

Biblid: 0354-9496(2003) 8:3, p.122-128
UDK:631.372:669-8

Naučni rad
Scientific paper

PRIMENA RAČUNARA U PROJEKTOVANJU HIDRAULIČNIH KOMPONENATA I SISTEMA

Gordić, D.¹, Jovičić, N.², Babić, M.³, Šušteršič, V.⁴

REZIME

Tokom poslednjih dvadesetak godina, hidraulični prenos snage izložen je velikoj konkurenciji ostalih sistema prenosa snage (posebno električnog). I pored toga hidraulični sistemi i danas imaju veliku primenu u prenosu snage jer: kompaktni hidraulični sistemi relativno malih masa prenose velike iznose snaga i sila (momenata), mogu da zadrže u mirovanju velike terete bez preopterećenja, imaju veliku krutost, jednostavno pretvaraju rotaciono u translaciono kretanje, itd. Da bi osigurala svoju trenutnu poziciju i obezbedili kontinuirani progres na tržištu, industrija hidrauličnog prenosa snage mora da ostvari određene ciljeve. Jedan od tih ciljeva je i značajna upotreba računara u projektovanju. Pri tome se mogu razlikovati dva pristupa. Prvi se odnosi na projektovanje hidrauličnih komponenata, a drugi na projektovanje hidrauličnih sistema. U radu je definisana metodologija savremenog projektovanja hidrauličnih komponenata i sistema iz upotrebu računara, dat je pregled najpoznatijih softvera za te namene koji se mogu naći na svetskom tržištu i prikazani su primeri projektovanja komponenata i sistema uz pomoć računara.

Ključne reči: hidraulika, računari, projektovanje i modeliranje

SUMMARY

For the last twenty years hydraulic fluid power systems are exposed to the strong competition from other means of power transfer (especially electrical). Nevertheless, hydraulic systems have significant application in transmitting power today because compact hydraulic systems with relatively small mass transmit big amounts of power and force (torque), they are capable to restrain big weights without overloading, they have big stiffness, they can simply convert rotation into translation, etc. In order to preserve current position in the market and to ensure its continued progress and growth, hydraulic power transfer industry must achieve some goals. One of these goals is a significant computer application in the design. Two different design

¹ Dr Dušan Gordić, docent, Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, gordic@knez.uis.kg.ac.yu

² Dr Nebojša Jovičić, docent, Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac

³ Prof. dr Milun Babić, Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac

⁴ Mr Vanja Šušteršič, asistent Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac

approaches are distinguished. The first is related to the design of hydraulic components and the second to the design of hydraulic systems. In this paper the methodology of contemporary computer design of hydraulic components and systems is defined, the most popular software for these purposes that can be found in the world market is reviewed and some examples of hydraulic component and system design are shown.

Key words: hydraulics, computers, design & modelling

UVOD

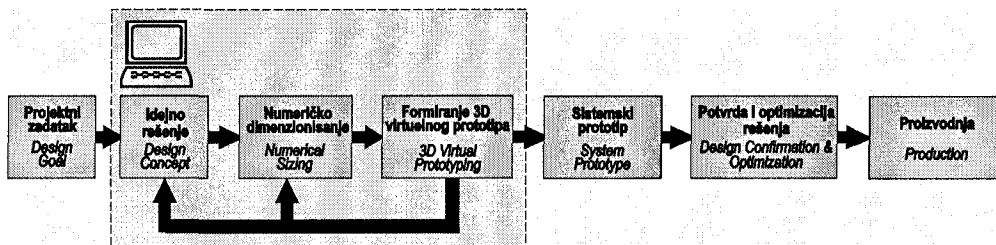
Hidraulični sistemi prenosa snage (energije) su sistemi u kojima se generiše, upravlja i prenosi energija tečnog radnog fluida pod pritiskom [1]. Industrija prenosa snage fluidom (koja uključuje hidrauliku i pneumatiku) danas zauzima relativno značajnu i stabilnu poziciju na svetskom tržištu. Lider svetske ekonomije SAD, najveći su proizvođač i prodavac hidrauličnih i pneumatskih komponenata i sistema, i pokrivaju preko 40 % ukupne svetske produkcije i prodaje. Samo u SAD, prodaja ove opreme je porasla od skromnih 1.000.000 \$ na kraju Drugog svetskog rata do preko 12.000.000.000 \$ u 2000. god. [1], [2]. Slični trendovi se mogu zapaziti i kod ostalih razvijenih zemalja. Godišnji obim prodaje hidraulične, približno je tri puta veći od obima prodaje pneumatske opreme. Na kraju prošlog i početkom ovog veka, najveći konzumenti opreme za hidraulični prenos snage su (izraženo u procentima ukupne godišnje proizvodnje hidraulične opreme): građevinska oprema (24,3 %), vazduhoplovstvo (20 %), poljoprivredna mehanizacija (12,1 %) i drumska vozila (11,3 %) [1].

Da bi obezbedila neprekidni razvoj, očuvala postojeću poziciju na tržištu i efikasno se takmičila sa ostalim tehnologijama za prenos energije (mehaničkom i, posebno, električnom), industrija hidrauličnog prenosa snage mora da dostigne sledeće ciljeve: smanjenje energetske gubitaka, kontrola curenja radne tečnosti, kontrola stabilnosti fluida, proaktivno održavanje, kontrola čistoće radne tečnosti, mikroračunarsko upravljanje i računarima podržano inženjerstvo (CAE) [3].

Poslednja dva od pobrojanih ciljeva, direktno podrazumevaju upotrebu računara. U ovom radu će biti prikazani primeri upotrebe računara u savremenom projektovanju hidrauličnog prenosa snage. Pri projektovanju ove tehnologije, mogu se razlikovati dva različita postupka. Prvi se odnosi na projektovanje hidrauličnih komponenata, a drugi na projektovanje hidrauličnih sistema. Iako se oni u osnovi značajno razlikuju, uzajamno su povezani.

PROJEKTOVANJE HIDRAULIČNIH KOMPONENATA

U slučaju da se radi o jednostavnim komponentama, projektant bi mogao da ostvari svoj projektni zadatak oslanjajući se na iskustvo, koristeći tzv. pristup "probe i greške". Međutim, ako je u pitanju relativno složena komponenta, kao na primer: pumpa, hidromotor, složeni ventil itd., zadatak postaje mnogo kompleksniji. Sa stanovišta troškova izrade proizvoda, potpuno je neprihvatljivo subjektivno ocenjivanje projektnih parametara složenih hidrauličnih komponenata, a zatim njihova proizvodnja kako bi se ustanovilo da li uopšte funkcionišu. Da bi se izborio sa današnjim složenim projektnim zadacima, projektant mora da poseduje sofisticiranije alate. Personalni računari sa odgovarajućim programskim paketima, danas su najefikasniji i najefektivniji alat.

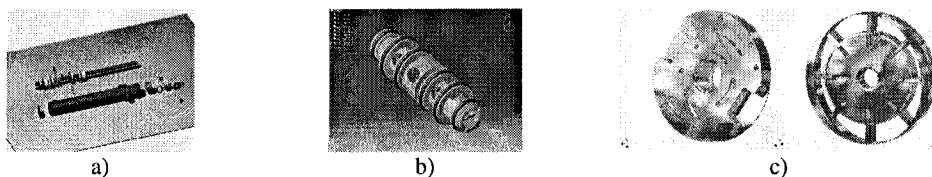


Slika 1. Postupak projektovanja hidrauličnih komponenata

Figure 1. Hydraulic Component Design Procedure

Savremeno, računarima podržano projektovanje hidrauličnih komponenata, trebalo bi da sledi proceduru formiranja trodimenzionalnog (3D) virtuelnog prototipa, prikazanu na slici 1. Pomoću parametara definisanih u projektnom zadatku, projektant komponente formira idejno rešenje, a zatim, koristeći principe projektovanja hidrauličnih komponenata, razvija odgovarajući numerički model na personalnom računaru, da bi dimenzionisao komponentu. Za tu namenu, projektant piše originalni softver na nekom od programskih jezika: C, C++, Fortran, Visual Basic, Pascal, Java, itd., ili problem rešava upotrebom odgovarajućih programskih paketa, kao što su: MathCAD, Maple, Mathematica, pa čak i programa za tabelarne proračune (*spreadsheet*) kao što je Microsoft Excel, itd. Rezultati numeričkog dimenzionisanja se najčešće eksportuju i smeštaju u posebnu datoteku - bazu podataka, čiji je format prepoznatljiv odgovarajućem CAD softveru, kao što je: CATIA, Solid Works, Mechanical Desktop, Inventor, PRO/Engineer, itd. Projektant je prethodno, na osnovu idejnog rešenja, nacrtao parametarski 3D prikaz projektovane komponente u CAD softveru. Izabrani CAD softver interpretira podatke numeričkog proračuna i na osnovu njih generiše 3D virtuelni prototip. Uz pomoć virtuelnog prototipa, vrlo je jednostavno dobiti kompletnu projektnu dokumentaciju, pa čak i kompletni tehnološki postupak izrade elemenata i cele komponente. Korektan virtuelni prototip omogućava proizvođaču da izvede fizički prototip komponente, koji može da ide u proizvodnju nakon pozitivne ocene na laboratorijskim testovima.

Rezultati formiranja 3D virtuelnih prototipova nekoliko hidrauličnih komponenata, dobijeni na Katedri za energetiku i procesnu tehniku Mašinskog fakulteta u Kragujevcu, prikazani su na slici 2.

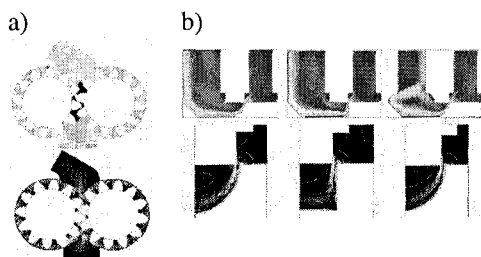


Slika2. Primeri izrade 3D virtuelnih prototipova u različitim CAD softverima a) rasklopljeni hidrocilindar – Mechanical Desktop, b) klip sa čaurom – CATIA, c) delovi krilne pumpe - Inventor

Figure 2. Examples of 3D virtual prototyping performed with different CAD software a) disassembled hydraulic cylinder – Mechanical Desktop, b) spool and sleeve – CATIA, c) parts of vane pump - Inventor

Primena metoda tzv. "proračunske dinamike fluida" (CFD - *Computational Fluid Dynamics*), može značajno da unapredi projektovanje hidrauličnih komponenata, jer pruža mogućnost ekstenzivnog istraživanja. Ovaj metod pruža relativno jednostavan i jeftin način procene i

ispitivanja relevantnih parametara strujanja radne tečnosti u bilo kojoj komponenti. CFD eliminiše zahtev za skupim eksperimentima, koji često imaju neizvesne i nesigurne rezultate. Sistematskom interpretacijom rezultata CFD analize, dobijaju se tačnije vrednosti parametara koje se mogu koristiti pri projektovanju komponenti. Postoji relativno veliki broj komercijalnog softvera za CFD analizu, a najpopularniji na tržištu su: Fluent, Star-CD, CFX, Phoenix, itd. Primeri primene CFD metoda u analizi funkcionisanja hidrauličnih komponenata su mnogobrojni [4] – [8].

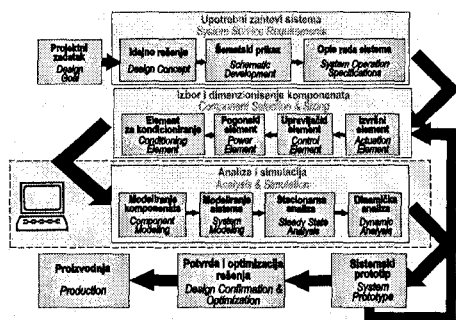


Slika 3. Primeri primene CFD metode u hidraulici – Fluent a) simulacija strujanja tečnosti u zupčastoj pumpi [4], b) raspodela brzina u različitim klipno-aksijalnim ventilima sa kompenzacijom sile usled strujanja [5]
Figure 3. Examples of CFD application in hydraulics – Fluent a) simulation of fluid flow in external gear pump [4], b) velocity distribution in different compensated spool valves [5]

PROJEKTOVANJE HIDRAULIČNIH SISTEMA

Generalizovan postupak projektovanja hidrauličnih sistema za prenos snage ilustrovan je na slici 4. [9]. Polazeći od projektnog zadatka i usvojenog projektog rešenja, projektant mora da razradi šematski prikaz sa opisom rada sistema. Zatim, bira i dimenzioniše sastavne komponente sistema. Interesantna karakteristika ove tehnologije prenosa snage je uobičajeno mišljenje da je to jednostavan zadatak, pa stoga i nije neophodno da projektant bude ekspert da bi ga primenio. Tako osoba sa elementarnim poznavanjem mašinskog inženjerstva, oseća da može da projektuje i izvede sistem, birajući iz kataloga proizvođača komponente koje se mogu naći na tržištu, uz upotrebu samo elementarnih izračunavanja snaga, pritiska i protoka. U većini slučajeva, ovako projektovan jednostavan hidraulični sistem obavljaće svoju funkciju, ali neoptimalno.

U prošlosti, po završetku faze izbora i dimenzionisanja, komponente su kupovane i formiran je prototip sistema. Ponašanje sistema nije bilo simulirano i uspeh prototipskog rešenja je uglavnom zavisio od iskustva projektanta, ali i sreće. Stvarne karakteristike sistema su ocenjivane laboratorijskim i eksploatacionim testovima na sistemskom prototipu. Optimizacija sistema je nastajala kao rezultat pomenutog pristupa "probe i greške".



Slika 4. Postupak projektovanja hidrauličnog sistema
Figure 4. Fluid Power System Design Procedure

Uzimajući u obzir troškove izrade, potpuno je neprihvatljivo dozvoliti da se projektni parametri hidrauličnog sistema procenjuju, a zatim fabrikovati sistem da bi se uverilo da li on funkcionise. Inženjerski svet već duže poznaje da je faza analize i simulacije vrlo značajna karika u uspešnoj realizaciji projekta hidrauličnog sistema sa stanovišta minimizacije vremena i cene izrade. Da bi se izborio sa ovom, danas veoma zahtevnom fazom, projektant mora da poseduje

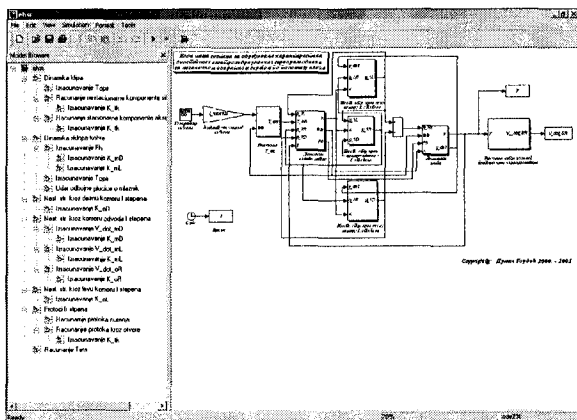
snažne alate. Najbolji dostupni alat, čija je upotreba sve veća, je personalni računar. Digitalna računarska analiza i simulacija, danas je široko rasprostranjena i prihvaćena kao poželjan, a ponekad i ključni, element postupka projektovanja složenih hidrauličnih komponenti. Da bi izvršio numeričku analizu i simulaciju na personalnom računaru, projektant može da usvoji jednu od tri moguće strategije [10].

Prvi način tretira matematičke jednačine, koje opisuju ponašanje projektovanog hidrauličnog sistema, kao bilo koji sistem diferencijalnih jednačina (za dinamičku analizu), tj. algebarskih jednačina (za stacionarnu analizu). Ovaj sistem jednačina se numerički rešava upotrebom postojećih numeričkih metoda, pisanjem programskog koda u nekom od već pomenutih programskih jezika. Iako postoji relativno veliki broj javnih ili komercijalnih biblioteka sa FORTRAN/C kodovima za rešavanje diferencijalnih/algebarskih jednačina (javne: GELTA, ATOMFT, Deuflhard's Fortran codes, Netlib, itd., i komercijalne: IMSL, NAG, Numerical Recipes, itd. [11]), projektant sistema mora da bude matematički "genije" i kompjuterski ekspert da bi ispunio svoj zadatak, zbog prisutnih nelinearnosti u jednačinama kojima se matematički opisuje ponašanje hidrauličnih komponentata (posebno ventila), a stoga i sistema. Ovakav način rešavanja je ograničene primene, jer je za različite režime funkcionisanja sistema, koji su definisani različitim funkcijama na ulazu u sistem, potrebno pisati nove programe. Istovremeno, on zahteva najviše vremena za realizaciju, ali i najmanje finansijskih resursa.

Drugi način podrazumeva upotrebu nekog od standardnih simulacionih paketa, koji se mogu relativno jednostavno koristiti za rešavanje problema u hidraulici. Na veb sajtu Fluid Power Net - a [12], može se naći dvadesetak ovakvih programskih paketa, koji se koriste za modeliranje i simulaciju hidrauličnih komponentata i sistema. Najrasprostranjeniji su: MATLAB i SIMULINK, ASCL, VisSim, 20-Sim, BuildSim, MATRIXx, MathModelica, itd. Ovi paketi su vrlo fleksibilni, relativno su jednostavni i ne zahtevaju dug vremenski period za razvoj numeričkog modela. Mnogi od ovih paketa imaju opcione (komercijalne ili besplatne) numeričke alate (*toolbox*-ove) specijalizovane za rešavanje problema hidrauličnog prenosa snage, kao što su Hydraulic Block Set Toolbox za MATLAB [13] i HyLib za Modelicu [14]. Takođe, imaju i dodatnu mogućnost simulacije sistema upravljanog savremenim kontrolerima veštačke inteligencije (fazi-logički, neuralne mreže, itd.). Vrlo značajna karakteristika pojedinih paketa (kao što je VisSim) je da se može simulirati upravljački algoritam sistema i posle prevođenja na C++ programski jezik, smestiti na čip kontrolera [15].

Od 1984. godine do danas, MATLAB je evoluirao u interaktivni sistem i programski jezik za opšta, naučna i tehnička proračunavanja i vizuelizaciju, i postao je jedan od najpopularnijih programskih paketa opšte namene u visokom školstvu i industriji. Prema podacima proizvođača - The Mathworks, ovaj program danas upotrebljava više od 500 000 korisnika. MATLAB sadrži stotine ugrađenih funkcija i nekoliko desetina modula za posebne namene. Najznačajniji modul je SIMULINK za simulaciju linearnih i nelinearnih dinamičkih sistema. To je grafički, interaktivni program koji omogućava da se bilo kakav dinamički sistem modelira jednostavnim crtanjem blok dijagrama na ekranu. U njemu se mogu simulirati linearni, nelinearni, kontinualni, diskretni i multivarijabilni sistemi, kao i hibridni i uslovno izvršni sistemi. Korisnik ima mogućnost izbora jednog od više različitih integracionih metoda optimizovanih za različite vrste problema. SIMULINK je specijalizovan za modeliranje složenih dinamičkih sistema, koji se mogu relativno jednostavno i brzo simulirati. Kao očigledan primer može da posluži modeliranje dinamike, sa stanovišta matematičkog

opisivanja jedne od najsloženijih hidrauličnih komponenti, elektrohidrauličnog servorazvodnika – slika 5. [16].

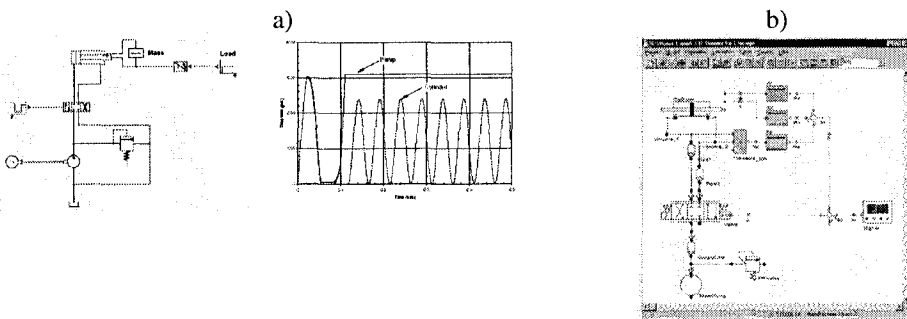


Slika 5. SIMULINK model servorazvodnika [22]

Figure 5. SIMULINK model of servovalve [22]

Treći postupak podrazumeva upotrebu simulacionih paketa specijalizovanih za hidraulični prenos snage. Na tržištu se trenutno može naći preko trideset ovakvih paketa [12], kao što su: BathFP, DSHplus [17], AMESim, HyPneu [9], Flowmaster, Hopsan, HydroAnalyst, ITI Sym, itd. U najvećem broju ovih paketa koristi se vizuelno modeliranje, zasnovano na činjenici

da se sve komponente mogu matematički prikazati kao kombinacija nekoliko osnovnih elemenata (masa, prigušenje, opruga, trenje, blenda, itd). Od njih su formirani modeli komponenata, koji su smešteni u odgovarajuće biblioteke sličnih komponenata. Biblioteke komponenata sadrže sve osnovne elemente za projektovanje sistema u obliku ikona, modela i tabela podataka. Specijalne komponente, mogu se posebno modelirati i smeštati u biblioteke, ali pri tome treba istaći da ne postoji fleksibilnost kao u paketima opšte namene. Korisnik jednostavno povezuje izabrane ikone da bi formirao kompletan hidraulični sistem, koga čine komponente i elementi za vezu. Tako formirani model sistema daje matematički opis interakcije izabranih elemenata i komponenata. Primeri upotrebe ovih paketa prikazani su na slici 6. Od projektanta hidrauličnog sistema, ne zahtevaju visoka matematička i informatička znanja. Relativno su skupi, a potrebno je mnogo napora, znanja i vremena za njihov razvoj.



Slika 6. Jednostavan sistem sa hidrocilindrom modeliran: a) u HyPneu, sa rezultatima [9], b) u DSHplus [17]

Figure 6. Simple cylinder control system modelled: a) in HyPneu, with results [16], b) in DSHplus [17]

ZAKLJUČAK

Snažna konkurencija ostalih tehnologija za prenos i upravljanje snagom, naterala je industriju hidrauličnog prenosa snage da, između ostalog, koristi druge tehnologije, uz čiju pomoć može da poboljša svoje karakteristike. Jedna od tih je, sve prisutnija, računarska tehnologija. U radu je prikazan jedan od načina upotrebe ove tehnologije za projektovanje hidrauličnih komponentata i sistema. Porast informatičke pismenosti u svetu inženjera hidraulike i dalji razvoj računarske tehnologije, usloviće da hidraulični prenos snage sačuva trenutnu poziciju i obezbedi dalji rast na tržištu.

REFERENCES

- [1] Kokernak R., *Fluid Power Technology*, Second Edition, Prentice-Hall, 1999.
- [2] <http://www.nfpa.com>
- [3] Fitch E. C., et al., *Fluid Power Goals and Trends for the 1990's*, FES/BAR Dyne Tech. Transfer Pub. #3, 2001.
- [4] <http://www.fluent.com/solutions>
- [5] Borghi M., et al., *Stationary Axial Flow Force Analysis on Compensated Spool Valves*, Int. Journal of Fluid Power 1 (2000), Vol.1, pp. 17-25
- [6] Priyatosh B., *Computational Fluid Dynamics (CFD) Analysis and Optimization of Hydraulic Control Valves*, Int. Exposition for Power Transmission and Technical Conference (IEPTTC) USA, 100-3.2, 4-6 April 2000.
- [7] O'Shea K., *CFDesign: A Cost-Effective Alternative to Physical Testing*, IEPTTC, USA, 100-11.4, 2000.
- [8] Wojnarowski J., Mirola K., *CFD Method as an Analysis Tool Of Fluid Power Devices*, 2nd Int. Sci. Forum, Dev. in Fluid Power Control of Machinery and Manipulators, Poland, July 2000. pp 183-186.
- [9] Hong T., *Computerized Design Analysis of Machine Tool Hydraulic System Dynamic*, FES/BAR Dyne TTP #11, 1998
- [10] Watton John, *Fluid Power System: Modelling, Simulation, Analog and Microcomputer Control*, 1989
- [11] <http://matwww.ce.tut.fi/~cpiche/industrialmath/odesolvers.html>
- [12] <http://fluid.power.net/fpn/docs/software.php3>
- [13] *Modelling and Simulation of Fluid Power Systems with MATLAB/Simulink®*, Int. J. of Fl. Pow, Vol. 2, No. 3, 2001.
- [14] Beater P., *Modelling and Digital Simulation of Hydraulic Systems in Design and Engineering Education Using Modelica and HyLib*, presented at Modelica Workshop 2000, October 23 – 24, 2000, Lund, Sweden
- [15] Stecki J., *Fluid Power – a Way Forward*, 2nd Int. Sci. Forum, Dev. in F. Power Con. of Mach. and Man, Poland, 2000
- [16] Gordić D., *Analiza dvosetepenih elektro-hidrauličnih servovalvula sa povratnom spregom po položaju razvodnog klipa*, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Kragujevac, 2002.
- [17] Baum H., *Electro-Hydraulic/Pneumatic Circuit Design with a Modern Fluid Power CAE-Tool*, IEPTTC, USA, 2000

Rad primljen: 20.09.2003.

Rad prihvaćen: 21.10.2003.