

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Лука Д. Алексијевић

**Симулација рада хидрауличног система са
двосмерним хидрауличким цилиндром**

завршни рад

Крагујевац, 2017.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Инжењерски софтвери

Број индекса: 12/2013

Лука Д. Алексијевић

Симулација рада хидрауличног система са двосмерним хидрауличким цилиндром

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Вања Шуштершич-ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да прикаже и објасни принцип рада хидроцилиндара и разводника, као и да опише хидраулички систем за управљање радом двосмерног хидроцилиндра. Неопходно је да кандидат дâ теоријске основе и прикаже основне једначине које описују принцип рада датог система, а затим да изврши симулацију рада тог система у софтверском пакету Matlab и Simulink/Hydraulics, као и да изведе неопходне закључке.

Препоручена литература:

- [1] Гордић Д.: „Пренос снаге флуидом-хидраулика (теоријски основи, математички модели, решени примери)“, Машински факултет, Крагујевац, 2007
- [2] Valery Tchkalov, Steve Miller: „Parameterization of Directional and Proportional Valves in SimHydraulics“, Mathworks,
- [3] <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/27260-hydraulic-valve-parameters-from-data-sheets-and-experimental-data>

Крагујевац, септембар 2017.

ментор:

Др Вања Шуштершич. ред. проф.

Резиме

У оквиру овог завршног рада описан је принцип рада хидроцилиндра и разводника, као и њихове основне карактеристике и начини примене. Уједно, описан је хидраулични систем који симулира рад хидрауличног цилиндра. Затим су описане основне функције софтвера Matlab и његовог модула Simulink. Коришћењем Simulink-а извршена је симулација рада хидрауличног система.

Кључне речи: хидроцилиндар, разводник, Matlab, Simulink, хидраулични систем.

Abstract

In this paper, it's describe the principle of operation of the hydro-cylinder and direction valve, as well as their basic characteristics and methods of application. At the same time, a hydraulic system is described which simulates the operation of the hydraulic cylinder. The basic functions of the Matlab software and its Simulink module are then described. Using Simulink simulated hydraulic system operation was performed.

Keywords: Hydraulic cylinder, directional valve, Matlab, Simulink, hydraulic system.

Садржај

1. Увод.....	1
2. Хидроцилиндар	2
2.1 Основне компоненте хидроцилиндра	2
2.2 Врсте хидроцилиндара.....	6
2.4 Параметри извијања	9
2.5 Примена хидроцилиндара	10
3. Разводници	12
3.1 Начин рада	12
3.2 Преклапање разводника.....	13
3.3 Означавање разводника	14
4. Хидраулични систем.....	18
5. Matlab и Simulink	20
5.1 Matlab.....	20
5.2 Simulink	22
6. Испитивање и симулација хидрауличног система	24
6.1 Simhydraulics.....	24
6.2 Блок подгрупе вентила у Simulink-у	26
6.3 Унос параметара формирање шеме у Simulink	27
6.4 Симулација и резултати.....	30
7. Закључак	31
Литература.....	32

1. Увод

Још од праисторије, људи су били фасцинирани флуидима; било да је реч о струјању воде у рекама, ветру и временским прилика који се јављају у атмосфери, топљењу метала, снажним струјама океана или дисању и струјању крви кроз наша тела. Почетак развоја механике флуида датира из времена када су маштовити и довитљиви становници планете Земље открили да чамац чија конструкција подсећа на струјнице реке путује брже од оног са затупљеним коритом.

Тако се временом развијала механика флуида, при чему наука која се бави законима које владају код течности се назива хидромеханика и дели се на:

- хидростатику - понашање течност у равнотежи,
- хидродинамику - кретање течности.

Хидраулични систем је технички систем за претварање и пренос енергије и управљање њоме. Функције хидрауличног система су: претварање механичке енергије у хидрауличну (и обрнуто), пренос енергије с једне локације на другу и одговарајуће управљање [1].

Како је расла примена хидрауличних, електричних, пнеуматских и других система, тако је расла потреба да се ти системи максимално поједноставе, како би се уштедело на времену неопходном за њихову производњу, а да притом резултат буде исти. На основу те потребе направљени су и програми који служе за симулирање рада тих система преко рачунара.

На тај начин је прорачун оваквих система постао лакши, бржи, па чак и тачнији. Један од таквих програма је Matlab (Simulink).

2. Хидроцилиндар

Коришћење снаге кретања течности као извор енергије није нов појам. Човечанство је користило овај начин преноса енергије преко 2.000 година. Основни принцип коришћења снаге течности се и даље примењује, користећи флуид под притиском за остваривање великих снага.

Године 1648, француски физичар Blaise Pascal је схватио да флуид под притиском делује силом на све правце, као и да се те силе могу искористити. У 1738.-ој Daniel Bernoulli је извео експеримент, ставивши флуид под притиском у пумпе и млинове. Данас познати Бернулијев принцип дефинише међусобну везу између притиска или потенцијалне енергије флуида и његове брзине или његове кинетичке енергије, у струјној цеви (струјном пољу). Скоро 60 година касније 1795.-е Joseph Bramah је патентирао прву хидрауличку пресу у Енглеској, отворивши пут за аутоматизацију ствари, од преса до машина.

Хидраулични цилиндри су почели да се користе пре 75 година, а њихова примена је најчешћа на крановима, бродовима, при померању тешке машинерије, итд.

Хидраулични цилиндар је извршна компонента у хидраулици. То је хидраулични потрошач, који енергију хидрауличног медија претвара у користан рад. Његова улазна величина је хидраулични медиј под притиском, који делује на површину клипа хидрауличног цилиндра. Тиме изазива праволинијско кретање клипа и, последично, клипне осовине, која је повезана са тегом. Тако се енергија хидрауличног медија претвара и управљиву силу која делује по правој линији. Хидраулични медиј обично представља минерално уље, али се у хидраулици користе и синтетичка уља и емулзије, а све више и вода (водена хидраулика) [6, 7].

2.1 Основне компоненте хидроцилиндра

Главни саставни делови хидрауличног цилиндра су цев хидрауличног цилиндра и клип, на који је прикључена клипна осовина. Цев цилиндра је обострано затворена дном цилиндра на једној страни и главом цилиндра на другој страни. Клипна осовина излази напоље кроз главу цилиндра. Клип, заптивен заптивком и вођен обручима за вођење, дели унутрашњост цилиндра на две коморе, доњу комору под притиском и горњу стезну комору на страни клипне осовине. Хидраулични притисак делује на клип, који линеарно помера клипну осовину. Такав цилиндар називамо двостраним хидрауличким цилиндром [3].

Цев хидрауличног цилиндра

Обично је бешавна ваљана цев која је изнутра брушена и хромирана, а може бити и тврдо хромирана.

Дно хидрауличног цилиндра

Најчешће је заварено или причвршћено завртњима на цев цилиндра, дно може бити са прирубницом или без.

Глава хидрауличног цилиндра

Обично је причвршћена завртњима, могуће и заварена или причвршћена опружним обручем на цев цилиндра. У глави цилиндра су зарези у којима су заптивке клипне осовине, скидач и вођице.

Клип хидрауличног цилиндра

Дели цилиндар на две коморе. Клип је заптивен клипном заптивком која спречава претакање радног флуида између обе коморе и вођен је обручима за вођење. Разлика у притиску између обе коморе изазива кретање цилиндра.

Клипна осовина хидрауличног цилиндра

Обично је од хладно ваљаног челика који је толерантно обрађен и тврдо хромиран, на једној страни је причвршћена на клип, а на другој страни кроз главу цилиндра прелази из цилиндра. На спољној страни на клипну осовину обично је причвршћена ушка или прирубница. Клипне осовине могу такође бити каљене, двапут хромиране, шупље или од инокса.

Навојни прикључак

Служи за довод хидрауличног медија у цилиндар и из њега. Постоје цолне и метричке моделе навојних прикључака.

Заптивке цилиндра

Постоји више типова заптивки цилиндара. Међусобно се разликују по облику и материјалу, у погледу начина уградње, опсега радне температуре, као и притиска под којим ради хидраулични цилиндар.

Зглобна глава

Намењена је за повезивање цилиндра са тегом преко зглобног лежаја или чауре.

Самозатварајућа навртка

У одређеним случајевима користи се за причвршћивање клипа на клипну осовину.

Опругни обруч

Користи се за ограничавање хода цилиндра код плунжер цилиндара, као и за причвршћивање главе цилиндра опругним обручем.

Зглоб цилиндра

Користи се у осцилујућој уградњи цилиндра.

Прирубница цилиндра

Употребљава се код уградње за прирубницом.

Навојни чеп

Служи за заштиту навојних прикључака, а тиме и унутрашњости цилиндра, од нечистоће.

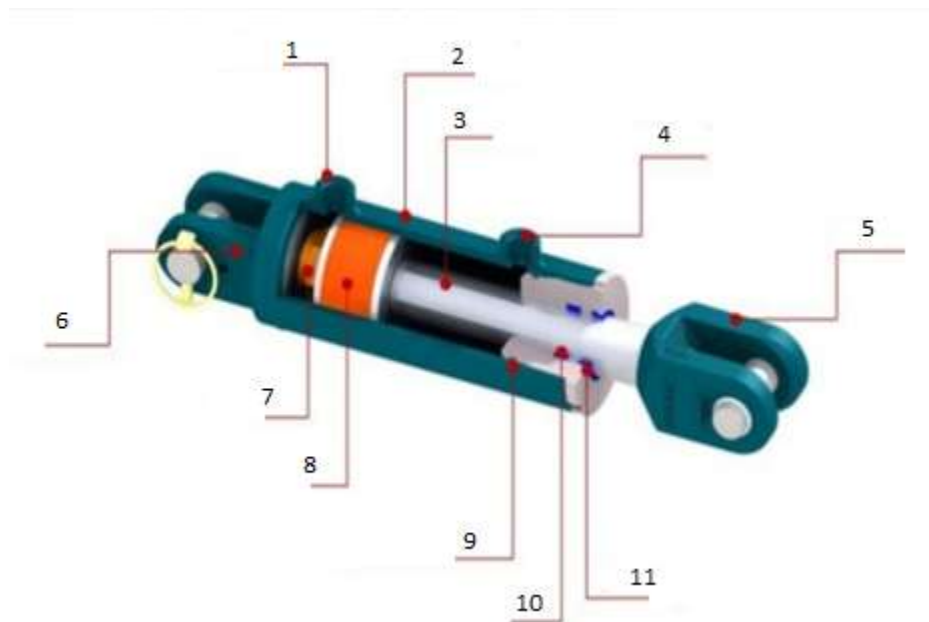
Чауре

Чауре се обично уграђују у зглобне главе цилиндра са навојем. Познајемо челичне и самоподмазујуће чауре.

Зглобни лежајеви

Уграђују се у зглобне главе цилиндра које служе за повезивање и причвршћивање цилиндра тегом.

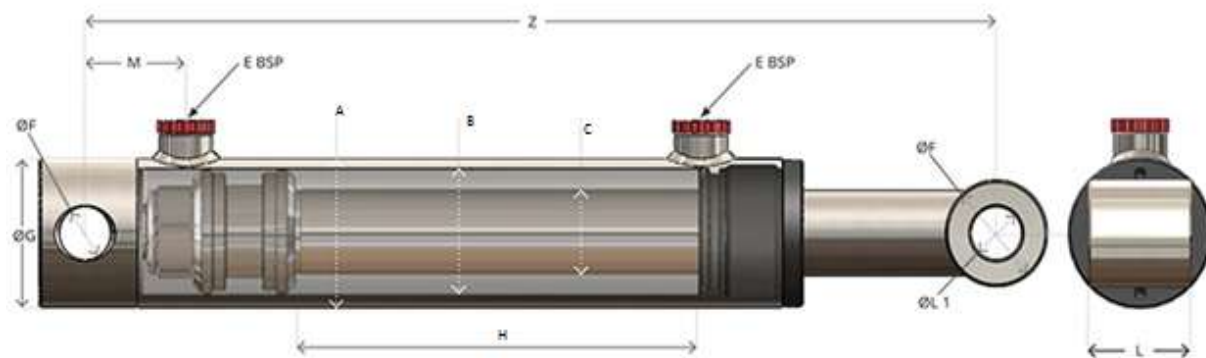
На слици 1 је приказани цилиндар и његови основни делови.



Слика 1. Приказ хидроцилиндра и његових компонената

1 - отвор за проток течности код клипне осовине, 2 - цев хидроцилиндра, 3 - штап хидроцилиндра, 4 - отвор за проток радне течности са стране штапа, 5 - лежај штапа, 6 - лежај клипне осовине, 7 - клипњача, 8 - клипни поклопац, 9 - прстенасти заптивач, 10 - поклопац штапа, 11 - брисач штапа

На слици 2 су приказане основне димензије хидроцилиндра.



Слика 2. Попречни пресек хидроцилиндра и његове мере

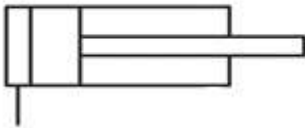
H- дужина хода хидроцилиндра, A- спољашњи пречник цилиндра, B-унутрашњи пречник цилиндра, C-пречник штапа хидроцилиндра, Z-размак између центра лежишта, M- растојање од центра клипног лежишта до клипног отвора, L- ширина лежишта

2.2 Врсте хидроцилиндара

Основна подела хидроцилиндара према конструкцији и начину рада је на хидроцилиндре једносмерног и цилиндричне двосмерног дејства. Хидроцилиндар једносмерног дејства функционише тако што се кретање радног органа обавља уз помоћ флуида под притиском у једном смеру, док се у другом смеру кретање обавља уз помоћ спољашње силе, док се код хидроцилиндра двосмерног дејства кретање радног органа у оба смера обавља помоћу силе радног флуида под притиском [5].

Такође, хидроцилиндри се деле и на:

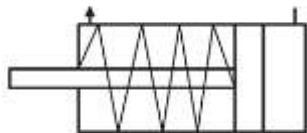
- 1) Цилиндар једносмерног дејства са једносмерном клипњачом



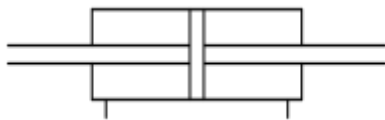
- 2) Са двосмерним дејством са једностраном клипњачом



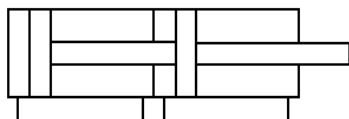
- 3) Цилиндар једносмерног дејства са плунжером



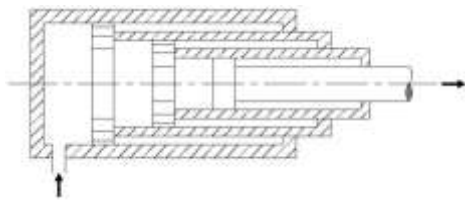
- 4) Двосмерног дејства са двоструком клипњачом



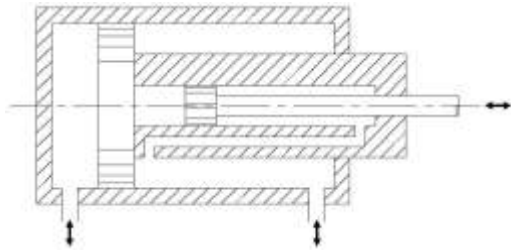
- 5) Тандем хидроцилиндар



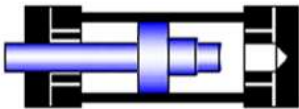
6) Телескопски хидроцилиндр једносмерног дејства



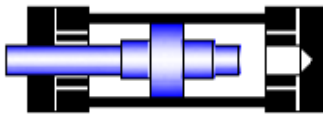
7) Телескопски хидроцилиндр двосмерног дејства



8) Хидроцилиндр са пригушењем на крају хода са једне стране

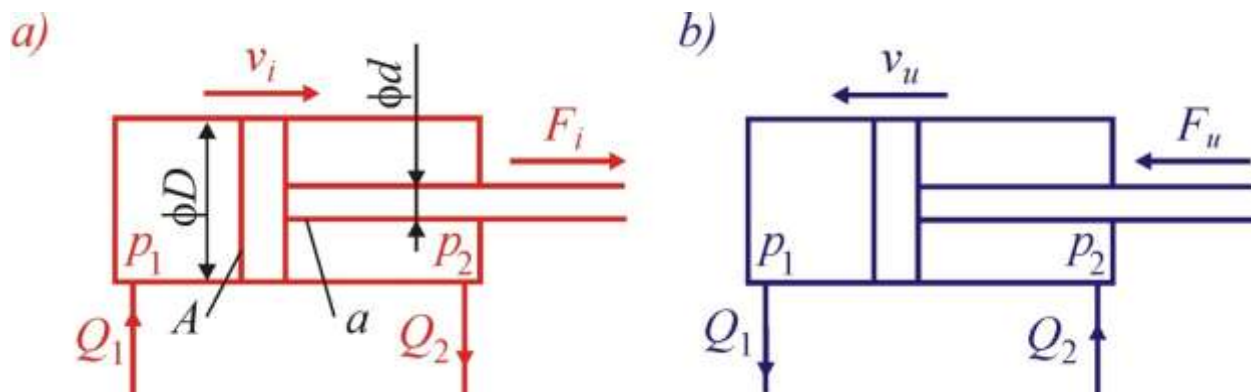


9) Са пригушењем на крају хода са обе стране



2.3 Радни параметри хидроцилиндара

Параметри хидрауличне снаге хидроцилиндра су притисци и протоци у обе коморе хидроцилиндра, док су параметри механичке снаге хидроцилиндра сила притиска на клипњачи и брзина клипа. Ови параметри варирају у зависности од типа хидроцилиндра. У овом делу ће бити приказани изрази за израчунавање основних параметара двосмерног цилиндра са једностраном клипњачом, а након из ових изрази могу се лако одредити изрази за остале хидроцилиндре:



Слика 3. Шематски приказ а) извлачења, б) увлачења клипњаче хидроцилиндра [5]

Основне једначине које описују процес извлачења хидроцилиндра су:

$$P_{hc} = Q_1 \cdot p_1 - Q_2 \cdot p_2 - \text{Хидраулична снага} \quad (1)$$

$$P_{mc} = F_i \cdot v_i - \text{Механичка снага} \quad (2)$$

$$\eta_c = \frac{P_{mc}}{P_{hc}} = \frac{F_i \cdot v_i}{Q_1 \cdot p_1 - Q_2 \cdot p_2} - \text{Укупан степен корисности хидроцилиндра} \quad (3)$$

$$v_i = v_{ti} \cdot \eta_{vc} = \frac{Q_1}{A} \cdot \eta_{vc} = \frac{4 \cdot Q_1}{D^2 \cdot \pi} \cdot \eta_{vc} - \text{Брзина клипа при извлачењу клипњаче} \quad (4)$$

$$\eta_{vc} = \frac{Q_1 - \Delta Q_1}{Q_1} - \text{Запремински степен корисности хидроцилиндра} \quad (5)$$

$$F_i = \eta_{mc} \cdot F_{ti} = \eta_{mc} \cdot [p_1 \cdot A - p_2 \cdot (A - a)] = \eta_{mc} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot [p_1 \cdot D^2 - p_2 \cdot (D^2 - d^2)] - \text{Стварна вредност силе притиска } F_i \text{ при извлачењу на основу теоријске } F_{ti} \text{ силе} \quad (6)$$

$$\eta_{mc} = \frac{F_i}{F_{ti}} = \frac{F_i}{F_i + \Delta F_i} - \text{Механички степен корисности} \quad (7)$$

Једначине које описују процес увлачења су:

$$P_{hc} = Q_2 \cdot p_2 - Q_1 \cdot p_1 - \text{Хидраулична снага} \quad (8)$$

$$P_{mc} = F_u \cdot v_u - \text{Механичка снага} \quad (9)$$

$$\eta_c = \frac{P_{mc}}{P_{hc}} = \frac{F_u \cdot v_u}{Q_2 \cdot p_2 - Q_1 \cdot p_1} - \text{Укупан степен корисности хидроцилиндра} \quad (10)$$

$$v_u = v_{tu} \cdot \eta_{vc} = \frac{Q_2}{A - a} \cdot \eta_{vc} = \frac{4 \cdot Q_2}{(D^2 - d^2) \cdot \pi} \cdot \eta_{vc} - \text{Брзина клипа при извлачењу клипњаче} \quad (11)$$

$$\eta_{vc} = \frac{Q_2 - \Delta Q_2}{Q_2} - \text{Запремински степен корисности хидроцилиндра} \quad (12)$$

$$F_u = \eta_{mc} \cdot F_{tu} = \eta_{mc} \cdot [p_2 \cdot (A - a) - p_1 \cdot A] = \eta_{mc} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot [p_2 \cdot (D^2 - d^2) - p_1 \cdot D^2] - \text{Стварна вред-}$$

ност силе притиска F_u при извлачењу на основу теоријске F_{tu} силе (13)

$$\eta_{mc} = \frac{F_u}{F_{tu}} = \frac{F_u}{F_u + \Delta F_u} - \text{Механички степен корисности} \quad (14)$$

2.4 Параметри извијања

Прорачун клипњаче на извијање, врши се по формули Ојлера (еластично подручје), посматрајући цилиндар и клипњачу као танак штап:

$$F = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_s^2 \cdot \nu} \quad (15)$$

F [N] – дозвољена сила на извијање,

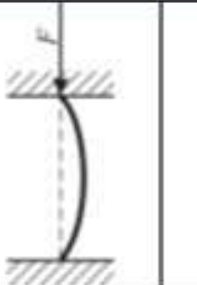
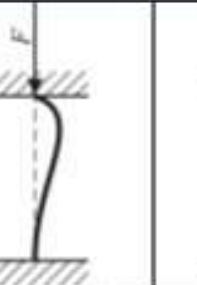
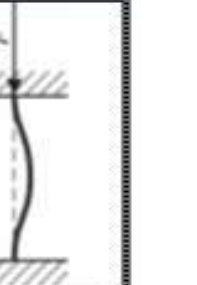
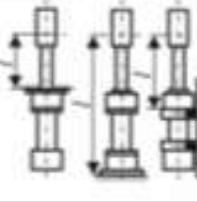
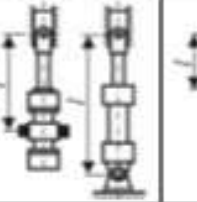
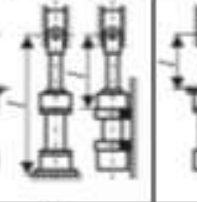
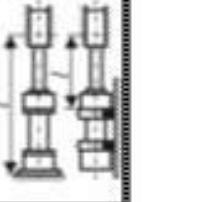
E [Pa] – модул еластичности (за челике: $E=2,1 \cdot 10^{11}$ Pa)

I [m⁴] – аксијални момент инерције попречног пресека клипњаче

d [m] -пречник клипњаче

l_s [m] – слободна дужина извијања,

η [-] – степен сигурности $\eta=3,5 \div 6$

Схематски приказ извијања				
Слободна дужина извијања	 $l_1 = 2 \cdot l$	 $l_1 = l$	 $l_1 = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot l$	 $l_1 = 0,5 \cdot l$
Везивање/водење оптерећења са клипњаком	<i>слободно</i>	<i>зглобно</i>	<i>зглобно</i>	<i>крута веза</i>
Веза хидроцилиндра	<i>крута веза</i> MS1, MS2, MS3, MS4, MS7, MF1, MF2, MF3, MF4, MF5, MF6, ME3, ME4, ME5, ME6, TB, TC, TD	<i>зглобна веза</i> MP1, MP2, MP3, MP5, MT1, MT2, MT4	<i>крута веза</i> MS1, MS2, MS3, MS4, MS7, MF1, MF2, MF3, MF4, MF5, MF6, ME3, ME4, ME5, ME6, TB, TC, TD	<i>крута веза</i> MS1, MS2, MS3, MS4, MS7, MF1, MF2, MF3, MF4, MF5, MF6, ME3, ME4, ME5, ME6, TB, TC, TD

Табела 1. Шематски приказ различитих случајева извијања клипњаче хидроцилиндра [5]

2.5 Примена хидроцилиндара

Хидроцилиндри се примењују на многим местима. Често имају примену у индустрији (рачунајући хидрауличке пресе, кранове, ковачнице и машине за паковање), као и у мобилним деловима (као што су пољопривредне машине, грађевинска возила и поморска опрема).

Хидроцилиндри су основни у раду багера, утоваривача, бушилица, лифтова, ђубретарских камиона, код оперативних бубњева, лифтова, руке, платформе.

Хидраулични цилиндри се примењују при дизању терета, гурању, вучи и спуштању.

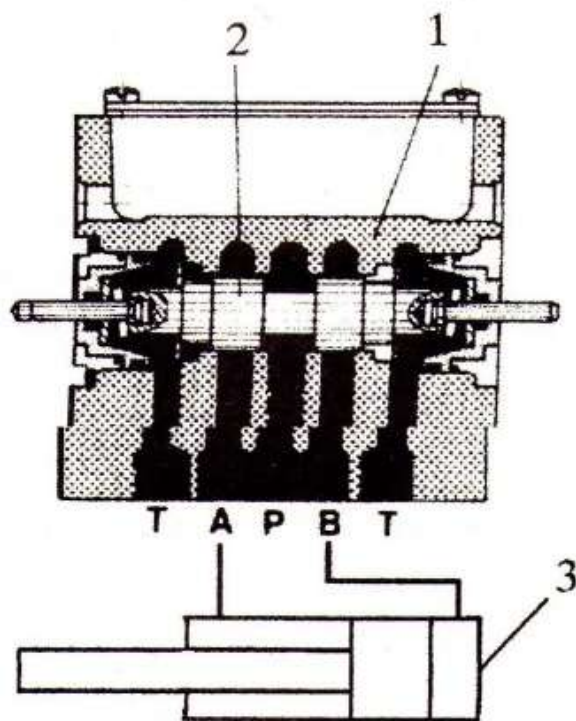
Када се упореде са пнеуматским, механичким и електричним системима, хидраулични могу бити простији, издржљивији и нуде бољи пренос снаге. На пример хидраулична пумпа може до десет пута боље да пренесе снагу од електричног мотора сличне величине.

Хидраулични цилиндри су доступни у великом распону величина, за различите типове примене. Одабир одговарајућег хидроцилиндра за одговарајућу примену је веома важан како би се постигле максималне перформансе и сигурност. То подразумева узимање у обзир неколико параметара. На сву срећу, постоји велики асортиман типова, који омогућавају лакши одабир одговарајућег хидроцилиндра [2].

3. Разводници

3.1 Начин рада

Основна функција разводника је да у хидрауличном систему регулишу покретање, управљање и заустављање радне течности, којом се снабдева извршни орган. Ако је разводник "укључен" то значи да извршни орган (цилиндр или хидромотор), који је повезан са разводником, ради исправно. Принцип дејства клипног разводника је приказан на слици 4:



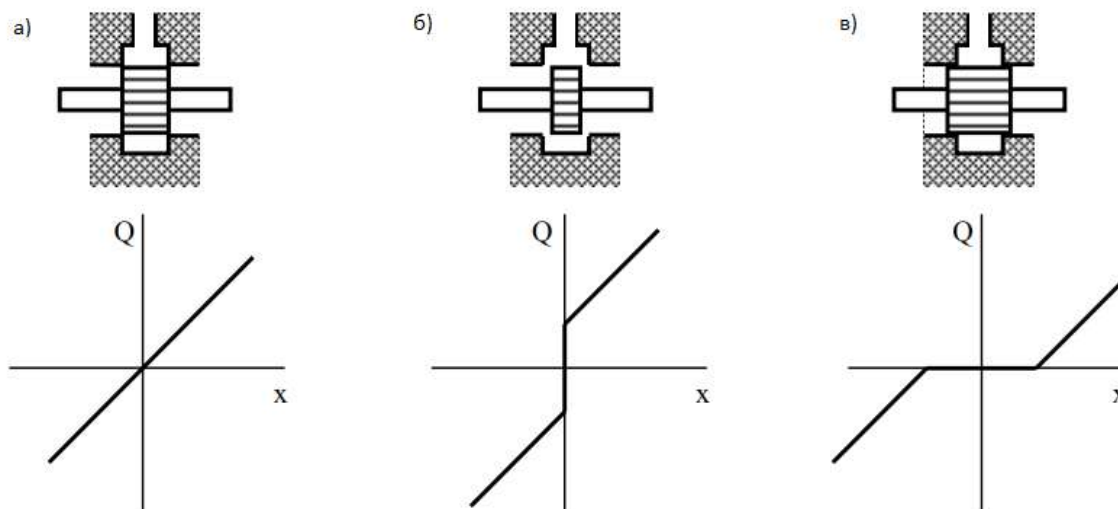
Слика 4. Шема клипног разводника [4]

Разводник се састоји од челичног или ливеног кућишта 1 и клипа 2. У кућишту су око уздужног отвора уграђени (најчешће одливени) прстенасти канали који се померањем управљачког клипа увек спајају са једним прикључком у кућишту. Раздвајање и повезивање канала одвија се синхронно. Сваки прикључак је спојен са одговарајућим водом. Са Р се означава потисна линија, а са Т повратна линија.

На слици су сви проточни отвори прекривени клипом. Ако се клип помера удесно, радни флуидиз линије Р по прстенастом каналу одлази у вод В и кроз њега до запремине "са стране клипа" хидрауличног цилиндра 3. Истовремено се спајају и линије А и Т, па течност из цилиндра одлази у повратни вод. Према броју могућих положаја клипа разводници се деле на двоположајне и троположајне. Троположајни разводник има средњи положај и два положаја прикључивања.

3.2 Преклапање разводника

Једна од основних карактеристика разводних вентила са аксијалним кретањем разводног клипа је величина преклапања у нултом положају. Термин преклапања клипа означава односе ширине клипа и струјних отвора разводника. На слици 5 су приказани могући случајеви преклапања и промена протока Q кроз струјни отвор зависно од положаја x клипа. Нулто преклапање, приказано на слици 5а, (иста ширина клипа и отвора) идеално би требало да даје константну зависност протока кроз разводник у функцији од положаја клипа. Код негативног преклапања на слици 5б, (клип је ужи од отвора) сви су прикључци краткотрајно повезани за време преклапања, а померањем клипа у неку страну за вредност већу од x_0 (вредност положаја у тренутку преклапања) затвориће се једна од веза. Код позитивног преклапања на слици 5в, (клип је шири од отвора) сви су прикључци затворени за време преклапања разводника, па се користи нпр. за држање терета у задатој позицији (минимално пропуштање, односно проток за време преклапања).



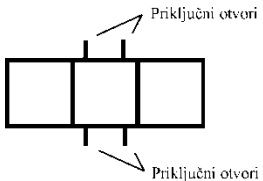
Слика 5. Преклапања разводника у нултом положају:

а) нулто преклапање; б) негативно преклапање; в) позитивно преклапање [13]

3.3 Означавање разводника

Разводници се означавају на основу броја прикључака (обележава се са X) и броја положаја укључивања (обележава се са Y) у облику X/Y, па би ознака разводника са четири прикључака и три положаја би било 4/3.

У ознаци разводника x/y број x представља број прикључака, а у број положаја укључивања.

Положај укључивања	
Двоположајни разводник	
Троположајни разводник	
Прикључни отвори (везују се за квадрат) неактивирани (нултог) положаја	

Табела 2. Приказ симбола положаја разводника [5]

Прикључак довода радне течности означава се са P (или 1),

Прикључци за одвод радне течности ка резервоару означавају се са – R, S, T (3, 5, ...),

Прикључци за водове хидрауличних извршних органа означавају се са – A, B, C (2, 4,...).

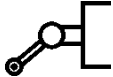
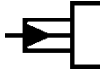
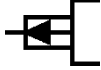
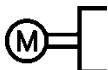
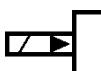
Унутар правоугаоних поља положаја означавају се струјања у разводнику. Разликују се: проточни (директан и инверзан), затворен (блокиран), кратко спојени (опточни), слободни (отворени, "пливајући") и проточни положај са пригушивањем. У табели бр. 3 приказани су симболи тих положаја.

Проточни положај - директан	
Проточни положај - инверзан	
Затворен положај	
Кратко спојени положај	
Слободни пливајући положај	
Проточни положај са пригушењем	

Табела 3. Приказ положаја струјања разводника [5]

Активирање разводника, тј. померање разводног елемента из једног други положај, може бити: мануелно, механичко, хидраулично, електрично и комбиновано. У табели 4 ће бити приказане варијације начина активирања разводника као и њихове ознаке.

Мануелно - Уопштен симбол	
Мануелно - Дугметом	
Мануелно -Полугом	
Мануелно - Педалом	
Механичко - Тастером	
Механичко - Опругом	

Механичко - Точкићем-Тастером	
Механичко -Тастером-точкићем са повратком у првобитни положај	
Механичко - Забрављивањем	
Хидраулично - Повећањем притиска	
Хидраулично - Индиректно-повећањем притиска	
Хидраулично - Индиректно-смањењем притиска	
Електрично - Електромагнетом са једним намотајем	
Електрично - Електромагнетом са два истосмерна намотаја	
Електрично - Електромагнетом са два супротносмерна намотаја	
Електрично - Електромотором	
Комбиновано - Електромагнетом и хидраулично	
Комбиновано - Електромагнетом или хидраулично	

Табела 4. Приказ начина активирања разводника [5]

Подела разводника се може извршити према конструктивном извођењу на:

- разводнике са аксијалним кретањем цилиндричног клипа,
- разводнике са ротационим кретањем цилиндричног клипа,
- вентилске разводнике (разводнике са седиштем),
- разводнике са разводном плочом.

4. Хидраулични систем

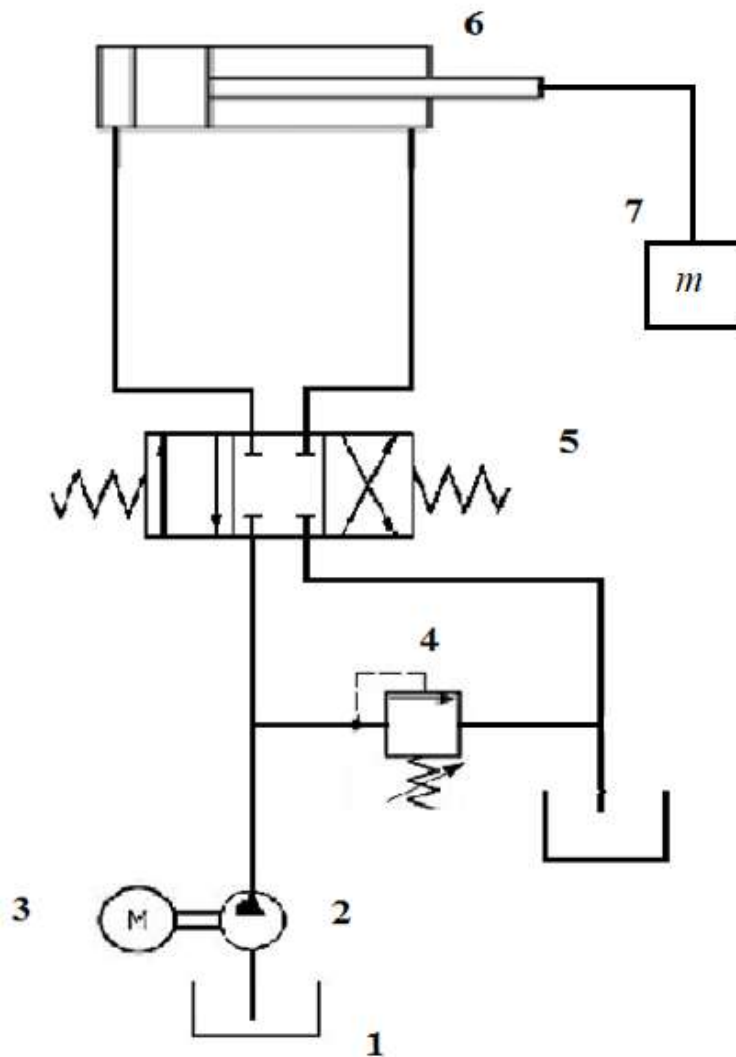
Хидраулични систем се састоји из великог броја хидрауличних делова (вентила, резервоара, пумпе, хидроцилиндра и извршног органа). Сваки део врши одређену функцију која омогућава флуиду да се понаша у систему тако да омогућава жељени пренос енергије, или протока течности, зависно од потребе корисника.

У оквиру овог завршног рада биће анализиран систем приказан на слици 6. Хидраулични систем приказан на слици снабдева пумпа (2) која је погоњена мотором (3), а која потискује радни флуид из резервоара (1). Код кола са двосмерним цилиндром од посебног интереса је постићи управљање смером кретања цилиндра. То се остварује двоположајним разводником 4/2. Да би се растеретила пумпа може се уградити посебан разводник. За обезбеђење заустављања у међуположајима потребан је разводник 4/3 (слика 6). Нулти положај троположајног разводника користи се за растерећење пумпе при стартовању мотора или мировању цилиндра.

Радни флуид затим улази у разводник (5) којим се усмерава на хидроцилиндар (6), а који зависно од положаја разводника обавља главни или повратни ход. Хидроцилиндар својим кретањем омогућава дизање и спуштање терета (7). Вентил сигурности (4) осигурава систем од превеликих притиска, тако што се у случају да је у систему велики притисак активира и омогућава проток флуида до резервоара. Активирањем разводника се може мењати путања протока радног флуида: у главном положају, флуид пролази кроз отвор са стране клипа и врши процес извлачења (ход у десно).

При стављању разводника у нулти положај (положај у средини) проток радног флуида се зауставља. Када је разводник у последњем положају (десно) флуид пролази кроз отвор са стране клипњаче хидроцилиндра и врши се процес увлачења (ход у лево). Разводник (5) са слике је разводник 4/3, што значи да има три положаја и четири прикључка, а активира се опругама, као што је приказано на слици.

Хидроцилиндар врши ход помоћу радног флуида који прави притисак и погони клип у одређену страну, па силе деловања које се јављају могу бити од веома малих до веома великих вредности. Ово омогућава хидроцилиндру да врши функцију на пр. подизања и спуштања терета. У овом случају користи се двосмерни хидроцилиндар са једностраном клипњачом како би се подизао и спуштао терет (7). Главна улога оваквог система је пренос енергије са радног флуида на хидроцилиндар и коришћење те енергије за управљање теретом.



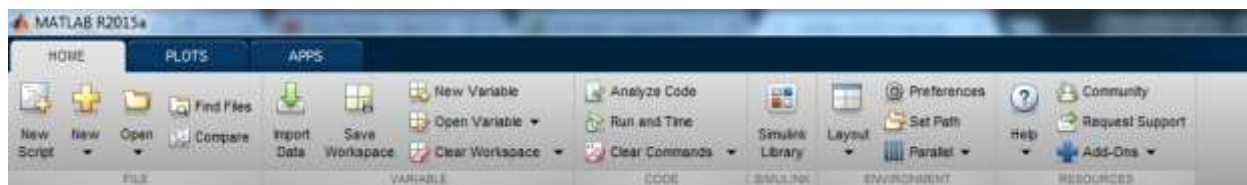
Слика 6. Шема хидрауличног система двосмерног хидроцилиндра

1. резервоар, 2. хидраулична пумпа, 3. Мотор, 4. вентил сигурности, 5. разводник 4/3, 6. двосмерни хидроцилиндар са једностраном клипњачом, 7. терет

5. Matlab и Simulink

5.1 Matlab

Потреба брзе обраде лабораторијских мерних резултата, као и потреба за рачунањем заснованом на матричној аритметици довела је до стварања основних верзија програма за рачунање у техничким наукама којима припада и Matlab, развијен је од фирме MathWorks Inc. У групи програма за рачунање у техничким наукама развио се читав низ програма, а од већих и познатијих уз Matlab можемо споменути *Matrix_x* и Easy. Сви ови програми настали су из истих потреба, па имају и сличне корисничке интерфејсе и начин рада, само извршење и структура су им различити. Основна срж Matlab-a је прављена око матричног калкулатора са могућношћу извршавања низа наредби груписаних у Скрипту, односно функцију. Могућност писања функција у Matlabу омогућила је изградњу читавог низа алата (Toolbox) који данас заједно са основним матричним радом и корисничким интерфејсом чине Matlab. Управо ова модуларност и отвореност Matlab-a за формирање нових алата постала је велика предност Matlab-a у односу на остале сличне програме, који имају затворену структуру и надоградња је могућа само од стране произвођача. Отвореност Matlab-a омогућила је да практично сви његови корисници постану у неку руку и развојни тим самог Matlab-a. Током развоја у Matlab-у су развијени алати за већину делатности из подручја техничких наука, а постоје и неки алати који се примењују изван подручја техничких наука. На слици 7 је приказан радни интерфејс Matlab-a 2015a.



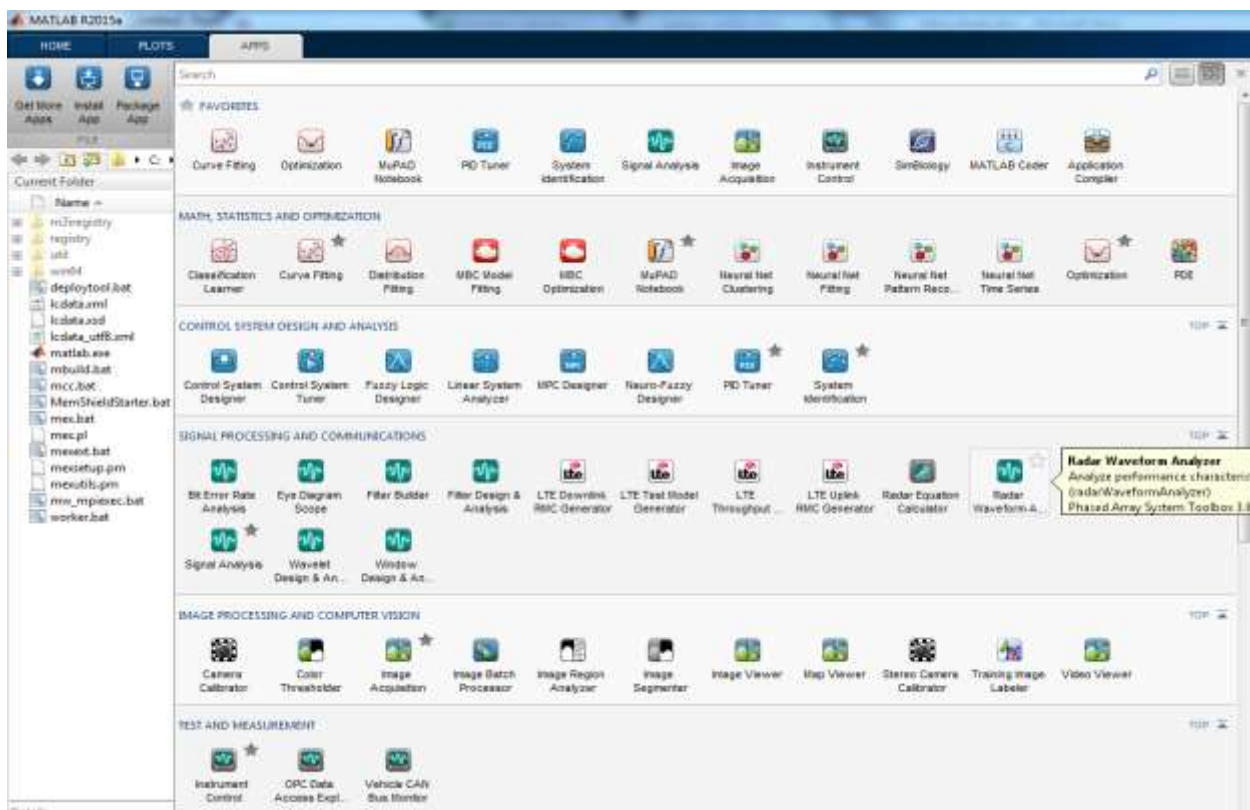
Слика 7.ИнтерфејсMatlab-a 2015a

Matlab је виши програмски језик развијен средином 80-тих година. Прва верзија писана је у Фортрану, а као основа су узети пакети LINPACK и EISPACK. Нове верзије Matlab-a су писани делом програмским језиком C/C++, а неки делови су рађени и у Assembly. Matlab је, за релативно кратко време, постао стандардни програмски пакет на водећим универзитетима и истраживачким институтима. Користи се у уводним курсевима линеарне алгебре и нумеричке анализе као и у курсевима осталих математичких и техничких дисциплина. У индустрији се користи за израчунавање при решавању практичних и истраживачких проблема. Проблеми и решења се изражавају на сличан начин као и у стандардним математичким формулацијама и то без потребе за традиционалним

програмирањем. На тај начин се нумерички проблеми решавају за само делић времена које би било потребно за писање програма у неком од нижих језика (Fortran, Basic, C).

Због велике популарности, развијене су различите верзије Matlab-a прилагођене појединим рачунарским системима. У овом завршном раду коришћен је Matlab 2015.

Matlab пружа изванредне могућности креирања нових функција за специјализоване области примене. Такве функције се обично групишу у посебне пакете, такозване Toolbox-ове. Неке од њих нуди и сам произвођач Matlab-a: Curve fitting; Optimization; MuPAD Notebook; PID Tuner; System identification; Signal Analysis, Image acquisition, Instrument control, SimBiology, MATLAB code, Application Compiler, Classification learner, Camera calibration, и много других. Саставни део Matlab-a као посебни Модул је и Simulink који служи за симулацију динамике система, којим ћемо се ми претежно и бавити. На слици бр. 8 приказани су неки од многих Toolbox-ова.



Слика 8. Toolbox мени у Matlab-у 2015а

5.2 Simulink

Програмски пакет Matlab садржи низ специјализованих софтверских модула (toolboxes). Један од њих је Simulink - софтверски модул за моделирање, симулацију и анализу динамичких система. Подржава линеарне и нелинеарне системе, моделе у континуалном времену, дискретном времену одабирања/одмеравања или било који хибрид ова два. Такође, системи могу бити вишебрзински, тј. имати делове који се одмеравају или ажурирају са различитим брзинама.

За моделирање, тј. градњу као блок дијаграма, Simulink обезбеђује графички кориснички интерфејс (GUI) у оквиру кога се операцијама миша типа превуци-и-пусти обавља градња модела.

Помоћу овог интерфејса могу се цртати модели као што би то радили са оловком и папиром. Simulink садржи богату библиотеку потрошача, извора, линеарних и нелинеарних компоненти и конектора. Поред тога, корисник може да прилагоди постојеће и креира сопствене блокове.

Модели су хијерархијски, тако да корисник може да гради моделе користећи top-down или bottom-up приступ. Корисник може да посматра систем на високом нивоу, затим да двапут кликне на блок да би силазио унутра кроз нивое и видео растући ниво детаља модела. Овај приступ омогућује кориснику да сагледа структуру модела и види како је организован, и како његови поједини делови интерагују.

Након што је модел дефинисан, може се симулирати, користећи низ интеграционих метода, било са менија Simulink, или уношењем команди у командни прозор Matlab-а. Менији су нарочито погодни за интерактивни рад, док приступ преко командне линије је погодан за случајеве када се извршава више симулација, (напр. ако радимо Monte Carlo симулације, или желимо да пређемо кроз укупан опсег вредности параметара). Користећи осцилоскопе (енг. Scopes) и друге блокове за приказивање података, корисник може видети резултате симулације док се симулација још извршава. Надаље, корисник може променити параметар и тренутно видети шта се дешава, за истраживања типа "шта ако" (what if).

Резултати симулације се могу ставити у радни простор Matlab-а за даље постпроцесирање и визуелизацију.

Алати за анализу модела укључују линеаризацију и алате за поједностављање модела, којима се може приступити са командне линије Matlab-а.

У овом завршном раду за симулацију искористићемо хидрауличну шему приказану у делу 4. (слика 6). У софтверском пакету Simulink биће урађен модел уз помоћ одговарајућих блокова, а затим ће се симулирати рад система.

Након симулације искористићемо потребне блокове и приказати графички резултате симулације.

Симулација динамичког система се у Simulink-у обавља сукцесивним рачунањем стања система што обављају посебни математички програми за решавање диференцијалних једначина. Решавачи унутар Simulink-а деле се у две категорије и то: решаваче с константним кораком и решаваче са промењивим кораком.

Решавачи са константним кораком рачунају стања система у правилним временским интервалима. Трајање симулације и њена тачност веома зависе о избору корака дискретизације. Што је тај корак мањи симулације је тачнија, али се продужује њено трајање. Решавачи са промењивим коракомадаптирају/мењају корак дискретизације током симулације како би се задовољили захтеви које корисник поставља на апсолутни и релативни износ грешке симулације.

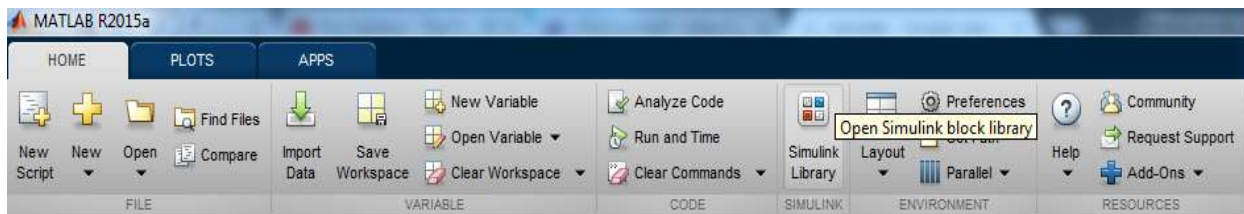
Осим ове поделе решавачи се могу сврстати и према природи система које решавају и то на:

- континуалне решаваче који решавају проблем прорачуна стања континуалних динамичких система, користећи поступке нумеричке интеграције.
- дискретне решаваче, који због природе дискретних система не захтевају провођење нумеричке интеграције, те су стога знатно једноставнији.

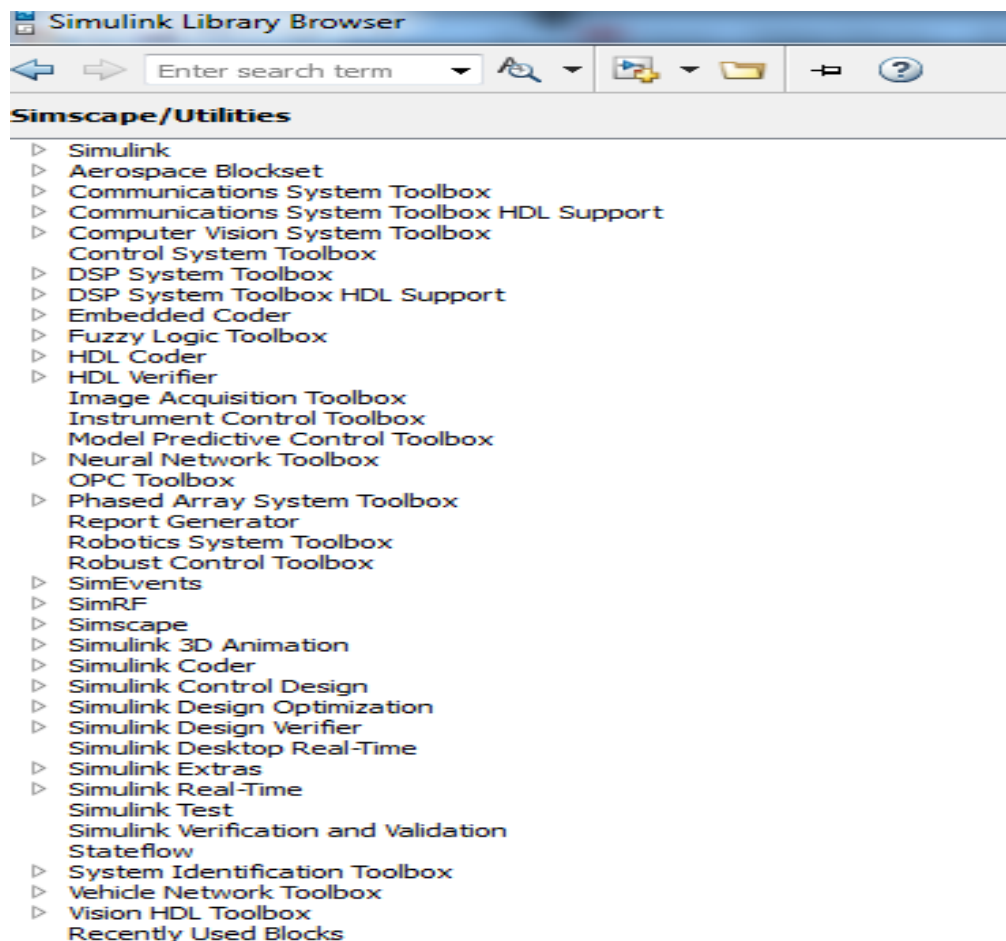
6. Испитивање и симулација хидрауличног система

6.1 Simhydraulics

Како би започели прављење модела хидрауличне шеме у Simulink-у, морамо прво приступити библиотеци делова у Simulink-у. Отварање Simulink библиотеке се врши притиском на опцију "Simulink library" у главном менију као што је приказано на слици 9.



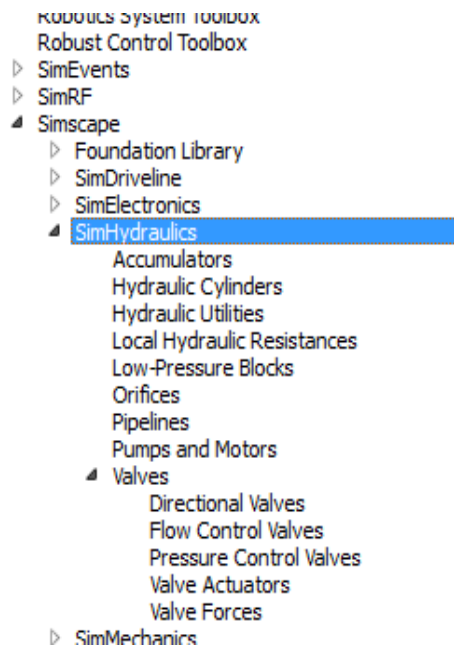
Слика 9. Simulink библиотека



Слика 10. Преглед Simulink библиотеке

Након отварања Simulink библиотеке може се видети велика количина блокова за различите системе (слика 10), почевши од основних блокова, па преко електричних, механичких, све до хидрауличних.

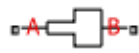
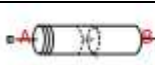
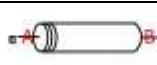
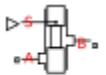
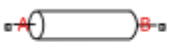
У овом делу говорићемо искључиво о хидрауличким деловима, пошто ће се они и користити приликом симулације, тј. о групи Simulink библиотеке која се зове "Simscape", а у њој подгрупи "SimHydraulics" где се налазе сви делови који се користе за формирање хидрауличних шема различитих система (слика 11).



Слика 11 SimHydraulics група

Тачније у овој групи се налазе само делови који су директно везани за хидраулику, пошто ћемо при раду морати да користимо и неке делове из других библиотека, њих ћемо поменути по потреби.

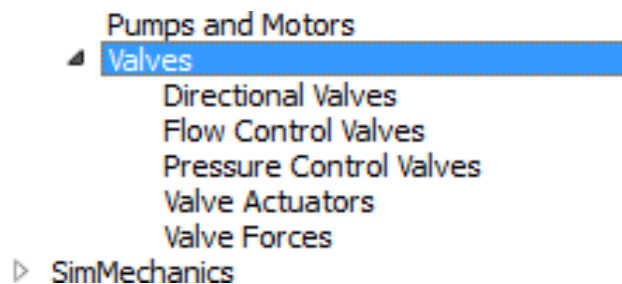
У Simulink библиотеци у групи "SimHydraulics" постоје разни елементи, као на пр.: акулуматори, хидроцилиндри, блок који мења тип радног флуида, резервоари, блокови делова са локалним хидрауличним отпорима, блокови са ниским притисцима, грла, цевоводи, пумпе и мотори, као и разне врсте вентила. Неки од блокова из ових подгупа су приказани у Табели 5.

Подгрупа SimHydraulics	Блокови у под групи
Акумулатори	  Gas-Charged Accumulator Spring-Loaded Accumulator
Хидроцилиндри	  Double-Acting Hydraulic Cylinder Single-Acting Hydraulic Cylinder
Радни флуид/резервоар	  Hydraulic Fluid Reservoir
Блокови са локалним хидрауличним отпорима	   Gradual Area Change Sudden Area Change T-junction
Блокови ниског притиска	   Segmented Pipe LP Hydraulic Pipe LP Variable Head Tank
Пригушници	  Annular Orifice Fixed Orifice
Цевоводи	   Hydraulic Pipeline Rotating Pipe Segmented Pipeline
Пумпе и мотори	   Centrifugal Pump Fixed-Displacement Pump Hydraulic Motor

Табела 5. Блокови у подгрупама SimHydraulics

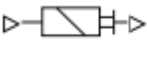
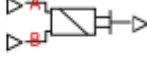
6.2 Блок подгрупе вентила у Simulink-у

У Simulink-у постоји подгрупа у SimHydraulics групи блокова, која се зове Valves (слика 12). Valves представља подгрупу блокова у Simulink-у где се налазе само блокови везани за Вентиле. У овој подгрупи имамо и подгрупе блокова, зависно од тога каква им је функција, као на пр.: разводници (eng. Directional Valves), регулатори протока (eng. Flow control Valves), регулатори притиска (eng. Pressure control Valves), актуатори (eng. Valve Actuators), итд.



Слика 12 Вентили у SimHydraulics

Сваки од ових подгрупа и неки од блокова приказани су у табели 6.

Подгрупа вентила у SimHydraulics	Блокови у подгрупи
Разводници	   3-Way Directional Valve 4-Way Directional Valve Check Valve
Регулатори протока	   Counterbalance Valve Gate Valve Needle Valve
Регулатори притиска	  Pressure Reducing Valve Pressure Relief Valve
Погонски вентили	  2-Position Valve Actuator 3-Position Valve Actuator
Вентили пригушења	  Spool Orifice Hydraulic Force Valve Hydraulic Force

Табела 6. Блокови подгрупа вентила

6.3 Унос параметара и формирање шеме у Simulink

Како би симулирали рад хидрауличног система, прво мора да се нацрта шема хидрауличног система у софтверском пакету Simulink. Шема система који ће бити разматран је дата на слици 6 из поглавља 4. При формирању шеме користе се делови из библиотеке SimHydraulics и још пар блокова који не припадају тој библиотеци. Након шеме, уносесе

неопходни параметри, а затим се извршава симулација рада читавог система.
Полазни параметри су:

Радна течност Skydrol LD-4 густине: $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$

Степен корисности пумпе: $\eta = 0.8$

Притисак у пумпи : $p = 100 \text{ bar}$

Угаона брзина : $\omega = 188 \text{ rad/s}$

Притисак на сигурносном вентилу: $p_v = 30 \text{ bar}$

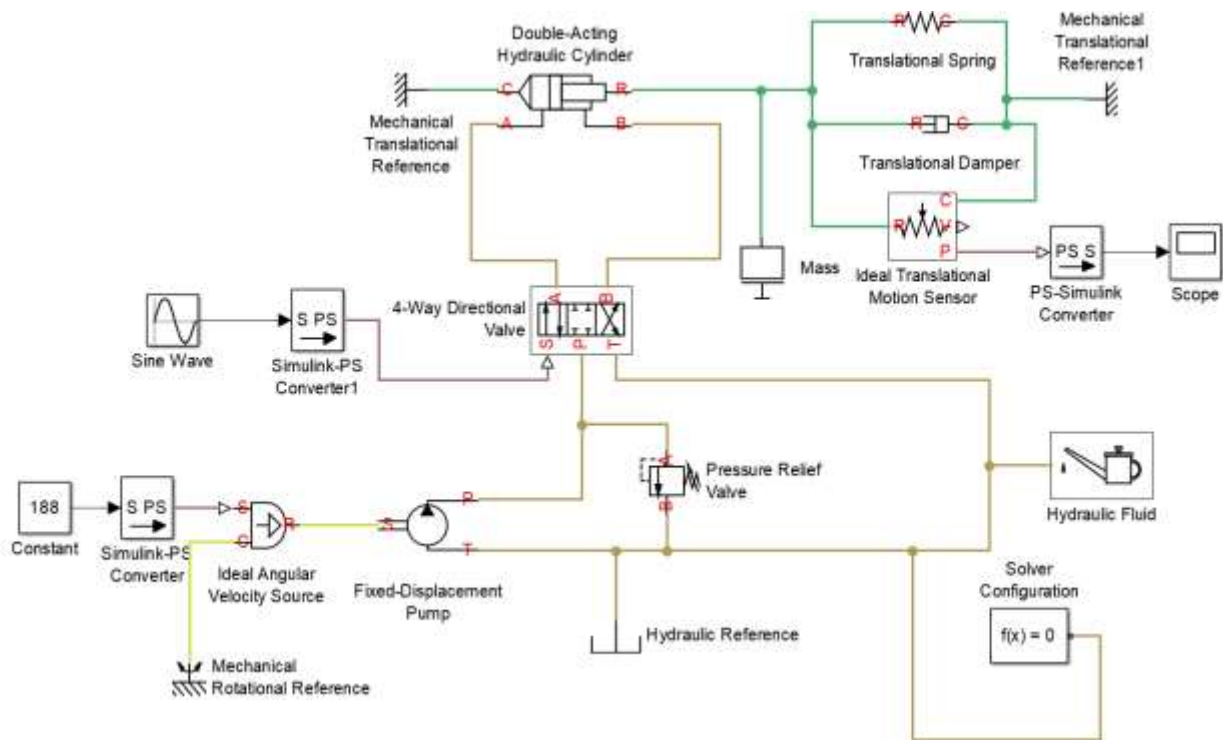
Дужина хода хидроцилиндра: $l = 0.5 \text{ m}$

Маса терета: $m = 100 \text{ kg}$

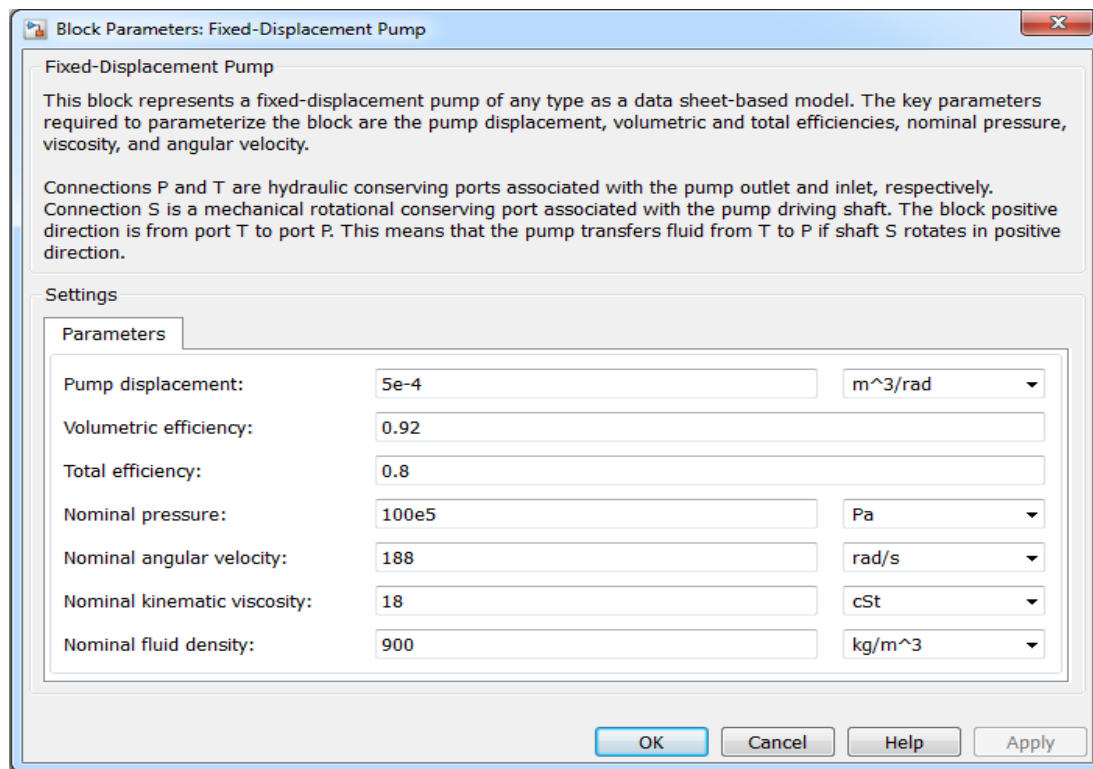
Формирање шеме започиње убацивањем одговарајућих блокова у Simulink. Притиском на опцију "New Model" у прозору Simulink библиотеке отварамо нови модел, где уствари конструишемо шему.

Шему правимо по принципу "Drag and drop" што подразумева да превучемо блок који хоћемо у модел, или можемо притиском на десни клик и опцију "Add block to Model" убацили блок у шему. Када убацимо жељене блокове, само кликом на прикључке блокова вршимо повезивање шеме.

За активирање разводника је усвојен синусни сигнал. Хидроцилиндр је повезан са блоком "Mechanical Translation Reference" чиме је ограничено кретање цилиндра (хода цилиндра). За хидроцилиндр је повезан терет тј. блок "Mass". За терет је везан блок "Ideal Translational Motion Sensor" што уствари представља сензор транслаторног кретања, чији ћемо сигнал претворити у Simulink вредност, како би са блоком "Scope" могао да се прикаже резултујући сигнал. Помоћу блока "Hydraulic Fluid" дефинишу се карактеристике радног флуида и "Solver Configuration" блок који обезбеђује неопходне информације како би програм могао да симулира рад система из Simscap-a.



Слика 13. Хидраулична шема у Simulink-у

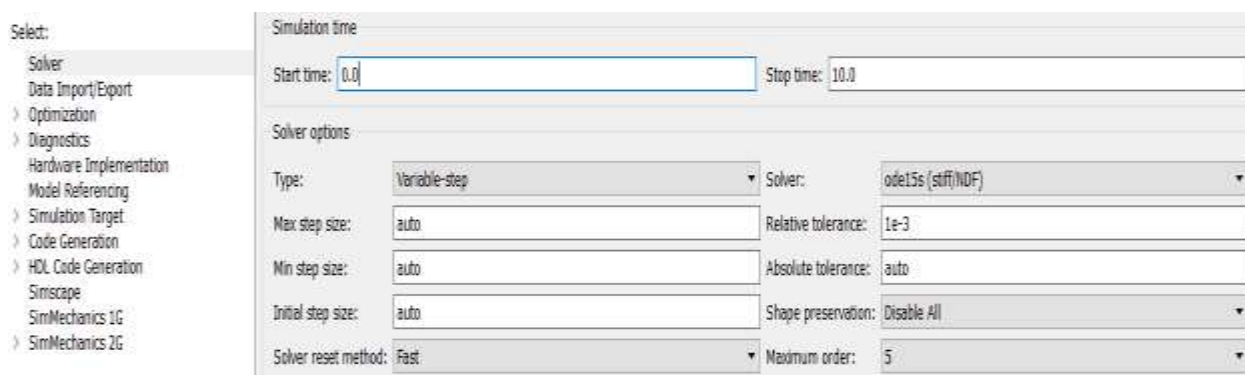


Слика 14. Параметри блока

Сада када су убачени сви неопходни делови, потребно је дефинисати параметре појединих компоненти како би покренули успешну симулацију. Убацивање параметара у блокове се обавља тако што се прискром на десни клик на одговарајући блок и притиском на "Block Parameters" (слика 14) или двоструким левим кликом на блок, отвара прозор где се уписују потребне параметре, за сваки блок понаособ.

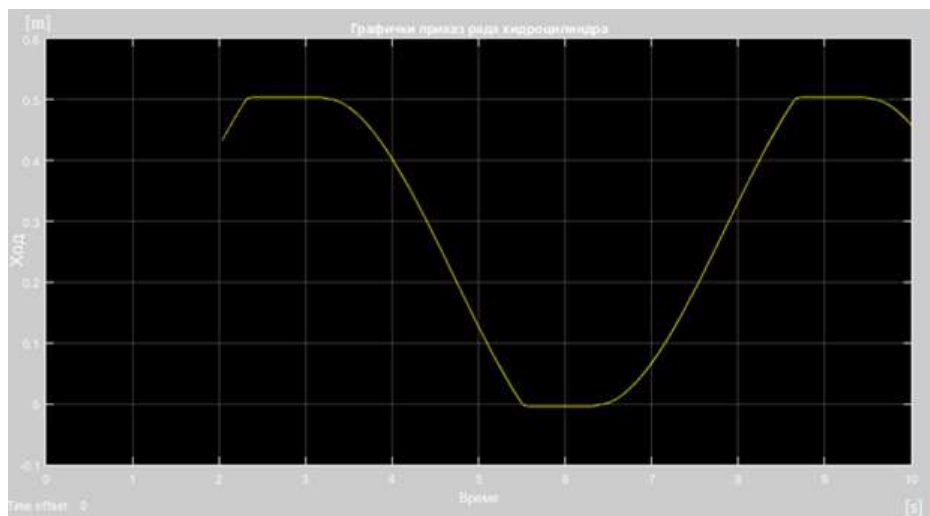
6.4 Симулација и резултати

Након уноса свих параметара и блокова у шему, потребно је само урадити још једну ствар пре саме симулације. Како би форматирали тип солвера, мора се ући на опцију "Model Configuration Parameters" и наместити конфигурацију солвера да буде као на слици 15.



Слика 15. Конфигурација солвера

Након тога потребно је само притиснути команду "Run" и симулација ће се покренути. По завршеној симулацији добија се график који приказује ход цилиндра у временском домену од 10 s.



Слика 16. Графички приказ рада хидроцилиндра

7. Закључак

Хидраулични системи се користе за пренос и управљање енергије код техничких система (снаге преко 1KW), од којих се захтева: поуздан рад, једноставна употреба, потребне динамичке карактеристике (велике брзине одзива, тачно позиционирање), минимално одржавање, и слично. У општем случају хидраулични систем се састоји од изворних компонената (пуме), компонената за управљање (разводници и вентили), извршних компонената (хидромотори и хидроцилиндри), везних компонената (цевоводи, цревоводи и прикључци), компонената за пречишћавање (филтри), за хлађење, грејање и акумулирање радне течности (хладњак, грејач и резервоар), и компонената за акумулирање енергије (хидраулични акумулатор).

У овом завршном раду приказана је подела и објашњен је принцип рада хидроцилиндара и разводника, и описан је хидраулички систем за управљање радом двосмерног хидроцилиндра. Након постављања основних једначина и формирање шеме извршена је симулација рада тог система у софтверском пакету Matlab и Simulink/Hydraulics. За симулацију су коришћени блокови из модула Simhydraulics.

По извршеној симулацији добијен је као излаз ход клипа цилиндра у функцији времена. На овај начин се могу вршити и симулације понашања осталих компоненти система, чиме је олакшано праћење и провера рада свих делова једног хидрауличног система.

Литература:

- [1] *Зоран Јовановић*: Хидраулика и пнеуматика, *Београд*, 2015.
- [2] <http://www.mobilehydraulictips.com/hydraulic-cylinder-applications/> (приступљено 16.9.2017.)
- [3] <https://www.mapro.rs/proizvodno-prodajni-program/hidraulicni-cilindri/> (приступљено 28.8.2017.)
- [4] *Живослав Адамовић*: Основи хидраулике и одржавања аулно-хидрауличних система; Завод за уџбенике и наставна средства, *Београд*, 1997.
- [5] *Душан Гордић*: Пренос снаге флуидом-хидраулика (теоријски основи, математички модели, решени примери), Машински факултет, *Крагујевац*, 2007.
- [6] <http://www.aggressivehydraulics.com/blog/hydraulic-cylinders-a-brief-history/> (приступљено 28.9.2017.)
- [7] <http://www.bestmetalproducts.com/2017/04/28/a-brief-history-of-hydraulic-cylinders/> (приступљено 30.8.2017)
- [8] <https://www.automatika.rs/baza-znanja/tutorijali/uvod-u-simulink-toolbox.html> (приступљено 13.9.2017.)
- [9] *Жељко Бан*: Основе Матлаба, *Загреб*, 2003.
- [10] *Никола Клем*: Информатика 2, Увод у Матлаб, *скрипта* 2007.
- [11] https://www.mathworks.com/help/pdf_doc/simulink/sl_using.pdf (приступљено 17.8.2017.)
- [12] <https://www.mathworks.com> (приступљено 17.8.2017.)
- [13] *Радослав Корбар*: Пнеуматика и хидраулика; Велеучилиште у Карловцу, *Карловац* 2007.