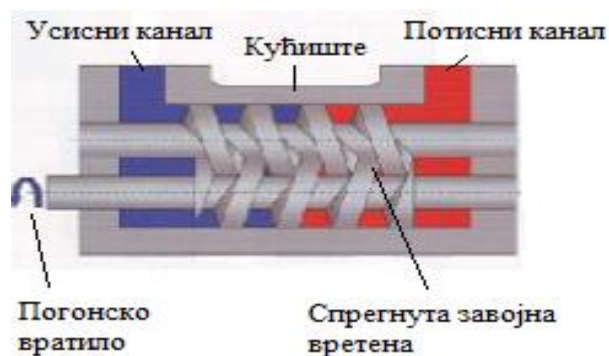
- развијање вакуума,
- рад без присуства буке,
- могућност рада на суво на кратким периодима,
- мале димензије.
- компензација хабања се врши екстензијом крилаца.

Недостаци крилних пумпи:

- комплексна конструкција кућишта и присуство много делова,
- нису применљиве за рад при великим притисцима,
- нису применљиве за рад при великим степеном вискозитета,
- велика осетљивост на чистоћу радног флуида.

5.1.4 Вијчане пумпе

Вијчане пумпе сабијају и потискују радну течност кроз коморе које се формирају између кућишта и оба завојна вретена. На овај начин се постиже да се радна течност креће без ротације што дозвољава струјање уља без пулзације што представља уједно и највећу предност ових пумпи [2]. Ове пумпе у себи могу садржати радне елементе у облику вијка којих може бити један, два или више који омогућују кретање радне течности дуж осе вијака. Принцип рада је приказан на слици 5.7.



5.7 Шематски приказ вијчане пумпе

Механизам за потискивање представља се састоји у спрегнутом завојном пару, а између завојница се налази радна течност. Смер потискивања је одређен смером окретања погонског вретена. Радна комора се формира спајањем коморе и спрегнутих завојних вретена. Радна течност се креће од усисног до потисног дела пумпе ротирајући се док се уједно повећава притисак течности која се налази између завојница. Радна запремина ових пумпи је константа јер не поседују механизам за управљање. Гоњена вретена се окрећу без преношења обртног момента и врше заптивање. Једна од карактеристика ових пумпи је проток који може да буде велики (3000 – 6000 l/min). Проток зависи од броја обртаја вретена (1500 – 3000 o/min) и специфичне запремине.

Теоретски проток пумпе се израчунава на следећи начин:

$$Q_t \approx \frac{\pi \cdot (D_{sp}^2 - D_{un}^2) \cdot s \cdot n}{4 \cdot 1000} \quad (\text{l/min}) \quad (5.3)$$

где су: D_{sp} , cm – спољни пречник погонског вретена

D_{un} , cm – унутрашњи пречник погонског вретена

n , cm – нагиб завоја

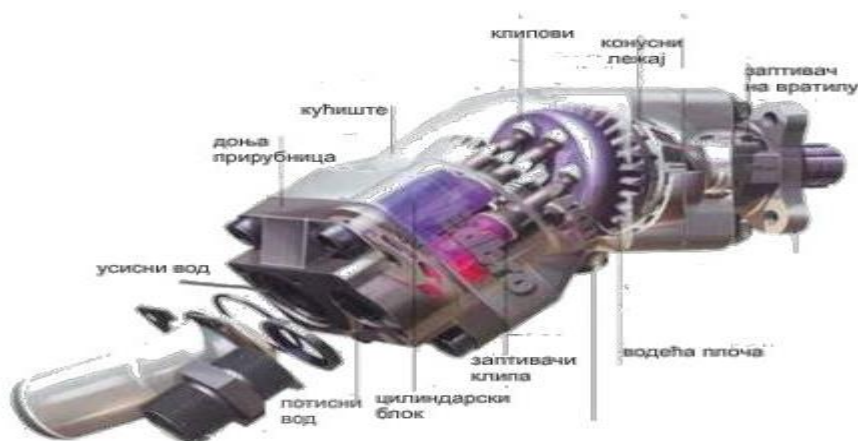
s , o/min – број обртаја

Недостаци ових пумпи су:

- осетљивост на велики потпритисак у усисном воду,
- високи губици кроз зазоре,
- присуство шума током рада.

5.1.5 Аксијално - клипне пумпе

Назив ових пумпи је добијен због аксијалног распореда цилиндра у односу на осу цилиндарског блока. За разлику од радијалних пумпи, код аксијалних пумпи клипови су аксијално покретни. Радни елемент ових пумпи је клип који има транслаторно кретање који уједно усисава и потискује течност. Раде на средњим и високим притисцима и поседују велики проток, док је степен искоришћења велики. Могу бити константног и променљивог протока. Код пумпи са константним протоком не постоји могућност промене угла нагибног блока, док код пумпи са променљивим је та промена могућа заједно са променом хода клипа што имплицира и промену протока. Број клипова у мотору је непаран и броји 5, 7 или 9 клипова у ротору сходно величини пумпе. Аксијално - клипна пумпа са косо постављеним цилиндарским блоком је представљена на слици



5.8 Карактеристична конструкција аксијално - клипне пумпе

Код аксијално - клипних пумпи са косо постављеним цилиндарским блоком због нагнутог блока цилиндра, клипови чији су ходови пропорционални овом углу, при осцилаторном кретању компресују и потискују радну течност уз помоћ разводне плоче у усисни вод. Усисавање се врши у цилиндрима који су повезани преко разводне плоче са усисним водом. Цилиндарски блок је постављен под одређеним углом у односу на осу ротације. Код већине конструкција, блок се окреће што омогућује једноставно развођење течности. Проток пумпе се регулише променом угла између нагиба осе плоче и осе цилиндарског блока. Промена се постиже променом положаја цилиндарског блока или при непромењеном положају осе косе плоче, док се кретање.

Предности овог типа пумпи се огледа у:

- добром степену искоришћења.
- бешумном раду,

- велики степен сигурности у раду.

Код аксијално - клипне пумпе са косом плочом осе разводне плоче цилиндарског блока и погонског вратила се налазе у истој линији. Под одређеним углом је постављена плоча у односу на вратило. Принцип рада се заснива тако што се покреће цилиндарски блок окретањем погонског вратила пошто су механички везани. Клипови који су наслоњени на косу плочу имају две фазе. Прва фаза је извлачење из цилиндра при чему се повећава радни простор па се радна течност услед притиска усисава. Друга фаза представља увлачење цилиндра што за резултат има редукцију запремину радне коморе па се радна течност потискује услед притиска. Теоретски проток аксијалне клипне пумпе може се израчунати по обрасцу:

$$Q_t = \frac{A_k \cdot h \cdot n \cdot z}{1000}, \quad (\text{dm}^3/\text{min}) \quad (5.4)$$

где су: A_k, cm^2 – површина пресека клипа

h, cm – ход клипа

$n, \text{o/min}$ – број обртаја

z – број клипова

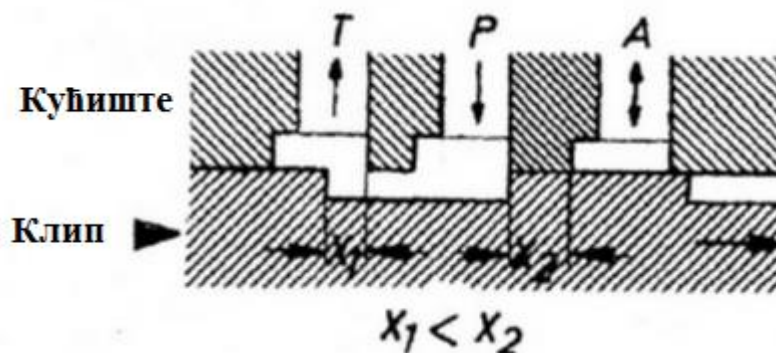
5.2 Разводници

Улога разводника је да врши усмеравање радне течности под притиском у коморе извршних органа како би се извршило померање у жељеном смеру, као и регулисање протока. Такође регулишу полазак, заустављање и дирекцију кретања хидромотора. У главне карактеристике разводника убрајају се [3]:

- број положаја,
- број хидрауличних прикључака,
- врста управљања,
- облик извођења (појединачно или у блоку),
- врста преклапања вентила и разводника,
- начин активирања разводника и
- називна величина

Разводник садржи одређени број отвора и положаја. На пример, разводник 4/2 поседује четири прикључних отвора (резервоар, пумпа и два отвора за извршне органе) и два положаја. Број радних положаја је детерминисан функцијом разводника тако да постоје двоположајни, троположајни и четвороположајни хидраулични разводници. Разводници се у односу на поделе положаја и прикључака означавају са x/y где x представља означен број прикључака разводника а y означава број положаја разводника. Разводник може имати три форме преклапања: позитивно, негативно и нулто преклапање.

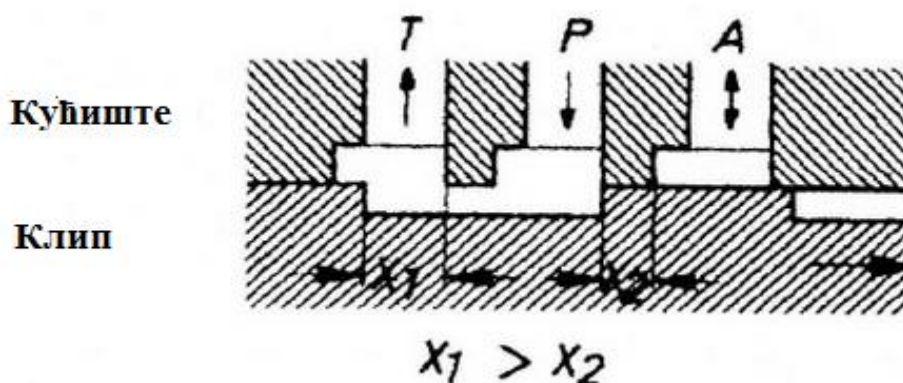
Код позитивног преклапања приликом управљања прекида се веза пумпе са цилиндром. Радна течност коју пумпа испумпава у времену од затварања везе пумпе са резервоаром и отварања везе пумпе и цилиндра отиче преко сигурносног вентила.



Слика 5.9 Позитивно преклапање

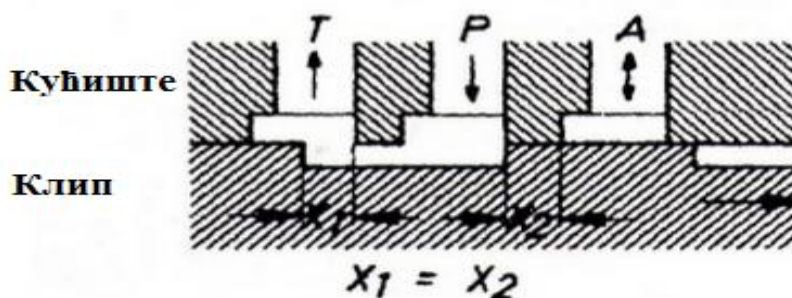
Када се укључи соленоид разводника за кретање клипа у десну страну, врши се затварање везе $P - T$ због $X_2 > X_1$, а даљим померањем клипа отвара се веза $P - A$. Док клип прелази раздаљину $X_2 - X_1$, сви канали су затворени, а пумпа повећава притисак који не дозвољава мешање протока тј. Радна течност не одлази у A и T део.

Код негативног преклапања долази до отварања везе пумпе са цилиндром, а даљим померањем клипа затвара се пролаз радне течности према резервоару. Притисак приликом управљања се повећава у зависности оптерећења у цилиндру.



Слика 5.10 Негативно преклапање

Круцијални део представља када клип заузме положај $X_2 - X_1$ јер тада веза $P - T$ бива отворена за величину $X_1 - X_2$, а уједно ће бити и тренутак отварање везе $P - A$. Овај тип преклапања има предност јер не долази до хидрауличног удара, док је недостатак дељење протока у линијама $P - T$ и $P - A$.

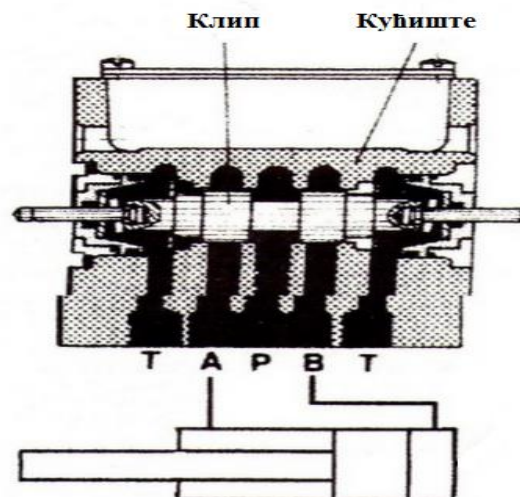


Слика 5.11 Нулто преклапање

Нулто преклапање представља да је разводник тако контруисан да се при прелазу из једног у други положај, отвори истовремено отварају и затварају.

5.2.1 Клипни хидраулични разводници

Основни елемент представља цилиндрични клип са каналима и појасевима [16]. Процес развођења се врши акцијалним померањем клипа у телу. Постоје са аксијалним и са обртним кретањем клипа. На слици 5.12 је приказан клипни разводник са својим деловима.



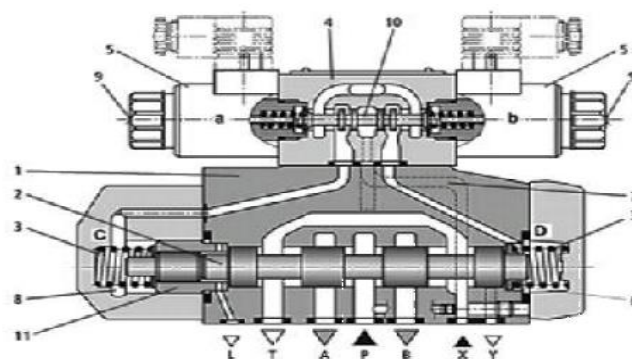
Слика 5.12 Шематски приказ клипног разводника

Клип се налази у неутралном положају па су прстенасти канали раздвојени међусобно што резултује да нема присуства протока или да је потисни вод (Р) затворен. Када клип изврши померање у десну страну, појављује се веза између канала Р и В што омогућава пролаз радног флуида из потисног вода ка радном цилиндру. Симултано се остварује веза између канала А и Т (резервоар) која дозвољава пролаз радног флуида из радног цилиндра у резервоар.

5.2.2 Електрохидраулични разводници

Могу поседовати следеће могућности:

- спољашње серво-управљање,
- подешено серво-управљање у управљачком ходу,
- подешавање хода и
- неповратни вентил.



Слика 5.13 Шематски приказ електрохидрауличног разводника

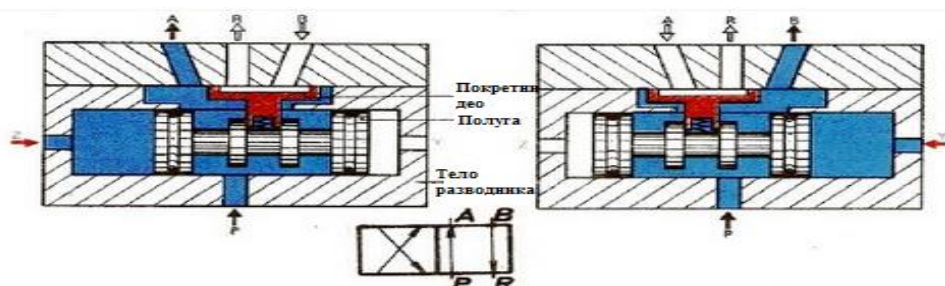
Користе се при захтеву већих сила за активирање разводног клипа [3]. Садрже шест прикључних отвора: за пумпу, за потрошаче, за резервоар, управљачки вод и дренажни вод. Клип вентила држе опруге у неутралној позицији. Овај тип разводника чине следеће компоненте: разводни елемент, вентил, електромагнет и плоча. Када се укључи електромагнет, радна течност се доводи са једне од страна клипа разводног елемента и на тај начин се нарушава баланс сила на клипу и он се помера у активну позицију што доводи до развођења радне течности преко пумпе до цилиндра а затим до самог резервоара. Клип се враћа у неутралну позицију уз помоћ дејства опруге. Пригушни вентил има улогу да изврши редукцију удара у хидрауличном систему који чине управљачки и главни вентил. Распон температуре радне течности се креће од -30°C до 70°C , разводници се вежу за плочу па су јако прикладни за уградњу на велике разводне блокове.

5.2.3 Плочасти разводници

Разводни елемент ових разводника је у форми плоче са каналима за развођење радне течности. Подела према померању радног елемента:

- транслаторни плочасти разводници и
- обртни плочасти разводници.

Предности ових разводника се огледа у малом зазору, не постоји опасност од заглављивања услед промене температуре, једноставној конструкцији, коришћење при ниским и средњим притисцима као и дуг радни век. Недостатак представља оптерећење радног елемента при притиску радне течности као и то што заптивни прстен прелази преко ивице отвора за довод радне течности.



5.14 Шематски приказ плочастог разводника

Принцип рада је представљен на слици . Разводник садржи покретан део (плоча) и тело разводника док се полугом дејствује покретање рада разводника и зависно од положаја плоче повезани су водови А и Р као В и R. Развођење радне течности се остварује ротацијом плоче за одређени угао. Користе се притиске и до 700 bar, а за протоке и до 250 l/min.

5.3 Вентили

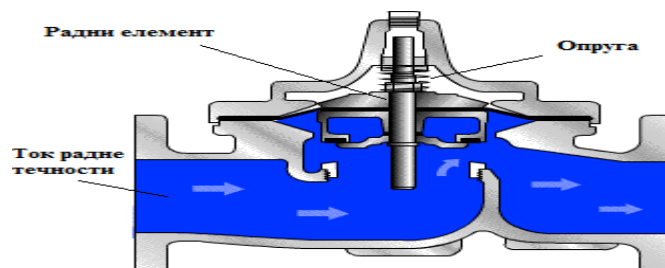
Представљају тип уређаја помоћу којих се врши регулисање елементарних параметара хидрауличних система као што су притисак, проток и смер струјања радне течности.

Класификација вентила према параметру [3]:

- вентили притиска,
- вентили за регулисање протока,
- регулатори смера струјања радне течности.

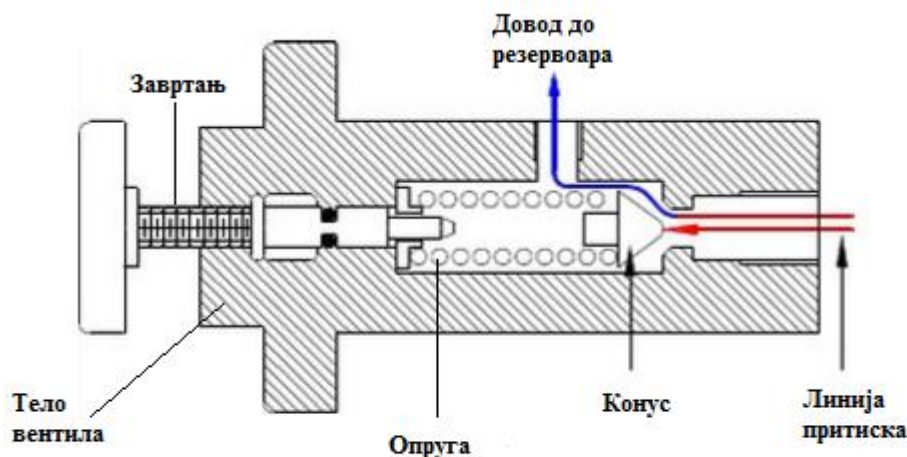
5.3.1 Вентили притиска

Имају улогу да лимитирају притисак у хидрауличном систему на детерминисану вредност како би се извршила заштита система. Један од основних представника ове групе хидрауличних система је вентил за редукијом притиска.



Слика 5.15 Вентил са редукијом притиска

Док је сила притиска опруге на радни елемент већа од силе притиска радног флуида, вентил ће бити затворен. У моменту када сила притиска премаши детерминисану вредност, дејство опруге бива активирано од стране силе на радном елементу вентила што узрокује отварање вентила које омогућује одлазак радног флуида у резервоар. У случају да је количина радног флуида који се одводи довољна, притисак у хидрауличном систему се неће повећавати. Међутим, када сила притиска радног флуида опада, радни елемент поново се враћа у првобитни положај. Ова врсте вентила је адекватна при раду са малим и средњим притисцима, док при раду са високим притисцима не били оптимални за употребу јер би радни елемент и пречник опруге били изузетно великих димензија. Најпримењенији вентили у свим хидрауличним инсталацијама су вентили сигурности. Постоје вентили директног и вентили индиректног дејства.



Слика 5.16 Шематски приказ сигурносног вентила

Сигурносни вентили (слика 5.16) директног дејства се састоје од тела вентила, опруге, регулационог завртња и котура. Конус придржава седиште вентила компресијом опруге која се регулише уз помоћ завртња. Када је притисак у усисном делу недовољан да премаши силу опруге, вентил је затворен. Када притисак радне течности премаши силу опруге тада долази до померања конуса из седишта и радна течност се одводи до резервоара. Како се притисак смањује, котур ће блокирати довод радне течности до резервоара. Користе се при мањим протоцима док се сигурносни вентили са индиректним дејством користе при већим.

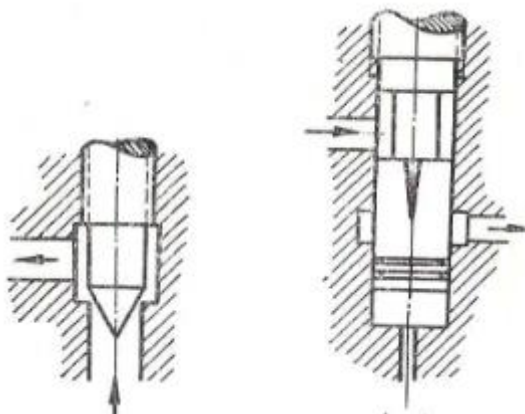
5.3.2 Вентили за регулисање протока

Задатак им је да регулишу проток радног флуида тј. да га чине константним или да га мењају. Када се пресек кроз који струји радна течност промени онда долази до пригушивања од кога зависи проток. Може се представити обрасцем [2]:

$$Q = A \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \Delta p}{\xi \cdot \gamma}} \quad (5.5)$$

где су: Q – проток,
 A – површина пригушења,
 g – убрзање Земљине теже,
 Δp – пад притиска на месту пригушења,
 γ – специфична тежина уља,
 ξ – коефицијент пригушења.

Пригушни вентили имају задатак да обезбеде независност протока од вискозности радне течности, добар степен и висок опсег регулисања као и могућности подешавања. Да би се обезбедио константан проток мора постојати пад притиска код пригушнице. Разлика у притиску одређује количину протока која пролази кроз пригушни вентил. Пригушници су приказани на слици 5.17.



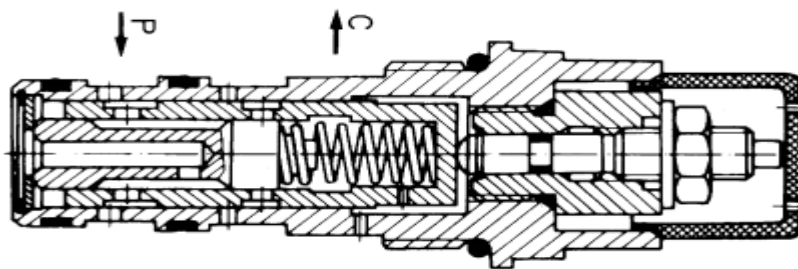
Слика 5.17 Пригушни вентили [2]

Константност притиска на месту пришења остварује се тако што пригушник који има особиху ручне регулације пригушења, укључује други пригушник који се налази испред њега или је паралелан са њим. Док се на другом пригушнику мења пресек тако да пад притиска остаје константан што значи да је и проток такође константан.

Регулатори протока се могу поделити на:

- двогране регулаторе протока и
- трогране регулаторе протока.

Двограни регулатори протока своју улогу извршавају у спрези са преливним вентилима преко којих се вишак радне течности преноси у резервоар. Морају обезбедити константан проток на пригушници. Користе се при инсталацијама са акумулаторским напајањем где имају циљ да из акумулатора врше одвод протока.



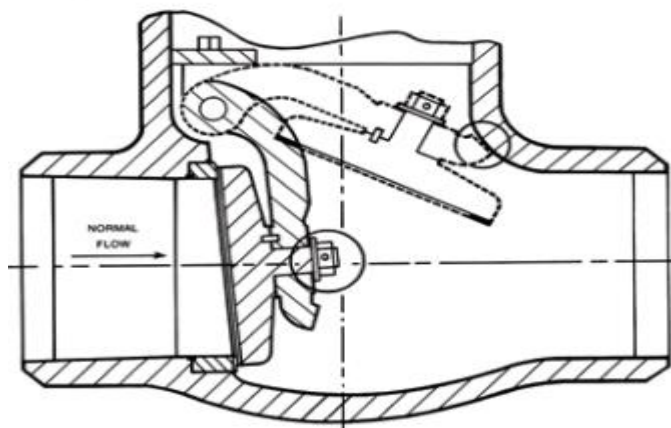
Слика 5.18 Регулатор протока

Опруга помера клип у смеру отварања и остаје затворен када нема струјања у вентилу. Уз помоћ диференцијалног клипа врши се константна разлика притиска на пригушнику што резултује константним протоком. У случају да кроз клип тече флуид, тада на клип делује сила од притиска која се остварује на две површине. На пригушном месту је пад притиска пропорционалан сили у опрузи. Вишак течности се одводи преко вентила за ограничење притиска у резервоар. Користе се за системе који имају ниске притиске.

Регулатори који се уграђују у потисној грани и уз помоћ њиховог дејства фракција радне течности се одводи у резервоар називају се трограни регулатори. Врше контролу протока независно од промене притиска и температуре течности. Вентил пригушнице код ових регулатора је везан паралелно, и на тај начин се вишак радне течности одваја.

5.3.3 Регулатори смера струјања радне течности

Један од представника ове врсте регулатора су неповратни вентили. Омогућавају протицање радне течности у једном смеру, док из супротног смера протицање блокирано. Опруга омогућава монтажу вентила у било којој дирекцији. Елемент који врши затварање може бити куглица, конус или мембрана.



Слика 5.19 Попречни пресек неповратног вентила

Неповратни вентил функционише тако што дозвољава проточним силама да померају диск из затвореног положаја у потпуно отворену позицију у лучном покрету преко зглоба у телу вентила.



Слика 5.20 Шематски приказ неповратног вентила

Састоји се од тела вентила, извршног елемента у облику конуса и лаке опруге која држи конус на седишту вентила. У једном смеру радни флуид подиже конус протибно сили опруге и прелази на другу страну вентила. Због тежине и позиције центра гравитације диска и склопа покретне полуге, вентил се враћа у затворену позицију уколико се проток прекине или обрнуто. Спољни противтегови који су постављени на полузи се користе како би се повећала или смањила брзина а и време враћања диска у затворени положај. Неповратни вентили поред контроле протоке, такође се користе за развијање повратног притиска. У слушају да се користи јака опруга, радна течност ће имати већи притисак како би подигла опругу да би се извршило одвођење течности. ($2 - 5 \text{ kg/cm}^2$).

5.4 Извршни елементи хидрауличног система

Хидромотори и цилиндри представљају радне елементе хидрауличног система и имају задатак да хидрауличну енергију добијену од стране пумпе трансформишу механички рад са транслаторним или ротационим кретањем. Хидромотори су уређаји хидрауличног система са обртним кретањем док су хидроцилиндри са праволинијским кретањем.

5.4.1 Хидромотори

Обезбеђују континуирану ротациону силу и покретање уз помоћ укљештеног излазног вратила и на тај начин врши напајање индустријских машина, као и пољопривредних машина попут трактора и комбајна и грађевинских машина. Састоји се од чврстог кућишта мотора са унутрашњим склопом ротора снаге. Сваки мотор поседује два прикључка: један који служи као улаз а други се користи за повратак радног флуида из хидрауличног кола. Већина хидромотора могу бити обрнуто укључена што се тиче ротације из смера казаљке на сату и супротно преусмерењем прикључака са повратним вентилом.

Елементарни параметри који утичу на рад хидромотора су [1]:

- угаона брзина или број обртаја вратила (ω_m)

$$\omega_m = \frac{Q_m}{q_m} \quad (5.6)$$

где су: $Q_m, \text{m}^3/\text{s}$ - теоретски проток
 $q_m, \text{m}^3/\text{rad}$ - специфични проток

- обртни момент радног вратила (M_m)

$$M_m = q_m \cdot \Delta p_m \quad (5.7)$$

где је: $\Delta p_m, \text{Pa}$ - пад притиска на хидромотору.

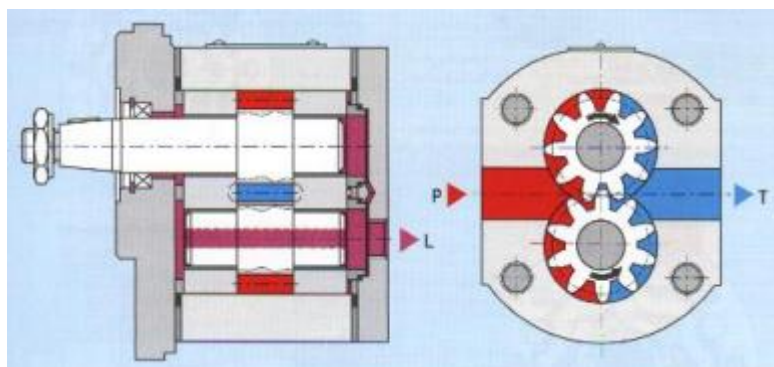
- снага хидромотора (P_m)

$$P_m = P_{mt} \cdot \eta_m \quad (5.8)$$

где је: η_m – степен искоришћења.

5.4.1.1 Зучасти хидромотори

Спадају у брзоходне моторе са бројем обртаја у опсегу 500 – 3500 o/min. Радна течности код ових хидромотора се упумпава у усисни канал где се налазе два тока који се протежу у простору између зубаца до излазног канала [17].

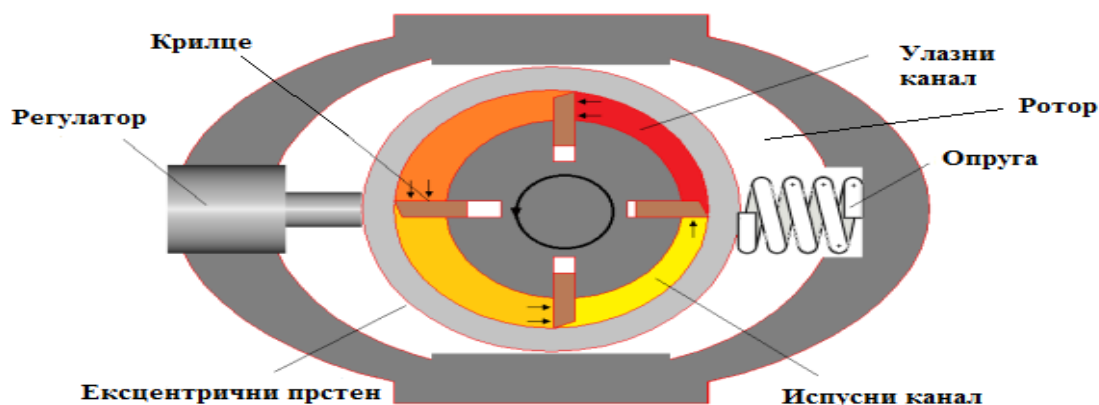


Слика 5.21 Шематски приказ зупчастог хидромотора

Принцип рада зупчастих хидромотора је приказан на слици 5.21. Као и код зупчaste пумпе, зупчаници у зупчастом хидромотору су подешени близу краја кућишта па из тог разлога проток радне течности кроз мотор од улазног до излазног канала може да се оствари само када се врши ротација зупчаника. У зупчастом мотору радна течност се одводи уз помоћ оба зупчаника који су спрегнути али само један зупчаник је спојен излазном осовином како би се обезбедило механичко обртно кретање. Након што зупчаник повећава обртни момент зупчаника који се налази на вратилу, вратило хидромотора излази из свог положаја у хидромотору и на тај начин је створена механичка енергија која резултује механички рад. Због своје једноставне конструкције, мале масе и ниске цене имају велики степен примене у хидраулици.

5.4.1.2 Крилни хидромотри

Имају мале губитке пропуштања па се користе ниске брзине (10 o/min). Највећи радни притисак износи око 15 bar. Принцип рада крилног хидромотора се налази на слици 5.22. Проток који је створен из пумпе улази у уисни канал, дејствује да се ротор и крилца обрћу и одлази у испусни део хидромотора са крилцима. Окретање ротора узрокује да се вратило окреће такође. Пошто нема присуства центрифугалне силе све док ротор не почне да врши окретање, опруга обезбеђује држање крилца противно контури кућишта.



Слика 5.22 Шематски приказ крилног хидромотора

Опруге су потребне у крилним хидромоторима зато што погонска осовина снабдева компоненте центрифугалном силом како би се обезбедио контакт између крилаца и кућишта. Крилни хидромотори могу изводити ротацију у оба смера али до

тога долази само када је проток преокренут. Обртање ротора представља механичку енергију. Најпогоднији су за рад при ниским и средњим притисцима. Одликују се малим димензијама, стабилном конструкцијом и високим степеном искоришћења.

5.4.2 Хидраулични цилиндри

Имају улогу да врше транслаторно кретање и да при том врше преносе сила. Највећа сила у цилиндру зависи од активне површине (A) и највишег дозвољеног радног притиска (p).

$$F = p \cdot A \quad (5.9)$$

Кретање радне течности зависи од количине течности која се доводи у хидраулични цилиндар. На клипњачу се везује оптерећење, док кућиште хидрауличног цилиндра причвршћује за основу зглобним везама. У клипну запремину се врши довод радна течност са високим притиском што узрокује кретање клипњаче и на тај начин се ствара механички рад. Хидраулични цилиндар је приказан на слици 5.23.



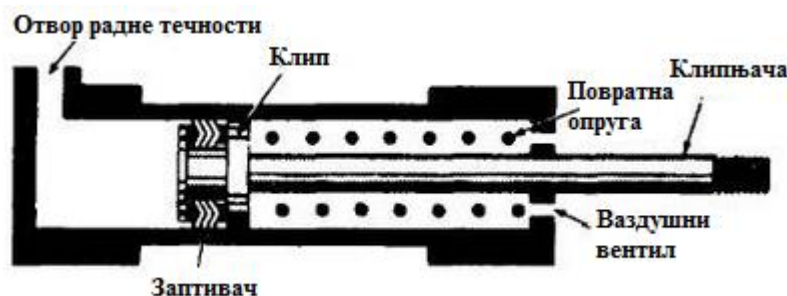
5.23 Шематски приказ хидрауличног цилиндра

Чаура има задатак да изврши преусмеравање клипњаче као и за кретање клипа. Заптивни прстен не дозвољава довод радне течности из клипне у запремински простор клипњаче. Проток радне течности директно утиче на брзину кретања клипњаче. Огромну силу преноси флуид (углавном се као радна течности користи уље) се користи како би се извршило подизање тешких делова као и рушење грађевинских објеката. Најпростији облици хидрауличних цилиндара поседују максимални радни притисак до 70 bar, док комплексније конструкције могу достићи и до 350 bar.

Разликујемо две елементарне врсте хидрауличних цилиндара:

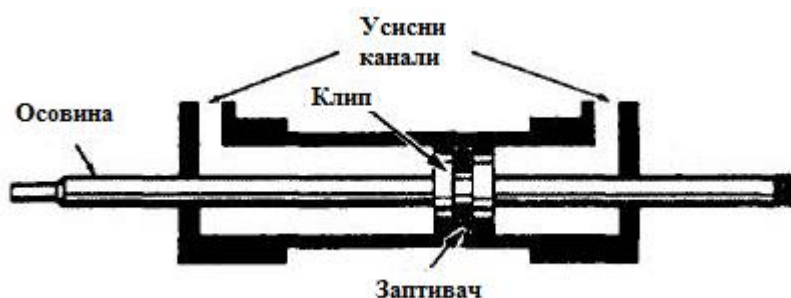
- једносмерни радни цилиндри и
- двосмерни радни цилиндри.

Једносмерни радни цилиндри (слика 5.24) притисак имају само са једне стране, док се повратни ход остварује уз помоћ сопствене тежине терета или преко опруге. Ослањају се на оптерећење опруга или осталих цилиндара или на покретну силу замајца како би се потиснуо клип у другом смеру. Када притисак престане да делује, опруга се у цилиндру враћа у положај мировања. Предност ових цилиндара у односу на двосмерне је нижа цена, могу се монтирани на било којој позицији у систему и користе се у широком спектру примена у индустрији.



Слика 5.24 Шематски приказ једносмерног радног цилиндра

Код двосмерних радних цилиндара (слика 5.25) притисак делује са обе стране компоненте што значи да се кретање клипњаче врши уз помоћ притисака са обе стране цилиндра. Садрже клип и клипњачу у склопу. Постоје два улаза радне течности, која се налазе на крају обе стране цилиндра, који су наизменично и уисни и излазни канали ове компоненте и зависности од смера протока који се одређује преко контролног вентила.



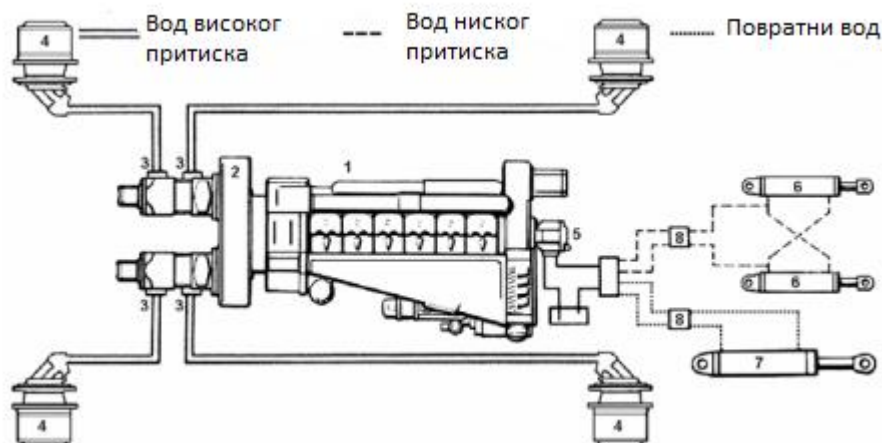
Слика 5.25 Шематски приказ двосмерног радног цилиндра

5.5 Хидраулични преносни елементи

Постоје два облика преноса снаге [17]:

- хидростатички пренос снаге (главни елемент преноса снаге је притисак) и
- хидродинамички пренос снаге (главни елемент преноса снаге је брзина радне течности).

Хидростатички пренос снаге се остварују преносом притиска у струјном колу затвореног типа, између пумпе која механичку енергију претвара у енергију притиска и мотора који енергију притиска трансформише у механички рад. Шематски приказ хидростатичке трансмисије у хидрауличном систему приказан је на слици 5.26.



Слика 5.26 Хидростатички пренос снаге: 1 – мотор, 2 – редуктор, 3 – хидраулична пумпа, 4 – хидромотор са редуктором, 5 – хидраулична пумпа за управљање системом, 6 – хидраулички цилиндри за управљање, 7 – хидраулични цилиндар, 8 – вентили.

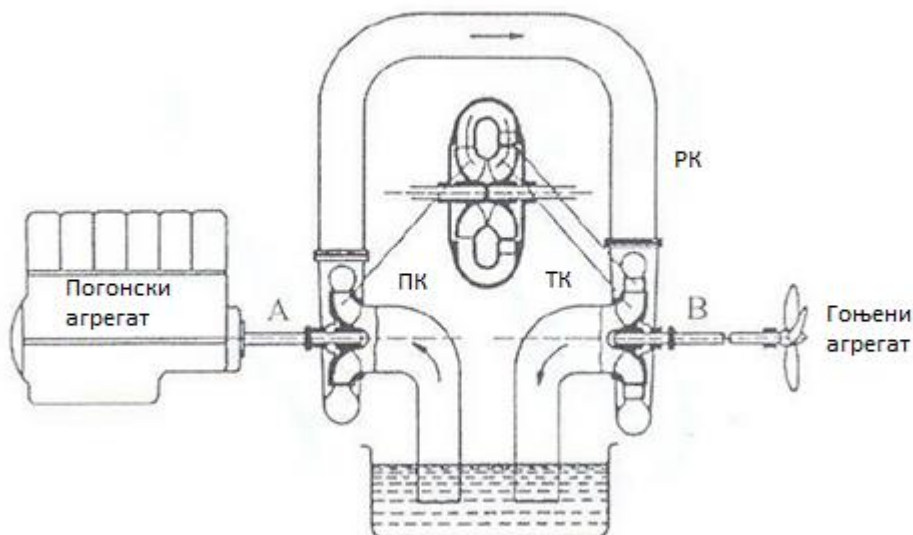
Пумпа генерише проток и на тај начин покреће хидраулични мотор који је повезан са оптерећењем. Како би дошло до претварања механичке енергије у притисак мора се обезбедити заптивање металних делова, а како би се извршила обрнута трансформација (притисак у механичку енергију) заптивање мора имати висок ниво квалитета код мотора. Погонски агрегат код ових преносника може бити електромотор, дизел-мотор или мотори СУС. Разводни и регулациони елементи могу бити различити разводни механизми за регулисање правца кретања флуида, проточни вентили који регулишу брзину и вентили притиска. У извршне елементе овог облика трансмисије спадају хидраулични цилиндри, осцилаторни мотори и хидраулични мотори.

Предности:

- пренос високе количин енергије,
- излагање ниској инерцији,
- могућност обезбеђивања динамичког кочења,
- одржавање контролисане брзине независно од оптерећења,
- могућност преноса енергије преко главног покретача на различите локације, упркос промени саме позиције.

Хидродинамички пренос снаге користи кинетичку енергију масе флуида у пумпи, док турбина има улогу да изврши успоравање кретања радне течности. У пумпи механички рад прелази у кинетичку енергију убрзавањем флуида а затим се преко турбине поново враћа у облик механичког рада.

Хидродинамички трансформатор обртног момента се састоји из пумпног кола повезаног за погонску машину, турбинског кола који је везан за радну машину и реактивног кола.



Слика 5.27 Шематски приказ хидродинамичког преноса снаге

Радна течност из пумпног кола прелази у турбинско коло са претварањем брзине, притиска и момента, затим доспева у реактивно коло и на крају опет у пумпно. Реактивно коло служи за трансформацију обртног момента. У пумпним и турбинским колима су инсталиране радијалне лопатиче. Радна течност у спојници приликом погона, долази у контакт са лопатичама радног кола пумпе и центрифугалном силом креће се кроз канале лопатича постепено од мањег ка већем пречнику.

Предност хидродинамичних спојница се огледа у експанзији радног опсега погонском момента мотора (побољшање вучних карактеристика), бољим стартним особинама, не постоји присуство отежаног рада мотора, редукација торзионих осцилација. Лоше карактеристике су клизање које доводе до енергетских губитака и губитак топлотног оптерећења.

Битне величине код хидродинамичких преносника:

- коефицијент повећања обртног момента

$$K = \frac{M_T}{M_P} \quad (5.10)$$

- степен искоришћења

$$\mu = \frac{P_T}{P_p} = \frac{M_T \cdot \omega_t}{M_p \cdot \omega_p} \quad (5.11)$$

- хидраулични преносни однос

$$i = \frac{\omega_T}{\omega_p} \quad (5.12)$$

- коефицијент клизања

$$s = \frac{\omega_p - \omega_T}{\omega_p} \cdot 100 \quad (5.13)$$

6. Одржавање хидрауличних система

За све радове у хидрауличним системима као и опреми, информација добијена од стране произвођача машина или система у погледу знања и квалификација као и процедуре одржавања и пуштања у рад морају се максимално поштовати. Како би одржавање имало висок квалитет, потребно је о њему водити рачуна приликом дефинисања компоненти хидрауличног система. Одржавање представља процес који има циљ да обезбеди нормалан и безбедан рад хидрауличних делова система из оптималну вредност времена и количину материјала за одржавање [1]. Резервни делови система морају да задовоље спецификације произвођача машина што значи да сви делови који се уграђују у систем морају бити посебно селектирани у складу са максималним радним притисцима који се стварају и карактеристикама радних течности. Опасности до којих долази током рада хидрауличних система су:

- Неконтролисано цурење хидрауличног медија

До овакве појаве долази када се цев услед високог притиска оштећује и пуца, конекциони елементи у систему услед дејства притиска постају лабави и када се склоп хидрауличних црева оштећује приликом дејства високе снаге. Последице могу бити: опасност од пожара ако постоје извори паљења (уља на врелим површинама) и опасност услед неочекиваног кретања машине.

- Електричне опасности

Рад на електричним деловима хидрауличног система може довести до специјалних опасности као што су шок услед деловања струје, електричног пражњења, преусмеравање напон услед неправилног приземљења што подразумева да ову врсту посла морају обављати лица која су технички обучена и компетента у области електротехнике.

У већини случајева до опасности и неправилности у раду хидрауличних система долази услед недовољних организационих припрема одржавања. Најважнији фактори како би се обезбедио висок степен одржавања:

- избор и промена компоненти,
- избор и провера система (провера стабилности и функционалности) и
- избор флуида најоптималнијег квалитета.

Планирање одржавања хидрауличних система чине:

- ток поступка,
- селекција техничара за одржавање у складу са њиховим квалификацијама,
- одређивање броја потребних техничара према степену рада који се обавља.

6.1 Превентивно одржавање

Базично правило за одржавање хидрауличног система је превенција. Превентивне мере одржавања и поправке су најбољи начин за смањивање степена грешака и отказа у систему [2]. Превентивно одржавање је најважнија подршка којју хидраулични систем мора имати како би се повећао радни век компоненти и смањио број отказа система.

Најважније директиве превентивног одржавања:

- спречавање присуства контаминирајућих материја у систему (чишћење простора око мерача нивоа течности, замена радне течности, одржавање посуда са течностима добро заптивене приликом складиштења),
- замена флуида и филтера након почетних 50 сати коришћења,
- провера уља након сваке употребе (провера течности да ли су у адекватном стању за рад као и сами нивои течности јер превисок ниво течности може угрозити рад пумпе као и изазвати озбиљна оштећења),
- редовна провера температуре хидрауличне течности током рада (систем хлађења може бити доведен у опасност, проблеми са притиском, обавезна провера резервоара и хладњака).

Присуство ваздуха у хидрауличном систему утиче на стварање влаге. Када се систем охлади након рада, влага се кондензује и може доћи у контакт са хидрауличним флуидом. Вода у хидрауличном флуиду ће попримити млечан изглед услед загађења ваздуха.

6.2 Одржавање пумпи и мотора

Осим стандардног прегледа пумпе због видљивог оштетења и хабања, могућа је и појава кавитације до које долази када се пумпа не снабдева адекватном количином течности из резервоара. Начини на који се може открити неправилности током рада пумпи и мотора [18]:

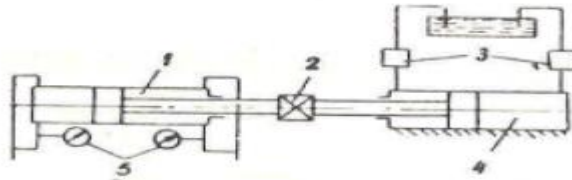
- Слушање рада пумпе током је хидраулични систем упаљен. Ако долази до потреса или се остварују непријатни и јаки шумови, могуће је да се остварује кавитација и систем се мора угасити одмах.
- Проверавање нивоа течности и филтера ради одређивања у случају да лимитирају или ограничавају проток флуида.
- Утврђивање да ли су извршене све модификације у резервоару, улазним каналима или пумпи. Ако било која од ових компоненти ради погоршано, то може утицати на улазни ток пумпе.
- Испитивање улазних канала због цурења, непожељних прегипа, прикљештења или осталих неправилности који могу да ограничавају проток. Многи системи поседују улазне сепараторе који делују као секундарни филтери како би спречили улазак контаминирајућих материја у хидраулични систем. Сепаратор се мора редовно чистити како би се обезбедио потребан улазни проток.
- Везе и спојеви код хидрауличних мотора морају бити спроведени по упутствима произвођача. Да не би дошло до пометње током рада мотора спојеви и водови морају бити обележени пре него што се изврши искључење рада мотора, као заштита бочних страна хидрауличног мотора од контаминирајућих материја.
- Инсталирање, пуњење, покретање, вентилација и подешавање хидрауличних пумпи и мотора треба да се имплементира у складу упутства за употребу произвођача. Смер ротације пумпе се мора посматрати током поступка инсталације. Приликом састављања пумпе, усисног вода и резервоара мора се обратити пажња да ли је усисни филтер правилно инсталиран. Заштитна опрема мора бити поново монтирана пре пуштања у рад система.

6.3 Одржавање хидрауличних цилиндара

Пре почетка замене хидрауличних цилиндара, мора се извршити смањење утицаја сила проузрокована високим оптерећењима. Осим тога, мора се обратити пажња да се смањивање притиска спроводи на оба клипа. У циљу спречавања непредвидивих наглих покрета делова проузрокованим остатком ваздуха у цилиндрима, они се испуњавају хидрауличном течношћу а затим изливају поступцима увлачења и извлачења током празног хода у сервисној радионици. У случају да

поступак није спроведен аутоматски, вентилација се спроводи ручно на клипу и цеви. При томе, користе се завртњеве за одвођење хидрауличног флуида. Спојнице се морају затегнути јачим интензитетом у случају да се приликом цурења уља стварају мехурићи. Ако се заптивни клинови коришћени након што су хидраулични цилиндри испуњени хидрауличном течностју, јако је важно да се уклоне пре инсталације како би се избегло преношење притиска са стране клипњаче.

Ако постоје покретни сензори или непосредни прекидачи у цилиндрима, електрични каблови морају се правилно повезати. Ако електрични каблови покрену опасност пометње у раду, морају бити обележени пре него што се искључе из радног погона. Заптивни прстенови пропустљивих хидрауличних цилиндара морају бити замењени у складу са одредбама произвођача.



Слика 6.1 Уређај за испитивање радног цилиндра [2]

На слици 6.1 је представљен уређај за испитивање радног цилиндра. Радни цилиндар (1) повезан је механички са радним цилиндром (4) који се регулише пригушницима (3) а мери динамометром (2) уз помоћ клипњаче. Са сваке стране цилиндра је постављен по један манометар (5).

7. Закључак

Хидраулични системи имају све важнију улогу и широк спектар примена као и велики утицај са аспекта опште функције, квалитета и безбедности у машинству. У поређењу са осталим системима за пренос снага, хидраулични системи нуде свестраност, прилагодљивост и висок степен компактности.

Анализа рада хидрауличних система указује на то да поузданост система и компоненти зависи од бројних фактора: утицаја животне средине, механичких карактеристика коришћених материјала, динамичких оптерећења, замора материјала, времена потрошеног у регуларној експлоатацији као и односа према одржавању и сервисирању система (компоненте). Један од највећих просперитета у хидраулици се огледа у присуству аутоматизације који руковаоцу омогућава мултифункционалну особину која врши лакше обављање операција уз помоћ даљинске контроле. На тај начин се врши лакша контрола и регулација протока у систему као и редукција потрошње енергије.

Будућност хидрауличних система ће се заснивати на редукцији укупне потрошње енергије у току рада, вишем степену интегрисања компоненти у систему (висок степен функционалности) и дигитализацији компонената система. Ови задаци се морају усагласити са строгим еколошким захтевима.

У овом завршном раду представљени су историјат, класификација и принцип рада хидрауличног система, као и најважније компоненте самог система. Такође, са посебним освртом је приказано одржавање хидрауличних система као и све неопходне активности које се спроводе у познатијим фирмама и компанијама које имају уграђене системе.

Литература

- [1] Адамовић, Ж., *Основи хидраулике и одржавања уљно-хидрауличних система*, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1997.
- [2] Јовановић, С., *Уљна хидраулика. Део 2*, Техничка књига, Београд, 1981.
- [3] Ашковић, Р., Чантрак, С., Тирић, М., Радојевић, З., Црнојевић, Ц., Мирковић, Љ., Јовановић, П., *Хидраулика, Разводници и вентили: хидраулика високог притиска: хидропнеуматске компоненте*, Машински факултет, Нови Београд, 1986.
- [4] Средојевић, Р., Мрђа, М., Петровић, М., *Хидраулика на тракторима и комбајнима*, Мала пољопривредна библиотека, Београд, 1975.
- [5] www.redac.eng.usm.my/EAH/Literature/Larry%20Mays%20Hydraulic%20History2008.pdf, приступљено августа 2015.
- [6] www.digital.lib.uiowa.edu/bai/hydraul.htm, приступљено маја 2015,
- [7] Кандић, А., Попарић, Г., *Физика 6 - Уџбеник са лабораторијским вежбама и задацима*, Логос, Београд, 2012.
- [8] www.grc.nasa.gov/www/k-12/WindTunnel/Activities/Pascals_principle.html, приступљено маја 2015.
- [9] www.viser.edu.rs/download.php?id=19082, приступљено маја 2015.
- [10] www.en.wikipedia.org/wiki/Hydraulic_fluid, приступљено јуна 2015.
- [11] www.hydraulicspneumatics.com/200/TechZone/HydraulicFluids/Article/False/6452/TechZone-HydraulicFluids, приступљено јуна 2015.
- [12] www.iim.ftn.uns.ac.rs/mehatronika/.../OPSTA%20HIDRAULIKA.pdf, приступљено јуна 2015.
- [13] www.en.wikipedia.org/wiki/Centrifugal_pump, приступљено јуна 2015.
- [14] www.learnengineering.org/2013/03/centrifugal-pump.html, приступљено јуна 2015.
- [15] www.pumpschool.com/principles/external.asp, приступљено јуна 2015.
- [16] [www.hr.wikipedia.org/wiki/Razvodnik_\(hidraulika\)](http://www.hr.wikipedia.org/wiki/Razvodnik_(hidraulika)), приступљено јула 2014.
- [17] www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_kons_stroj/nas/ms/ms_2012-2013/MS%20-%20P04%20-%20WEB.pdf, приступљено јула 2015.
- [18] www.arbeitssicherheit.de/media/pdfs/bgi_5100_e.pdf, приступљено августа 2015.

