

РЕГУЛАЦИЈА БРЗИНЕ КРЕТАЊА КЛИПЊАЧЕ У ХИДРАУЛИЧКОМ СИСТЕМУ**PISTON ROD VELOCITY CONTROL IN HYDRAULIC SYSTEM**Јефто Буднић, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област- ЕНЕРГЕТИКА И ПРОЦЕСНА ТЕХНИКА**

Кратак садржај – У раду су анализирани различите могућности регулације брзине кретања клипњаче у једноставном хидрауличком систему са једним цилиндром двостраног дејства. Симулације рада система извршене су помоћу програма „FESTO Fluid Sim Hydraulics“. Као резултат добијени су дијаграми пут-време који описују рад система на основу којих су донети закључци о предностима и манана примењених система управљања. Регулација брзине кретања клипњаче извршена је помоћу различитих пригушница и регулатора протока.

Кључне речи: Хидраулички систем, хидраулички цилиндар, клипњача, регулатор протока.

Abstract – In the paper are analysed different possibilities of regulating the velocity of the piston rod in a simple hydraulic system with one double-acting cylinder. The simulations of the system operation were performed using the program “FESTO Fluid Sim Hydraulics”. As a result, distance-time diagrams were obtained that describe the operation of the system, based on which the conclusions were made about the advantages and disadvantages of applied control systems. The piston rod velocity was regulated by throttle valves and flow control valves.

Keywords: Hydraulic system, hydraulic cylinder, piston rod, flow control valves.

1. УВОД

У раду су анализирани различите могућности регулације брзине кретања клипњаче у једноставном хидрауличком систему. Рад се састоји из теоријског и експерименталног дела.

Теоријски део рада обухвата начин рада хидрауличких система и опис погонских, извршних, сигналних и управљачких компоненти које су уобичајене у већини хидрауличких система.

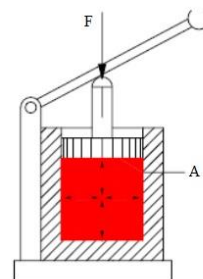
У експерименталном делу рада извршене су симулације рада једноставног хидрауличког система који има један извршни цилиндар двостраног дејства и који треба да изврши задатком задату радњу са посебним акцентом на различите начине регулације брзине клипњаче.

2. ХИДРАУЛИЧКИ СИСТЕМИ**2.1 Увод**

Хидраулички систем је склоп од више хидрауличких компонента повезаних у једну целину, који има задатак да помоћу течности пренесе енергију и да оствари управљиво кретање извршних елемената којим се енергија предаје [10].

2.2 Начин рада хидрауличких система

Рад хидрауличких система заснива се на нестишљивости радне течности и на Паскаловом закону. Паскалов закон говори да се притисак у флуиду распростире подједнако у свим правцима. Ово је илистровано примером на слици 1.



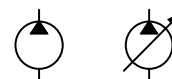
Слика 1: Хидраулички систем- хидрауличка преса

2.3 Хидраулички флуиди

Хидраулички флуид представља једну од основних компоненти сваког хидрауличког система. Задатак хидрауличког флуида у целокупном хидрауличком систему јесте да врши пренос енергије од места где се трансформише механички рад у хидрауличну енергију све до места где се врши трансформација хидрауличне енергије у механички рад. Хидраулички флуид, поред свог основног задатка, има и других намена које су такође веома важне, а то су да штити металне површине од корозије, подмазивање делова, преузима и емитује топлоту и друге [1].

3. КОМПОНЕНТЕ ХИДРАУЛИЧКИХ СИСТЕМА**3.1 Пумпе**

Пумпом се назива хидрауличка машина која претвара механичку енергију погонског мотора у хидрауличну енергију флуида. Пумпе могу бити са фиксном или промењивом запремином као што је приказано на слици 2.



Слика 2: Символ пумпе са фиксном и промењивом запремином

НАПОМЕНА:

Овај рад произтекао је из мастер рада чији ментор је био доц. др Слободан Ташин.

3.2 Хидраулички цилиндри

Хидраулички цилиндри имају улогу да врло једноставно и ефикасно претварају хидрауличку енергију у линеарно кретање. Кретање клипа у цилиндру може бити од свега неколико милиметара до неколико метара. У зависности од померања клипа у цилиндру зависи и сила која остварује механички рад.

Цилиндри се према деловању силе, односно корисног рада, могу поделити на једносмерне и двосмерне.

Једносмерни цилиндри се конструишу да имају користан рад само у једном смеру, а двосмерни цилиндри имају у оба смера. Једносмерни цилиндри, често, имају само један хидраулички прикључак, а двосмерни два хидрауличка прикључка.

3.3 Хидраулички вентили

Хидрауличко-регулациони елементи или хидраулични вентили имају задатак да хидрауличним системима усмеравају ток хидрауличног флуида и регулишу његов притисак и проток [1]. Хидраулички вентили се могу поделити у следеће групе:

- разводни вентили,
- притисни вентили,
- неповратни вентили,
- вентили притиска и
- вентили протока.

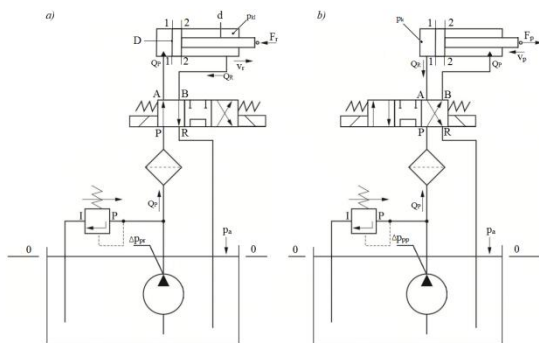
3.4 Остали елементи хидрауличног система

У хидрауличком систему могуће је наћи још низ елемената који су потребни за правилно функционисање [6]. У остале елементе хидрауличног система спадају следећи елементи:

- акумулатори
- резервоари
- филтери
- цеви и црева
- прикључци
- заптивке
- хладњаци и грејачи
- мерни уређаји

4. ПРОРАЧУН ХИДРАУЛИЧКОГ СИСТЕМА

Задатак хидрауличног система је да применом Бернулијеве једначине израчуна величину притиска пумпе која је уроњена у уље. Затим, ту величину притиска пумпе треба унети у рачунарску апликацију и извршити симулацију система. На слици 5. приказан је изглед хидрауличног система



Слика 5. Приказ хидрауличног система

а) радни ход клипњаче, б) повратни ход клипњаче

Бернулијева једначина за радни ход се поставља у односу на равни:

а) 0 – 0 (површина резервоара) и 1 – 1 (пресек са клипне стране):

$$p_a + \Delta p_{pr} = (p_a + p_k) + \rho \cdot \frac{v_r^2}{2} + b_{Pr} \cdot Q_p^2 \quad (1)$$

$$\Delta p_{pr} = p_k + \rho \cdot \frac{v_r^2}{2} + b_{Pr} \cdot Q_p^2 \quad (2)$$

б) 2 – 2 (пресек са клипњачине стране) и 0 – 0 (површина резервоара):

$$p_a + p_{kl} + \rho \cdot \frac{v_r^2}{2} = p_a + b_{Rr} \cdot Q_R^2 \quad (3)$$

$$p_{kl} = b_{Rr} \cdot Q_R^2 - \rho \cdot \frac{v_r^2}{2} \quad (4)$$

Сума сила ΣF у цилиндру

$$p_k \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = p_{kl} \cdot \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} + F + F_{tr} \quad (5)$$

$$p_k = p_{kl} \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right] + \frac{4 \cdot (F + F_{tr})}{\pi \cdot D^2} \quad (6)$$

Решавањем једначине (4) добија се вредност притиска у клипњачиној комори. Затим се та вредност користи у једначини (6) да би се одредила вредност притиска са клипне стране. Потом се одређује вредност притиска пумпе у радном ходу помоћу једначине (2) користећи једначину (6) у збиру вредности.

$$\Delta p_{pr} = 1\,892\,693,763 \text{ Pa} \cong 18,92 \text{ bar}$$

Бернулијева једначина за повратни ход се поставља у односу на равни:

в) 0 – 0 (површина резервоара) и 2 – 2 (пресек цилиндра са клипњачине стране):

$$p_a + \Delta p_{pp} = (p_a + p_{kl}) + \rho \cdot \frac{v_p^2}{2} + b_{Pp} \cdot Q_p^2 \quad (7)$$

$$\Delta p_{pp} = p_{kl} + \rho \cdot \frac{v_p^2}{2} + b_{Pp} \cdot Q_p^2 \quad (8)$$

г) 1 – 1 (пресек цилиндра са клипне стране) и 0 – 0 (површина резервоара):

$$p_a + p_k + \rho \cdot \frac{v_p^2}{2} = p_a + b_{Rp} \cdot Q_R^2 \quad (9)$$

$$p_k = -\rho \cdot \frac{v_p^2}{2} + b_{Rp} \cdot Q_R^2 \quad (10)$$

Сума сила ΣF у цилиндру

$$p_k \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = p_{kl} \cdot \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} - F - F_{tr} \quad (11)$$

$$p_{kl} = \frac{p_k \cdot D^2}{(D^2 - d^2)} + \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot (D^2 - d^2)} + \frac{4 \cdot F_{tr}}{\pi \cdot (D^2 - d^2)} \quad (12)$$

Решавањем једначине (10) добија се вредност притиска у клипној комори. Затим се та вредност користи у једначини (12) да би се одредила вредност притиска са клипњачине стране. Након тога, одређује се вредност притиска пумпе у повратном ходу помоћу једначине (8) користећи вредности из једначине (12).

$$\Delta p_{pp} = 4\,011\,358 \text{ Pa} \cong 40,11 \text{ bar}$$

Добијени притисак из једначине (8) користи се у наставку рада у рачунарској апликацији као максимални радни притисак пумпе.

Корисна снага пумпе у повратном ходу се може израчунати помоћу обрасца:

$$P_{ph} = \frac{\Delta p_{pp} \cdot Q}{600} = \frac{40,11 \cdot 13,56}{600} = 0,906 \text{ kW}$$

где је: p_a – атмосферски притисак; Δp_{pr} – притисак пумпе у радном ходу клипњаче; Δp_{pp} – притисак пумпе у току повратног хода клипњаче; Q_P – проток испред клипа; Q_R – проток са клипњачине стране; p_k – притисак са клипне стране; p_{kl} – притисак са клипњачине стране; F – спољашња сила; F_{tr} – сила трења; $v_0=0$ – брзина промене нивоа уља у резервоару; v_u – брзина уља у цилиндру, радни ход – једнака брзини клипа.

5. ПОДЕШАВАЊЕ СИМУЛАЦИЈЕ ХИДРАУЛИЧКОГ СИСТЕМА

5.1 Кратко о апликацији „Festo FluidSIM Hydraulics“

За рад хидрауличког система коришћена је апликација „FluidSIM Hydraulics“. Софтвер је развијен од стране компаније Фесто. Једна од основних карактеристика јесте да се једноставно могу цртати и покретати симулације ради лакшег разумевања, као и приказивања функционисања самог система. Верзија софтвера је четврте генерације, мада постоји и новија верзија пете генерације.

5.2 Принцип рада „Festo FluidSIM Hydraulics“ апликације

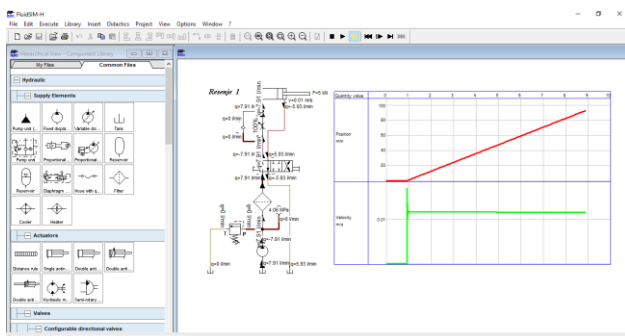
Рад у програмском решењу „FluidSIM Hydraulics“ је веома приступачан и лак за употребу сваком кориснику, а првенствено због тога што је повезивање компоненти идентично као и у стварности.

Покретањем апликације отвара се прозор на коме се налази „радни простор“. Основни алати за покретање и заустављање програма се налазе изнад радног простора, а библиотека хидрауличких компоненти у програму се налази са леве стране радног простора служе за цртање хидрауличких шема.

За састављање шема потребно је из прозора у коме се налазе хидрауличке компоненте, издвојити компоненте потребне за симулацију на радну површину и затим те компоненте повезати у систем по задатој шеми.

Након спајања компоненти, потребно је сваку компоненту подесити како би биле адекватне постављеном услову задатка.

После подешавања компоненти хидрауличког система потребно је пустити симулацију и проверити вредности добијене помоћу прорачуна основног задатка и вредности добијене симулацијом. Вредности које су добијене симулацијом за радни ход су приказане на слици 6.



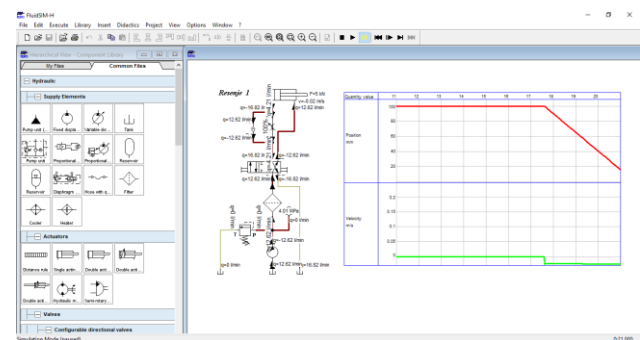
Слика 6. Вредности за радни ход клипњаче

Резултати који су добијени из прорачуна и вредности које се читавају из симулације система за радни ход су приказани у табели 1

Табела 1. Резултати добијени из прорачуна задатка и из симулације за радни ход

радни ход клипњаче	максимални притисак p_{max} [bar]	брзина кретања клипа [m/s]	проток од пумпе до цилиндра (радни ход)[L/min]	проток од цилиндра до резервоара (радни ход)[L/min]
вредности из прорачуна	18.92	0.02	7.36	5.18
вредности из симулације	40.6	0.01	7.91	5.93

Вредности које су добијене симулацијом за повратни ход клипњаче су приказане на слици 7.



Слика 7. Вредности за повратни ход клипњаче

Вредности који су добијене из прорачуна и вредности које се читавају из симулације система за повратни ход су приказани у табели 2.

Табела 2. Резултати добијени из прорачуна задатка и из симулације за повратни ход

повратни ход клипњаче	максимални притисак p_{max} [bar]	брзина кретања клипа [m/s]	проток од пумпе до цилиндра (повратни ход) [L/min]	проток од цилиндра до резервоара (повратни ход) [L/min]
вредности из прорачуна	40.11	0.02	12.62	16.82
вредности из симулације	40.1	0.02	11.04	16.58

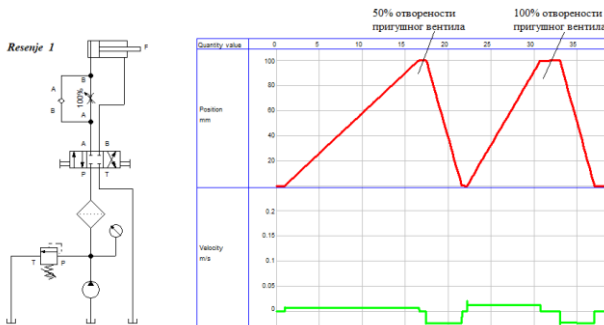
5.3 Анализа варијантних решења проблема регулисања брзине кретања клипњаче

1) *Регулација брзине кретања клипњаче пригушним вентилом који је постављен испред клипне стране цилиндра.*

На слици 8. са леве стране је шематски приказ хидрауличког система, а са десне стране слике су приказана два дијаграма. Горњи дијаграм је дијаграм времена које је потребно за извлачење и увлачење клипњаче у цилиндру, док је на другом дијаграму представљена брзина кретања клипњаче.

Спољашња сила у радном ходу која делује на клипњачу је 5 kN, а да је отвореност пригушног вентила 50% и са графика се читава да је брзина кретања клипњаче у радном ходу 0,01 m/s. У наставку симулације пригушни вентил је отворен на 100% и са графика су очитане вредности за брзину кретања

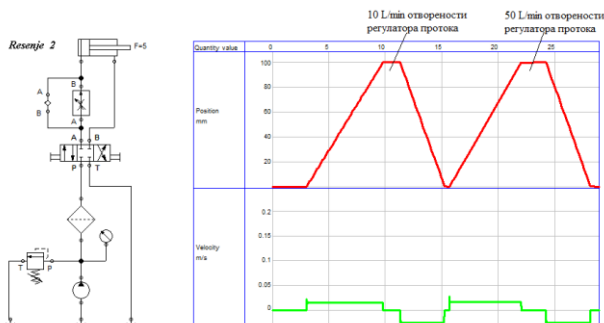
клипњаче у радном ходу која износи 0,02 m/s. Примећује се да је брзина у повратном ходу клипњаче већа него у радном и оно износи 0,03 m/s разлог томе је што се повртани ход клипњаче не подешава.



Слика 8. Брзина кретања се регулише пригушним вентилом који је постављен испред клипне стране цилиндра

2) Регулација брзине кретања клипњаче се врши регулатором протока који је постављен испред клипне стране цилиндра.

Са слике 9. се може видети симулација хидрауличког система уз помоћ регулатора протока. Симулација је урађена при протоку радног флуида од 10 L/min и 50 L/min. Подешеност регулатора протока на 10 L/min брзина кретања клипњаче у радном ходу износи 0,01 m/s. У наставку симулације регулатор протока је отворен на 50 L/min и испитана је брзина кретања у радном ходу клипњаче која износи 0,02 m/s. Код овог примера брзина кретања клипњаче у повратном ходу се не подешава и износи 0,03 m/s за оба примера подешености регулатора протока.



Слика 9. Брзина кретања клипњаче се регулише регулатором протока који је постављен испред клипне стране цилиндра

6. ЗАКЉУЧАК

Брзина кретања клипњаче се регулише подешавањем пригушног вентила или регулатора протока. Једном подешени положај регулационог елемента се у току рада система не мења, али за потребе испитивања овог задатка проучавала се отвореност пригушног вентила на 50% и на 100%. Код регулатора протока се отвореност испитивала на 10 L/min и на 50 L/min.

У овом раду испитана је могућност регулације брзине кретања клипњаче у хидрауличким системима. Прорачуном задатка помоћу Бернулијеве једначине дошло се до максималне вредности притиска пумпе у радном и повратном ходу клипњаче. Већа вредност притиска пумпе усваја се као вредност притиска пумпе.

Недостаци из претходна два примера овог рада су да регулишу брзину кретања клипњаче у радном ходу док у повратном ходу не регулишу. Предности су мање компоненти у систему и мања зона високог притиска у радном ходу клипњаче.

Постизање најбоље регулације брзине у радном и повратном ходу клипњаче врши се постављањем пригушних вентила у сваком воду. Недостатак тих система је што захтевају више уређаја за регулацију протока.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кнежевић, Д., Шешлија, Д., Милашиновић, А., Лалош, С., *Уљна хидраулика и пнеуматика*, Универзитет у Бањој Луци, Машински факултет, Бања Лука, 2018.
- [2] Савић, В., *Уљна Хидраулика I*, Дом штампе, Зеница, 1990.
- [3] <http://www2.viser.edu.rs/download.php?id=19082/> (28.01.2021.)
- [4] <https://hidraulikspecijal.rs/hidraulika/> (26.01.2021.)
- [5] Савић, В., *Основи Уљне Хидраулике*, Икос, Зеница, 1991.
- [6] Петрић, Ј., *Хидраулика и Пнеуматика*, Факултет стројарства и бродоградње, Свеучилиште у Загребу, Загреб, 2012.
- [7] Корбар, Р., *Пнеуматика и Хидраулика*, Велеучилиште у Карловцу, Карловац, 2007.
- [8] Вуковић, В., Ташин, С., *Увод у хидропнеуматску технику*, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, 3. допуњено издање, Нови Сад, 2006.
- [9] <https://gumaplastvp.com/sr/proizvodi/zaptivke-klipmanzetne/> (09.03.2021.)
- [10] Узелац, Д., Бикић, С., *Хидропнеуматске компоненте*, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2018.
- [11] https://www.festo-didactic.com/ov3/media/customers/1100/fluidsim5_enu_s_v1.pdf, (13.09.2021.)

Кратка биографија:



Јефто Буднић рођен је у Требињу 1993. год. Основне студије на Факултету техничких наука из области Енергетика и процесна техника завршио је 2019. год. Тренутно студент мастер студија на смеру Енергетика и процесна техника.