

SCIENTIFIC APPROACH TO MODELING AND SIMULATION OF SERVO HYDRAULIC VALVE

NAUČNI PRISTUP MODELIRANJU I SIMULACIJI RADA SERVOHIDRAULIČKOG VENTILA/RAZVODNIKA

AVDIC, Sead; OSMANOVIC, Almir; MULAHALILOVIC, Ferid & MRKALJEVIC, Fehmo

Abstract: *Simulation of hydraulic systems and thus hydraulic components, such as servohydraulic valves, provides a huge advantage in the process of analysis and synthesis of these systems and their components during design. With its broad capability, facilitates of simulation software could use for formation of the most complex phenomena that can occur on this system and individual components, and that without the use of computers can be checked only on the physical model.*

Key words: *modeling, simulation, servohydraulic valve, hydraulic systems.*

Sažetak: *Simuliranje hidrauličkih sustava te samim time hidraulički komponenti, kao što su servohidraulički razvodnici, daje ogromnu prednost u procesu analize i sinteze navedenih sustava i njihovih komponenti u toku projektiranja. Svojim širokim mogućnošću, simulacioni softver olakšava i oblikovanje najsloženiji pojava koji se mogu pojaviti na sustavu i pojedinim komponentama, a koji bez upotrebe računara mogu provjeriti samo na fizičkom modelu.*

Ključne riječi: *modeliranje, simulacija, servohidraulički razvodnici, hidraulički sustavi.*



Authors data: Sead **Avdic**, prof.dr.sc. , Univerzitet u Tuzli, Mašinski fakultet, Tuzla, Bosna i Hercegovina, avdic.sead@yahoo.com; Almir **Osmanovic**, mr.sc. Univerzitet u Tuzli, Mašinski fakultet, Tuzla, Bosna i Hercegovina, osmanovicalmir@yahoo.com; Ferid **Mulahalilovic**, dipl.ing.maš., Rudnik "Kreka" d.o.o. Tuzla, Tuzla, Bosna i Hercegovina; Fehmo **Mrkaljevic**, dipl.ing.maš., Rudnik "Kreka" d.o.o. Tuzla, Tuzla, Bosna i Hercegovina.

1. Uvod

Sa jačanjem industrije, građevinarstva, brodogradnje, zrakoplovstvu i drugi gospodarskih grana, pored elektronike jačala je i primjena hidraulike na planu mehanizacije ili automatizacije strojeva, odnosno radni procesa u mjernoj i regulacionoj tehnici. Skoro da nema ni jedne gospodarske grane gdje hidraulika zbog svojih izraziti prednosti nad drugim nije našla plodno tlo za sve širu primjenu u sustavima prijenosa snage u mehanizaciji i automatizaciji. Odnosno samim time postala je jedna od najvažniji karika mehatronički sustava.



Slika 1. Primjeri praktične upotrebe hidraulički sustava.

Ovako široka primjena znači i raznovrsne uvjete rada hidraulički sustava i veoma oštre zahtjeve koji se postavljaju. Hidraulički sustavi odolijevaju raznim agresivnim sredinama (kemijska industrija, morska atmosfera i dr.), raznim temperaturnim uvjetima (od -50°C do $+280^{\circ}\text{C}$), raznim meteorološkim uvjetima. Na osnovu ovoga možemo zaključiti da hidrauličke komponente čine jedne od osnovni dijelova mehatronički modula, kao mehatronički podsustava.

2. Elementi za upravljanje i regulaciju

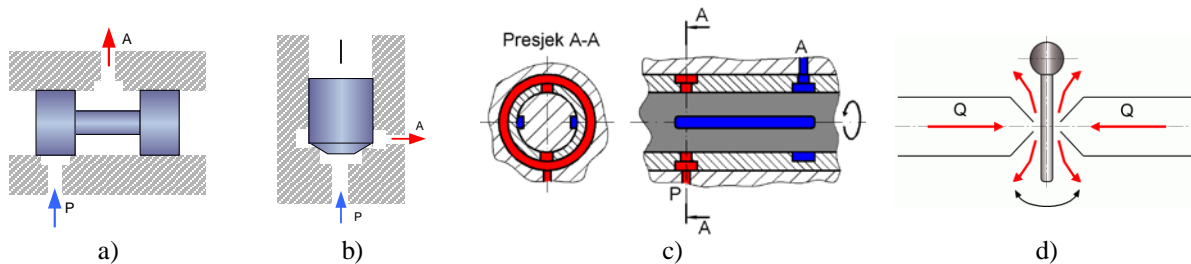
Razvodni ventili su elementi hidrauličkog sustava, koji imaju zadatak da usmjere kretanja ulja. Mogu se podijeliti prema [1]:

- obliku radnog elementa,
- vrsti kretanja radnog elementa,
- broju položaja,
- načinu aktiviranja.

U odnosu na oblik radnog elementa razvodni ventili se dijele na [1]:

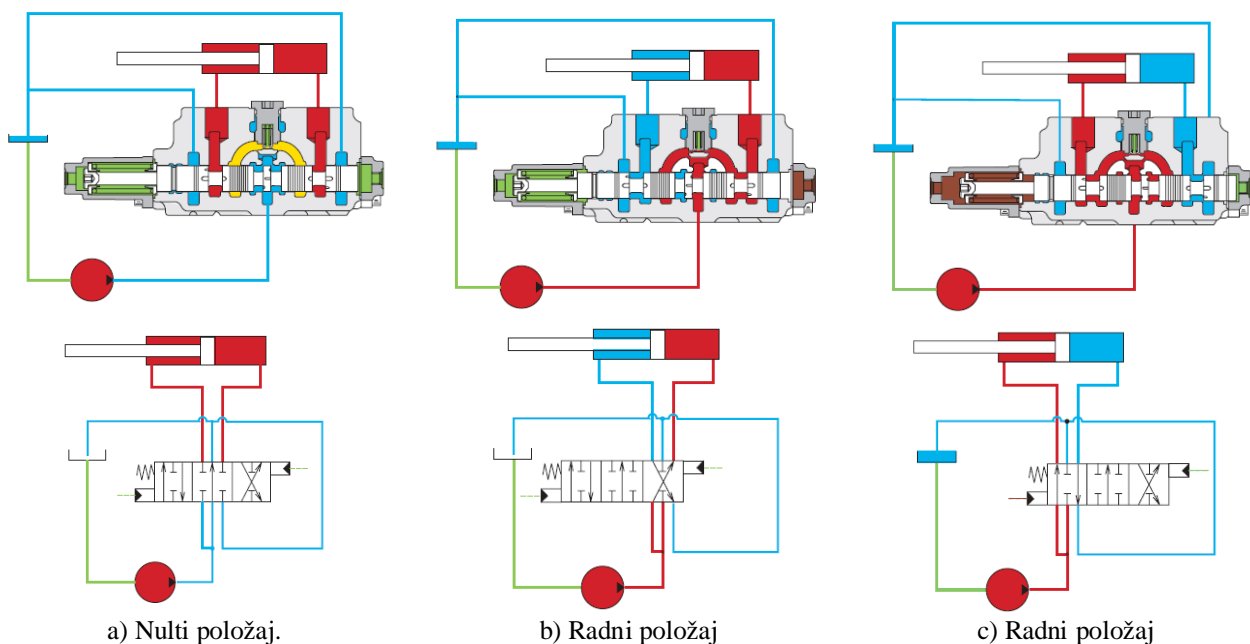
- razvodnike sa cilindričnim klipom (slika 2a), kod kojih se veza između otvora (P) i (A) ostvaruje pomicanjem klipa u cilindru po njihovoj osi, a zapitivanje po površini dodira;

- razvodnika sa dosjedom (slika 2b), kod kojih se veza između otvora (P) i (A) ostvaruje pomicanjem klipa po njegovoj uzdužnoj osi, a zaptivanje preko kontaktne, dosjedne linije ili površine;
- razvodnici sa cilindričnim klipom (slika 2c), kod kojih se veza između otvora (P) i (A) ostvaruje zakretanjem klipa za određeni kut;
- razvodnici sa odbojnom pločicom (slika 2d), kod kojih se protok definira položajem pločice.



Slika 2. Konstruktivni oblici radni elemenata kod razvodni ventila.

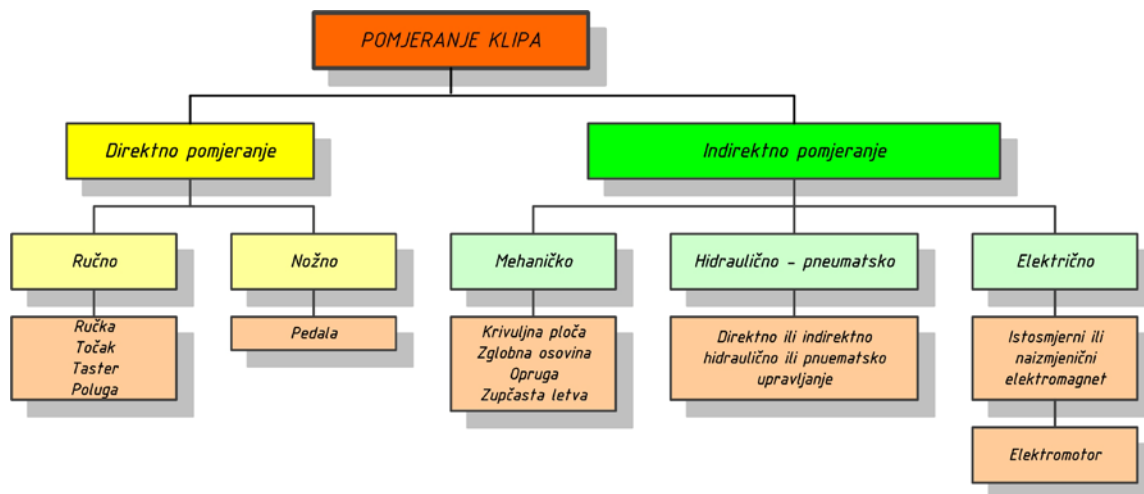
Razvodni ventili se prema vrsti kretanja radnog elementa dijele na ventile sa uzdužnim (slika 2a,b), rotacionim (2c) i oscilatornim kretanjem (2d) radnog elementa. U odnosu na broj položaja i priključaka, razvodni ventili se dijele na ventile sa dva, tri ili četiri položaja, te ventile sa dva, tri, četiri, pet ili više priključaka.



Slika 3. Radni položaj razvodnog ventila.

Pomjeranje klipa razvodnog ventila može se obaviti na različite načine. Klasifikacija postupaka pomjeranja klipa je prikazan na slici 4. Klip se najčešće pomjera pomoću elektromagneta istosmjerne ili naizmjenične struje. Na slici 2.5. je prikazan presjek razvodnog ventila 4/3, kod koga se pomjera klipa vrši pomoću elektromagneta naizmjenične struje. Kada su elektromagneti isključeni, opruge, koje su ugrađene sa obje strane klipa, dovode klip u srednji, neutralni položaj, a kada se elektromagnet

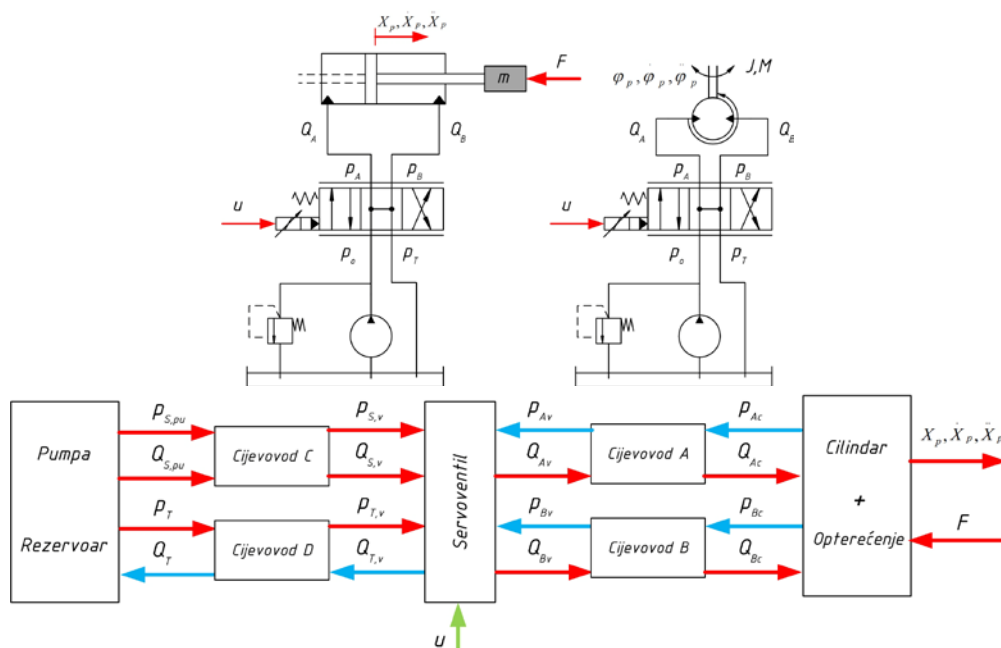
stavi pod napon, kotva se pomjera prema klipu i potiskuje ga ispred sebe. U slučaju kvara elektromagneta, klip razvodnog ventil može se pomjeriti iz jednog u drugi položaj pritiskom na osovinicu kotve preko gumenog zaštitnog poklopca.



Slika 4. Klasifikacija postupaka pomjeranja klipa razvodnog ventila.

3. Servorazvodnici

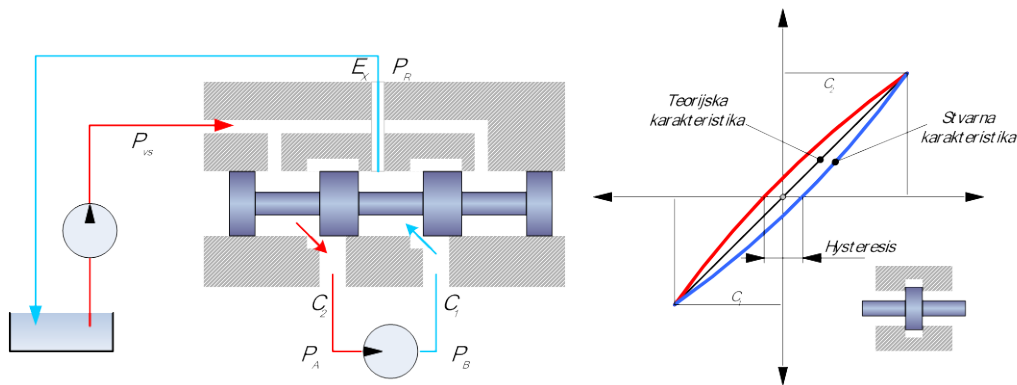
Pojam "servo" se mnogostruku primjenjuje. Sasvim uopćeno se označava funkcija, kod koje jedan mali ulazni signal izaziva jedan veliki izlazni signal (pojačivač). Slično je i kod servohidraulike. Upravljačkim signalom male snage na primjer 0,08W može se analogno upravljati velikom snagom od više stotina kilovata [2]. Servorazvodnici se primjenjuju kao električno upravljani hidraulički pojačivač u regulacionim kolima, što znači, ne vrši se samo transformacija električnog ulaznog signala u odgovarajući protok, već se mjere odstupanja od zadate brzine ili pozicije koja se zatim dovode u servorazvodnik radi korekcije.



Slika 5. Shematski prikaz hidrauličkog sustava sa servohidrauličkim razvodnikom.

4. Protočne karakteristike servorazvodnika

Dok su kod obični razvodnika poželjni što manji gubici pri prigušenju, to jest što je moguće manji pad tlaka, dotle je za servorazvodnike, potreban određeni strujni otpor da bi upravljanje prenesenom snagom moglo uopće da se sprovede. Za izbor jednog servorazvodnika dovoljno je da su poznati nominalni (nazivni) protok i nazivni tlak servorazvodnika, koji stoje na raspolaganju, kao i maksimalni odnosi opterećenja na potrošaču [3]. Na slici 6. prikazan je glavni cilindar klip servorazvodnika u radnom položaju. Hod klipa s_{vk} proporcionalan je kako je poznato, upravljačkoj struji Δi , to jest $s_{vk} = s_{max}(\Delta i / \Delta i_{max})$. Pri čemu je s_{max} maksimalni put klipa pri maksimalnoj upravljačkoj struji Δi_{max} (100%).



Slika 6. Prikaz glavnog klipa servorazvodnika u radnom položaju.

Sa ukupnim padom tlaka Δp_v na servorazvodniku i protočnim presjekom $A=b s_{vk}$ dobiva se izraz za protok:

$$\dot{V} = A \cdot v = A \cdot \sqrt{2 \frac{\Delta p_v}{2 \xi \rho}} = b s_{vk} \sqrt{\frac{\Delta p_v}{\xi}} (m^3 / \text{min}) \quad (1)$$

Protok je proporcionalan struji Δi , ali jako zavisi od pada tlaka Δp_v na razvodniku. Zavisnost protoka \dot{V} od pada tlaka na razvodniku Δp_v , pri konstantnoj struji upravljanja vidi se sa $\Delta p_v - \dot{V}$ -karakteristike servorazvodnika. Kao nominalni protok \dot{V}_N označava se protok pri nominalnoj struji Δi_N , kao ulaznom signalu i nominalnom tlaku, kao padu tlaka na razvodniku. Stvarni pad tlaka p_v u servorazvodniku prema oznakama na slici 6. i protok pri opterećenju \dot{V}_L iznose:

$$\Delta p_v = p_{vs} - p_L - p_R (\text{bar}) \quad (2)$$

$$\dot{V}_L = \dot{V}_N \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_v}{p_N}} (m^3 / \text{min}) \quad (3)$$

gdje je p_{vs} tlak napajanja, p_L tlak opterećenja, p_R tlak u povratnom vodu.

5. Osnovne jednađžbe i proračunska shema za hidraulične servorazvodnike

U općem slučaju, jednađžbe za razvodnike i servorazvodnike su iste. Ipak, one se međusobno razlikuju po apsolutnim vrijednostima pojedinačni veličina, suglasno vrsti izrade i obliku, kao i karakteru raspodjele pojedini parametara. Oni se, naime kontinualno mijenjaju kod servorazvodnika, a skokovito, to jest sa prekidima kod razvodnika pri prelasku iz jednog u drugi položaj. Za proračun se koristi proračunska shema servorazvodnika predočena je na slici 7[4].

Jednađžba kretanja klipa. Ako se sa F_p označi sila prethodno sabijene opruge, sa k_x njena krutost, a sa F_1 sila upravljanja, koja djeluje na upravljački klip i ako se zanemari sila trenja i hidrodinamička sila, onda se jednađžba kretanja klipa može napisati u obliku:

$$m_s \ddot{x} = F_1 - k_x x - F_p \quad (4)$$

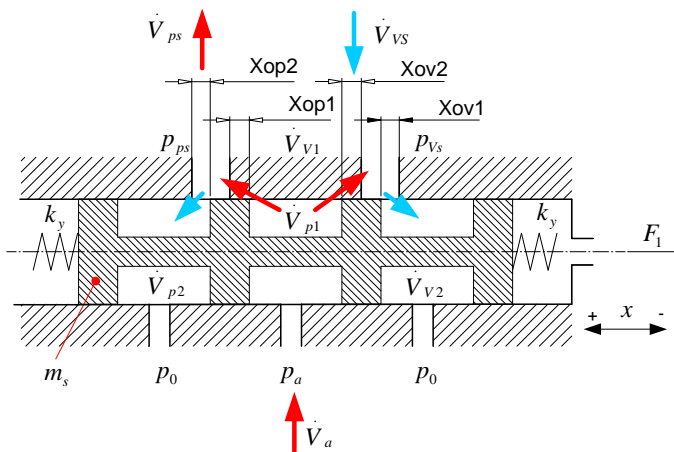
Jednađžba za padove tlaka. Pad tlaka na nekom djelu hidrauličkog voda može da se predstavi kao zbir hidraulički gubitaka tlaka na tom djelu i pada tlaka uslijed ubrzanja zapremine tečnosti. Na osnovu toga dobivaju se jednađžba za pojedine strukturne dijelove, to jest tipske članove:

$$p_a - p_{ps} = p_{aps} \left[\left(\dot{V}_{p1} \right), x, T \right] \dot{V}_{p1} + H_{p1} d \left(\dot{V}_{p1} \right) / dt \quad (5)$$

$$p_a - p_{vs} = p_{avs} \left[\left(\dot{V}_{v1} \right), x, T \right] \dot{V}_{v1} + H_{v1} d \left(\dot{V}_{v1} \right) / dt \quad (6)$$

$$p_{ps} - p_o = p_{pso} \left[\left(\dot{V}_{p2} \right), x, T \right] \dot{V}_{p2} + H_{p2} d \left(\dot{V}_{p2} \right) / dt \quad (7)$$

$$p_{vs} - p_o = p_{vso} \left[\left(\dot{V}_{v2} \right), x, T \right] \dot{V}_{v2} + H_{v2} d \left(\dot{V}_{v2} \right) / dt \quad (8)$$



Slika 7. Proračunska shema servorazvodnika.

Jednađžba za protoke. U zapremine \dot{V}_p , \dot{V}_v i \dot{V}_a uključuju se i zapremine odgovarajući vodova, tako da se može zanemariti stišljivost tečnosti u servorazvodniku. Pri otvaranju klipa u pravcu +x glavni protoci su \dot{V}_{ps} i \dot{V}_{vs} to jest:

$$\dot{V}_{ps} = \dot{V}_{p1} - \dot{V}_{p2} \quad \mathbf{i} \quad (9)$$

$$\dot{V}_{vs} + \dot{V}_{v1} = \dot{V}_{v2} \quad (10)$$

Pri otvaranju upravljačkog klipa u pravcu $-x$ slijedi:

$$\dot{V}_{p2} = \dot{V}_{ps} + \dot{V}_{p1} \quad \mathbf{i} \quad (11)$$

$$\dot{V}_{vs} = \dot{V}_{v1} - \dot{V}_{v2} \quad (12)$$

gdje je

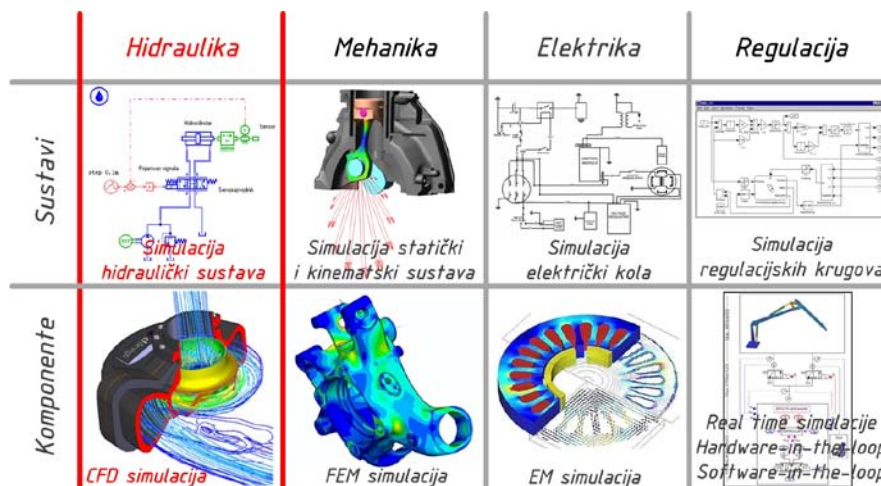
$$\dot{V}_a = \dot{V}_{pi} + \dot{V}_{v1} \quad (13)$$

6. Osnove simulacije hidraulički sustava i hidraulički komponenti

Sa sve većom uporabom računarske tehnike, njenom dostupnošću sve većem broju korisnika, računarom podržane simulacije zauzimaju sve značajnije mjesto u procesu razvoja i dizajna hidraulički komponenti [4]. Za razvoj hidraulički komponenti i sustava, danas se koriste sljedeći simulacioni alati:

- softveri za simulaciju hidraulički sustava (FluidSim, Matlab/Simulink)
- softveri za simulaciju dinamičkog ponašanja komponenti i sustava (Fluent)
- strukturne analize dijelova metodom konačni elemenata (Ansys, Catia)
- simulacija strujanja fluida CFD softveri (Star CCM+)
- primjena multi-body simulacija za izračunavanje i predstavljanje kompleksni i višedimenzionalnih pokretni sustava (Simulation X)

Od početaka uporabe numerički simulacija, razvijani su mnogi simulacioni alati za različita fizička područja (hidraulika, kinematika, električni inženjering, automatsko upravljanje itd.) te trenutno postoji veliki broj softvera na tržištu. Slika 8. pokazuje mogućnosti današnjih simulacioni alata za sustave i komponente.



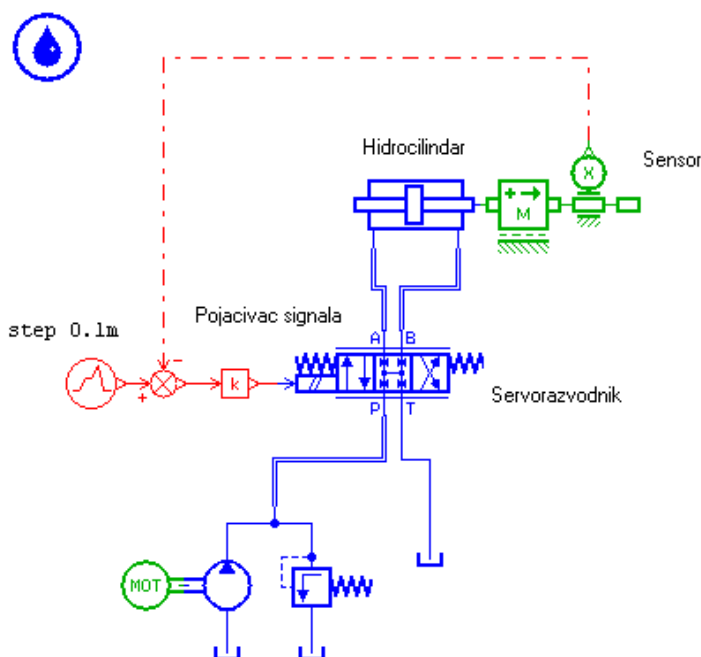
Slika 7. Klasifikacija simulacioni alata

Veliki broj korisnički-orientisanih simulacioni alata je dostupan za isto tako veliki broj zahtjeva. Dijapazon seže od signalno – baziranih simulatora kao što su: Matlab/Simulink do specijaliziranih industrijskih simulacionih alata kao što su DSHplus, BATHfp i HYVOS. U zavisnosti od vrste sustava koji se simulira, baze podataka mogu biti proširene sa odgovarajućim modulima koji sadrže karakteristike

željenog sustava. Grafički korisnički interfejsi, baze podataka za određena ekspertna polja, komunikacija sa drugim simulacionim alatim i dalje unapređenje alata za procesuiranje signala predstavljaju polja proširenja zahtjeva u modernim simulacijama.

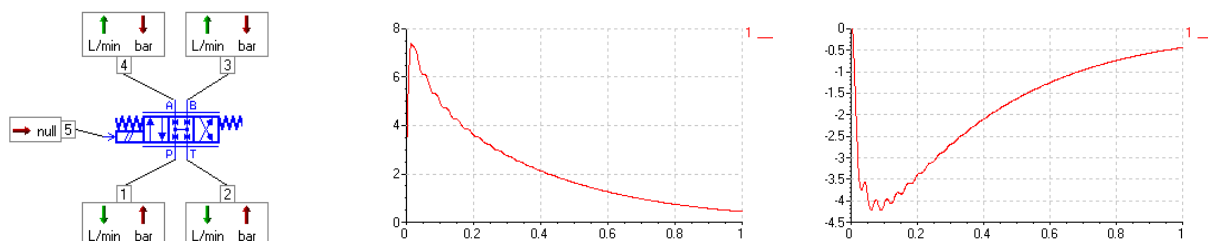
7. Simulacija procesa rada servorazvodnika

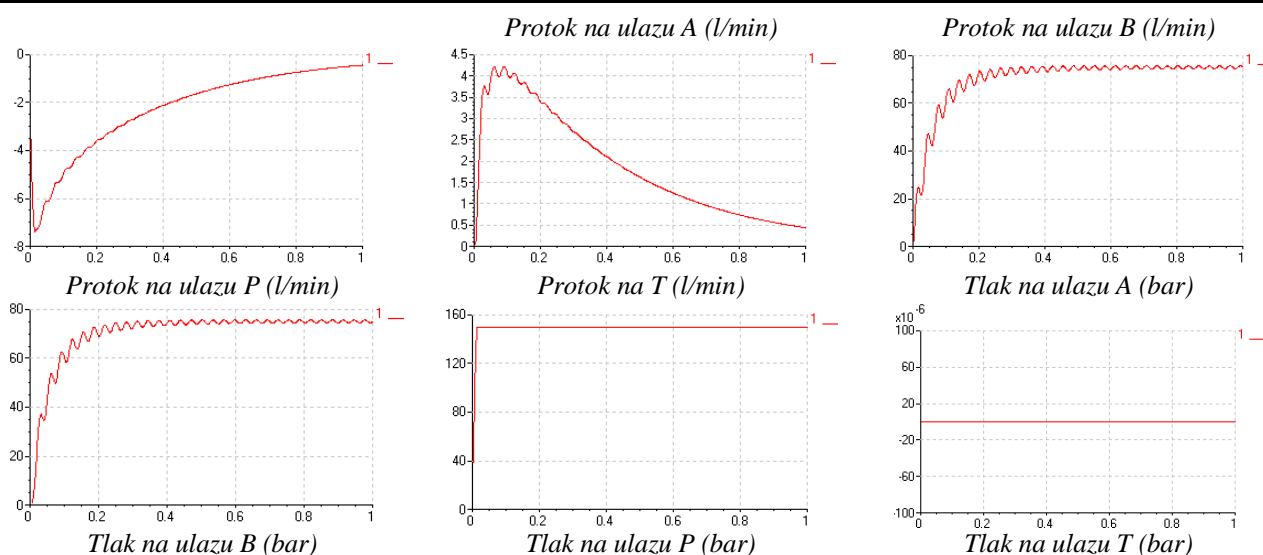
Na sljedećim slikama prikazan je tok procesa modeliranja i simulacije hidrauličkog sustava u kome se kao razvodni element nalazi servohidraulički razvodnik 4/3, a sa ciljem pomicanja određene mase pomoću hidro cilindra. Simuliranje sustava vršit će se u softverskom paketu LMS Imagine.Lab AMESim, koji se koristi kao platforma za modeliranje, simuliranje i analizu radi dizajniranja i razvoja kompleksnih multi-domain sustava. Po kreiranju modela hidrauličkog sustava potrebno je svakom od elemenata dodijeliti odgovarajuće vrijednosti parametara. Većina parametara se definira i unosi preko odgovarajući dialog box-ova za definiranje. Po završetku dodijele parametara može se simulirati proces te pratiti dobiveni rezultati. Ispis rezultata je predstavljen grafički pomoću odgovarajući dijagrama.



Slika 8. Shematski prikaz hidrauličkog sustava.

Prikaz rezultata sa podacima dobiveni analizom simulacionog modela su prikazani na sljedećim slikama.





Slika 9. Vrijednosti protoka i tlaka na servorazvodniku.

8. Zaključak

U predočenom radu je prikazan simulacijski softver za modeliranje i simulaciju hidraulički servorazvodnika i servohidraulički komponenti, koji se može učinkovito koristiti za istraživanje kompleksni problema na hidrauličkim pogonima i hidrauličkim sustavima.

Pri tome uzimajući u obzir mehaničke elemente sa kojima se hidrauličke komponente nalaze u vezi, kontrolne sustave kojima se vrši kontrola i regulacija ovako složeni sustava i to pri ranim fazama razvoja novi i kompleksni sustava u kojima se nalaze servohidraulički ventil/razvodnici.

Prikazani grafički - interaktivni i objektno - orijentirana koncept simulacije omogućava brzu analizu sustava, te na taj način smanjuje vrijeme potrebno za razvoj te implementaciju novih servohidraulički komponenti i sustava na stvarnim modelima.

9. Literatura

- [1] Dieter, W. & Norbert, G. (2008). *Hydraulik-Grundlagen, Komponenten, Schaltungen*, Springer, ISBN 978-3-540-79534-6, Berlin.
- [2] George, Y. (2003). *Industrial Servo Control Systems Fundamentals and Applications*, Marcel Dekker, Inc, ISBN 0-8247-0836-9, New York.
- [3] Arthur, A.; Max, G. & Richard, S. (2006). *Hydraulic power system analysis*, CRC Press - Taylor & Francis Group, ISBN 978-0-8247-9956-4, New York.
- [4] Galal, R. (2009). *Fluid Power Engineering*, The McGraw-Hill Companies, Inc, ISBN: 978-0-07-162606-4, New York.



Photo 004. View from the vineyard in winter / Pogled zimi iz vinograda Veleučilišta u Požegi