

UNIVERZITET U BANJOJ LUCI  
MAŠINSKI FAKULTET

ODP "METAL" BANJA LUKA  
ZDP "METAL SAJAM"

# ZBORNIK RADOVA PROCEEDINGS



4. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE  
4<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE

4. MEDUNARODNO SAVJETOVANJE  
O DOSTIGNUĆIMA ELEKTRO  
I MAŠINSKE INDUSTRIJE

4<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE  
ON ACCOMPLISHMENTS  
OF ELECTRICAL AND  
MECHANICAL INDUSTRIES

BANJA LUKA  
DEMI  
2001  
25/26 APRIL

ZBORNIK RADOVA 4. MEDUNARODNOG SAVJETOVANJA O DOSTIGNUĆIMA  
ELEKTRO I MAŠINSKE INDUSTRIJE

PROCEEDINGS OF THE 4<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON  
ACCOMPLISHMENTS OF ELECTRICAL AND MECHANICAL INDUSTRIES

Izdavač:

Publisher:

MAŠINSKI FAKULTET BANJA LUKA

Glavni i odgovorni urednik: Mr Mladen Todić  
Editor:

Recezentski tim  
Reviewer's team

Prof. dr Jovo Mrda  
Prof. dr Aleksa Blagojević  
Prof. dr Milan Šljivić  
Prof. dr Ostoja Miletić  
Prof. dr Milan Đudurević  
Prof. dr Đurad Davidović  
Prof. dr Vid Jovišević  
Prof. dr Miroslav Bohrek  
Prof. dr Miroslav Rogić  
Prof. dr Pero Petrović

Tehnička obrada i dizajn:  
Technical treatment and design:

Mr Mladen Todić

Tiraž:  
Circulation:

200 primjeraka

Štampa:  
Printing by:

D&S DESIGN  
ČELJNAC

СИР - Каталогизација у публикацији  
Народна и универзитетска библиотека  
Републике Српске, Бања Лука

621.001.6  
621.3001.6

МЕЂУНАРОДНО савјетовање о достигнућима електро и машинске индустрије  
DEMI (4 ; 2001 ; Бања Лука )

Zbornik radova = Proceedings / 4. međunarodno savjetovanje [o dostignućima elektro i mašinske industrije] DEMI / 4th International conference [on accomplishments of electrical and mechanical industries] DEMI, 25/26 april 2001 ; [glavni i odgovorni urednik=editor Mladen Todić]. - Banja Luka : Mašinski fakultet, 2001. (Čelinac : D & S DESIGN). - 421 str. : илустр. ; 25 cm

Текст на срп., енгл. и руском језику. Тираж 250. - Стр. 7: Predgovor / programski i organizacioni odbor. - Библиографија уз све радове. - Резиме на енгл. и срп. језику.

ТОДИЋ, Младен 340

П.О.: МАШИНСКА ИНДУСТРИЈА - Развој, ЕЛЕКТРО-ИНДУСТРИЈА - Развој

MFN=000401

4. MEDUNARODNO SAVJETOVANJE  
O DOSTIGNUĆIMA ELEKTRO  
I MAŠINSKE INDUSTRIJE

<sup>4<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE  
ON ACCOMPLISHMENTS  
OF ELECTRICAL AND  
MECHANICAL INDUSTRIES</sup>

BANJA LUKA  
DEMI  
2001  
25/26 APRIL

## "NOV" ŽIVOT VODNE HIDRAULIKE

Dušan Gordić, Milun Babić, Dobrica Milovanović, Mr Vanja Šušteršić\*

Povećana briga zbog negativnog ekološkog uticaja različitih tipova ulja, koji se koriste kao radni fluidi u konvencionalnim hidrauličnim sistemima, naterala je industriju hidrauličke da svoje razvojne planove okreće ka novim tehnologijama kojima bi se obezbedili čistiji izvori hidrauličnog prenosa snage. Zato se kao rešenje tog problema nameće upotreba obične vode, koja je ekološki čista, a sa druge strane i: nezapaljiva, jeftina, lako dostupna i pogodna za odlaganje.

Jedan od najinteresantnijih pravaca u razvoju industrije hidrauličnog prenosa snage u poslednjih desetak godina je oblast vodne hidrauličke. Interesantno je da je voda u hidrauličnim sistemima korišćenja pre upotrebe ulja, pa je njena upotreba istovremeno i isprobana i nova. Cilj rada je da se prikaže potencijal vodne hidrauličke, kao alternativne tradicionalnim sistemima, i objasne prednosti i mane njene upotrebe. Pokazati će se i primeri izvedenih hidrauličnih komponenata i sistema, pravci razvoja i očekivanja o mogućim aplikacijama u budućnosti.

*Ključne reči:* voda, radni fluid, hidraulični sistemi, prenos snage

## THE "NEW" LIFE OF WATER HYDRAULICS

Increasing care due to negative ecological influence of different types of oils used in conventional hydraulic systems, forced hydraulic industry to route its developing plans toward new technologies that would provide healthier sources of hydraulic power transfer. In order to solve this problem, usage of tap water is imposed because it is environmentally friendly, and beside, it is nonflammable, inexpensive, readily available and easily disposable.

One of the most interesting trends in development in hydraulic power transfer industry in the last ten years is area of water hydraulic. It is interesting that water was used in hydraulic systems before oil, so its application is simultaneously proved and new. The purpose of this article is to show the potential of water hydraulics as alternative of traditional oil hydraulics and to explain advantages and disadvantages of its application. The examples of hydraulic components and systems, trends and possible future applications will be shown too.

\* Dušan Gordić, Kragujevac, Mašinski fakultet Kragujevac, gordic@ptt.yu,  
Prof. Dr Milun Babić, Kragujevac, Mašinski fakultet Kragujevac, nastasija@ptt.yu,  
V.red. prof. Dr Dobrica Milovanović, Kragujevac, Mašinski fakultet Kragujevac,  
dobrica@knezuis.kg.ac.yu  
Mr Vanja Šušteršić, Kragujevac, Mašinski fakultet Kragujevac, vanjas@knezuis.kg.ac.yu,

## 1.0 UVOD

I pored velike konkurenčije postojećih sistema prenosa snage (mehaničkog, pneumatskog i, posebno, električnog) hidraulični sistemi imaju danas veliku primenu. Svetska industrija hidraulike pokušava da, novim idejama, različitim tehničkim rešenjima i inovacijama, umanji nedostatke i poveća svoje prednosti u odnosu na ostale sisteme, da bi zadržala i ojačala pozicije na tržištu.

Jedna od najinteresantnijih oblasti u razvoju industrijske hidraulike u poslednjih nekoliko godina je vodna hidraulika. Ideja korišćenja vode u hidrauličnim sistemima nastala je, prvenstveno, usled razvijene ekološke svesti i pojačane brige zbog negativnog uticaja uljno-hidrauličnih sistema na okolinu, ali i zbog praktičnih koristi ovakvog načina prenosa hidraulične energije. Mnogi inženjeri čak veruju da je vodna hidraulika jedna od najintersantnijih i najperspektivnijih oblasti mašinske tehnike.

## 2.0 ISTORIJSKI RAZVOJ

Posebno je interesantno za istraživače, proizvođače i korisnike, da je vodna hidraulika istovremeno i dobro poznata i nova. Od 1795. godine, kada je Joseph Bramah patentirao hidrauličnu presu, što se može uzeti kao vreme početka moderne primenjene hidraulike, pa narednih više od 100 godina, svi hidraulični sistemi su koristili vodu kao radni fluid. Početkom XX veka, predstavljanje mineralnih ulja, kao radnih fluida sa boljim mazivim karakteristikama i razvoj novih materijala i proizvodnih procesa, su uslovili da uljna hidraulika postane široko prihvaćena i sve do današnjih dana bude ključni deo mnogih inžinjerskih aktivnosti i proizvoda. I pored toga, upotrebu sistema sa mineralnim uljem, kao radnim fluidom, prati nekoliko ozbiljnijih problema: sklonost radnog fluida ka samozapaljenju i potencijalna eksplozivnost, problemi sa zagadivanjem okruženja i proizvoda usled i učanja ili prosipanja radnog fluida, relativno visoki troškovi nabavke i odlaganja.

Da bi se neke od ovih maha uljne hidraulike eliminisale, u poslednje tri decenije se javlja sve veći interes za upotrebu alternativnih radnih fluida, kao što su različite sintetičke tečnosti (teško zapaljive tečnosti sa vodom - HFA, HFB i HFC, i teško zapaljive tečnosti bez vode - HFD). Prevashodni im je zadatak da smanje opasnost od požara i eksplozija, pa je njihova upotreba danas najveća u metaloprerađi i rudarstvu. Ograničenja u upotrebi leže u činjenici da, u ovim industrijama, fluidi nisu kompatibilni sa proizvodima i okruženjem, a i cena pojedinih je prilična.

U pojedinim hidrauličnim sistemima, kod kojih je neophodno obezbediti radni fluid sa minimalnim štetnim uticajem na okruženje (na primer hidraulični sistemi u poljoprivredi i šumarstvu), pažnja je usmeravana ka prirodnim i sintetičkim estrima, uključujući bio-ulja dobijena od povrća i uljane repice. Bio-ulja, čiji početak primene u hidrauličnim sistemima datira od osamdesetih godina XX veka, imaju loše temperaturne performanse i sumnjuju otpornost ka oksidaciji. Doduše, moguće je osigurati navedene karakteristike dodavanjem aditiva, ali uz cenu koja je od 4 do 8 puta veća od cene mineralnih ulja. Uz to, postoje i mnoge oblasti primene gde bi curenje i prosipanje, čak i ovih "čistih" fluida, izazvalo velike brige (prehrambena, farmaceutska industrija).

Pošto nijedna od pobrojanih alternativa nije u mogućnosti da potpuno eliminiše pobrojane nedostatke mineralnih ulja, nameće se potreba za traženjem novih. Logičnim rezonovanjem se može zaključiti da bi idealan fluid bila voda i to u različitim oblicima: tehnička, za piće, slatka, morska, itd., jer: voda je jestina, voda je lako dostupna, voda ne zahteva poseban tretman, voda ne iziskuje troškove za odlaganje, voda je ekološki potpuno čista i voda je nezapaljiva.

Bez obzira što, u poređenju sa ostalim tipovima radnih fluida, voda ima nesumnjive prednosti, dugo se mislilo da upotreba vode u hidrauličnim sistemima neće biti praktično

## "Nov" život vodne hidraulike

moguća, zbog praktičnih problema koji se javljaju pri njenoj upotrebi. Međutim, januara 1994. godine, nakon petogodišnjeg multimilionskog istraživačko-razvojnog projekta, renomirani svetski proizvođač hidrauličnih komponenata i sistema Danfoss je javno demonstrirao svoj Nessie™ program vodne hidraulike. Ubrzo zatim i drugi proizvođači (Parker Hanifeld, Maximator, Fenner Fluid Power Ltd, Walter Voss, Hauhinc Gmbh, Elwood Corporation, Hytar Oy Water Hydraulics, Heinzl, Ebara Research Co. Ltd., itd.) kreću istim stopama, pa se može reći da kraj XX i početak XXI veka predstavljaju početak novog života vodne hidraulike.

## 3.0 SPECIFIČNOSTI VODNE HIDRAULIKE

Fizičko-hemiske karakteristike vode se značajno razlikuju od karakteristika mineralnog ulja i ostalih hidrauličnih fluida. Neke od tih karakteristika prikazane su u tabeli 1. Zatamljena polja u tabeli prikazuju karakteristike koje vodi daju izrazitu prednost u odnosu na ostale radne fluide, a posebno na mineralna ulja.

Prelazak na vodu, kao radni fluid u hidrauličnim sistemima, se ne može izvesti koristeći nepromjenjene uljno-hidraulične komponente. Šta više, modifikacija uljnih hidrauličnih komponenata za upotrebu u vodnoj hidraulici neće biti dovoljna. Komponente i sistemi vodne hidraulike zahtevaju posebno projektovanje, kako bi se ispunili njihovi specifični zahtevi. Nekoliko posebnih tehničkih problema, koje bi trebalo rešiti u razvoju i projektovanju vodne hidraulike su prikazani u daljem delu teksta.

Fizička veličina koja se najznačajnije razlikuje kod vode i ulja je viskoznost. Najveća prednost niske viskoznost vode je smanjenje gubitaka usled trenja u hidrauličnim sistemima, što vodi ka energetski efikasnijim sistemima. Energetski gubici u cevovodima i crevovodima sa vodom kao radnim fluidom, su u poređenju sa uljem manji za više od 50 %, pa se za isti pad pritiska u sistemu prečnici hidrauličnih vodova mogu smanjiti za 13 %. Istovremeno je i manja zavisnost viskoznosti od temperaturnih promena, pa su sistemi vodne hidraulike stabilniji u širem temperaturnom opsegu. Međutim niža vrednost viskoznosti povećava curenje u sistemima vodne hidraulike, što zahteva konstrukciju komponenata sa nižim tolerancijama izrade. Ako želi da ostvari isti protok kao kod komponente uljne hidraulike, konstruktor komponente vodne hidraulike mora da smanji tolerancije za otprilike 70 % [4]. Niske vrednosti viskoznosti su povezane i sa lošim podmazivanjem kontaktnih površina komponenata vodne hidraulike, što zajedno sa smanjenim tolerancijama stvara probleme sa erozijom i habanjem. Da bi se prevazišli problemi sa erozijom, proizvođači koriste nove keramičke materijale (aluminijum okside i cirkone) (Hauhinc) i samo-podmazujuće polimere (Danfoss).

Voda je vrlo agresivan fluid uzimajući u obzir njeno korozivno dejstvo. To se posebno odnosi na sisteme vodne hidraulike, koji koriste morskou vodu kao radni fluid. Da bi se eliminisali problemi sa korozijom, neophodna je upotreba nerđajućih metala (nerđajući čelik, bakar i njegove legure, posebno obradeni aluminijum), keramike i različitih plastičnih i sintetičkih materijala, otpornih na koroziju i habanje.

Znatno viši pritisak isparavanja vode u odnosu na pritisak isparavanja mineralnog ulja predstavlja još jedan značajan problem, sa kojim konstruktori komponenata i sistema vodne hidraulike moraju da se pozabave. Pritisak isparavanja vode na sobnoj temperaturi je oko  $10^7$  puta veći od pritiska isparavanja ulja, a značajno se povećava sa porastom temperature. To uslovljava da su komponente vodne hidraulike (pumpe, ventil, hidromotori) podložni kavitaciji. Da bi se minimizirali efekti kavitacije u komponentama vodne hidraulike, treba pri projektovanju voditi računa o: pravilnom izboru ulaznog pritiska u pumpu, kontroli maksimalne temperature i protoka, povećanju izlaznog pritiska u ventilima i modifikaciji geometrije ventila. Za izradu kritičnih komponenta treba koristiti materijale sa visokom otpornošću na kavitacijsku eroziju.

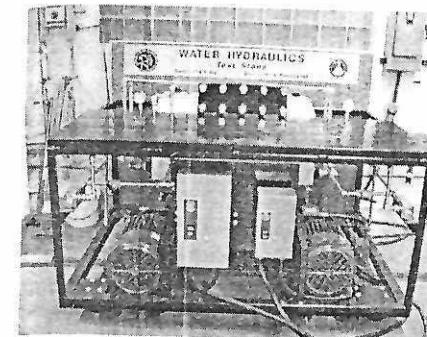
Modul stišljivosti vode je oko 50% veći od modula stišljivosti mineralnog ulja. Manja stišljivost vode od ulja uslovljava da je voda kruća i osetljivija na fluktuacije pritiska, što je čini idealnim fluidom za visoko-pritisne hidraulične sisteme. Međutim, zbog većih vrednosti modula stišljivosti, hidraulični udar može da se javi pri naglom zaustavljanju strujanja radnog fluida. Zato se pri projektovanju sistema vodne hidraulike mora voditi računa o načinu aktiviranja ventila, zaustavljanju i pokretanju hidrocilindara i razmisliti o obaveznoj upotrebi hidroakumulatora.

Fizička veličina / karakteristika	Vrsta radne tečnosti					
	Mineralno ulje HLP	HFA	HFC	HFD	Bio-ulje (uljana repica) HTG	Voda
Kinematska viskoznost na $50^{\circ}\text{C}$ [ $\text{mm}^2/\text{s}$ ]	15-70	-1	20-70	15-70	32-46	0,55
Gustina na $15^{\circ}\text{C}$ [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	870-900	~1000	~1050	~1050	930	1000
Pritisak isparavanja na $50^{\circ}\text{C}$ [bar]	$10^{-8}$	0.1	0.1-0,15	$<10^{-5}$	nepoznat	0.12
Modul stišljivosti [ $10^9 \text{ Pa}$ ]	1-1,6	2,5	3,5	2,3-2,8	1,85	2,4
Termička provodljivost na $20^{\circ}\text{C}$ [ $\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$ ]	0,11-0,14	0,598	~0,3	~0,13	0,15-0,18	0,598
Specifična toplota na $20^{\circ}\text{C}$ [ $\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$ ]	1890	-	-	-	-	4180
Radni temperaturni opseg [ $^{\circ}\text{C}$ ]	~20-90	5-55	~30-65	0-150	~20-80	~3-50
Temperatura samozapaženja [ $^{\circ}\text{C}$ ]	320-360	-	-	505	350-500	-
Korozivna zaštita	dobra	dovoljna	dobra	dobra	vrlo dobra	loša
Zagadjivanje životne sredine	veliko	veliko	veliko	veliko	malo	nema
Relativna cena u odnosu na mineralna ulja [%]	100	10-15	150-200	200-400	150-300	~0,02

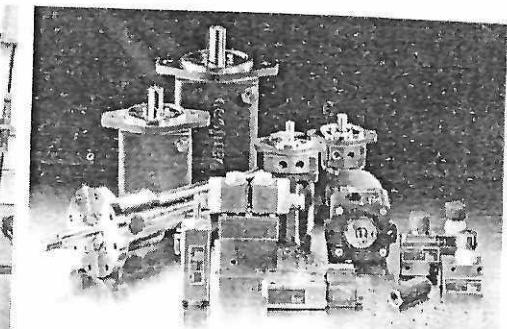
Tabela 1. Uspoređene karakteristike vode (obične) i ostalih hidrauličnih fluida

#### 4.0 IZVEDENE KOMPONENTE I SISTEMI I TREND DALJEG RAZVOJA

Nov i sprecišćen pristup projektovanju, upotreba kombinacije novih materijala, upotreba novih procesa površinske obrade i drugih proizvodnih procesa, su uslovili pojavu na tržištu kompletne familije hidrauličnih komponenata sa čistom vodom kao radnim fluidom. Na tržištu se mogu naći: pumpe i hidromotori (aksijalno-klipnog i krilnog tipa), hidrocilindri, nepovratni ventilii, protočni ventilii, razvodni ventilii, pritisni ventilii, pomoćne komponente i agregati, pa i elektrohidraulični proporcionalni ventilii, dok istraživanja na razvoju servorazvodnika intenzivno traju.

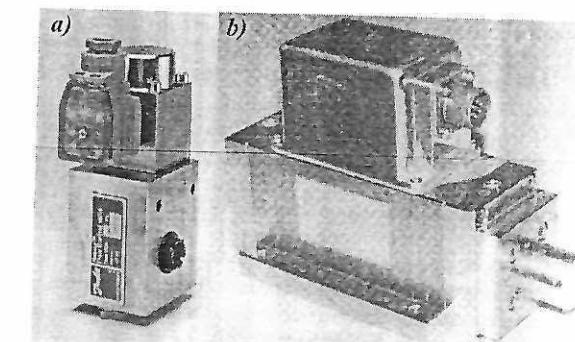


Slika 1. Ispitni sto komponenata vodne hidraulike [7]



Slika 2. Familijska komponenta vodne hidraulike proizvođača Danfoss [7]

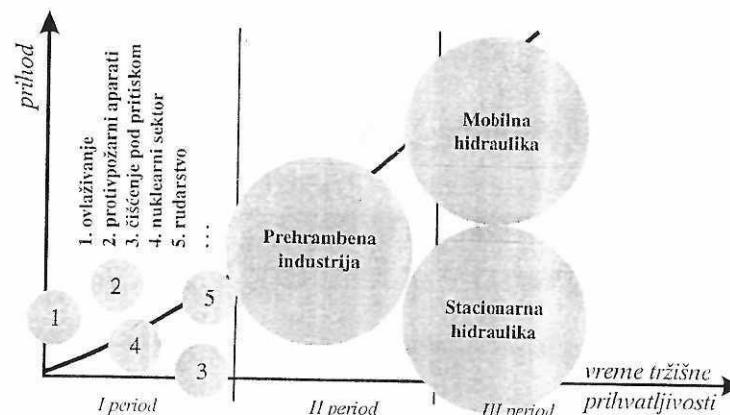
Razvoj komponenata vodne hidraulike omogućava formiranje sve sofisticiranijih sistema vodne hidraulike, pa sve veći broj proizvodnih i uslužnih sektora pokazuje interesovanje za primenu ove nove tehnologije. Vodna hidraulika danas polako pronalazi primenu u više različitih i posebnih oblasti i uređaja: prehrambenoj industriji, farmaceutskoj industriji, nuklearnoj tehnici, proizvodnji papira, šumarskoj industriji, rудarstvu, preradi metala, ekološkim vozilima za odnošenje đubreta, mašinama za čišćenje, pomorstvu, opremi za spasavanje, obradi plastike, itd. [1]-[4]



Slika 3. Elektrohidraulične komponente vodne hidraulike  
a) proporcionalni ventil [6], b) prototip servorazvodnika [5]

Trend korišćenja vodne hidraulike je prikazan na slici 4. Nakon prvog vremenskog perioda korišćenja vodne hidraulike, koji se približava kraju, očekuje se da prehrambena industrija bude najveći korisnik i to posebno srednje pritisnih komponenata [3]. Uporedno sa povećanom upotrebom u prehrambenoj industriji, treba očekivati i porast primene u mobilnom sektoru, koji će potpuno ekspanziju doživeti u bliskoj budućnosti, orijentaciono za 5-10 godina. Ovaj porast primene u trećem periodu se očekuje kao posledica povećane brige za životnom sredinom i razvoju sofisticiranih komponenata. Predviđanje eminentnih svetskih stručnjaka govore da će do 2010. godine visoko-pritisna hidraulika biti dominantan sistem prenosa snage u najvećem broju vozila. U trećem periodu očekuje se da značajno mesto na tržištu zauzmu i stacionarni industrijski sistemi vodne hidraulike.

Uporedno sa sve većom očekivanom primenom na tržištu, koja je sada još uvek mala, proizvođači očekuju da će cena izvođenja sistema vodne hidraulike padati, jer je današnja cena od 3-4 puta veća od uljno-hidrauličnih sistema sa mineralnim uljem.



Slika 4. Trend upotrebe vodne hidraulike

## 5.0 ZAKLJUČAK

Idealna alternativa korišćenju mineralnih ulja za prenos hidraulične energije je voda, jer: ne zahteva posebno smeštanje, tretman i praćenje, ne izaziva zagadljivanje okoline, nezapaljiva je, lako je dostupna i jeftina. Karakteristike vode se značajno razlikuju od karakteristika ulja, tako da se uspešan razvoj vodne hidraulike zasniva na korišćenju novih materijala i proizvodnih tehnika i pažljivom projektovanju komponenata. Proizvođači ulažu mnogo rada i istraživanja da stvore nove, bolje i konkurentnije komponente vodne hidraulike. Bez obzira na probleme sa kojima se suočavaju u svom radu, njihova očekivanja su da će svet vodne hidraulike igrati sve značajniju ulogu na svetskoj industrijskoj sceni, i da će, samim tim, budućnost ovog "novog" sistema prenosa snage biti svetla.

## LITERATURA

- [1] Bjarne Hilbrecht, **Water as Pressure Medium in Water Hydraulic Systems**, International Fluid Power Exhibition - IFPE 2000, Chicago, USA, 2000.
- [2] Mike Higgins, **Water hydraulics – the real world**, *Industrial Robot*, Volume: 23, Issue: 4, July 01, 1996.
- [3] Per Sørensen, **News and Trends by the Industrial Application of Water Hydraulics**, The Sixth Scandinavian Int. Conference on Fluid Power, SICFP'99, Finland., 1999.
- [4] Yun Zhuang Li, Zu Yu Yao, Xiao Feng He, Shu Dong Yang, **The Development and Perspective of Water Hydraulics**, Forth JHPS Int. Symposium, Tokyo, Japan, 1999.
- [5] Eizo Urata, Shimpei Miyakawa, Chishiro Yamashina, Yohichi Nakao, ..., **Development of a Water Hydraulic Servovalve**, JSME International Journal, Series B, Vol 41, No 2, 1998.
- [6] Finn Conrad, **Tap Water Hydraulic Machines and Tools**, Presented at Developments in Fluid Power Control of Machinery and Manipulators, Cracow, Poland, 2000.
- [7] Katalozi proizvodjača: Danfoss, Parker Hanifeld, Maximator, Fenner Fluid Power Ltd, Elwood Corporation

## "NOVI" ŽIVOT VODENE HIDRAULIKE

Dušan Gordić, Milun Babić, Dobrica Milovanović, Vanja Šušteršić\*

*Povećana briga zbog negativnog ekološkog uticaja različitih tipova ulja, koji se koriste kao radni fluidi u konvencionalnim hidrauličnim sistemima, naterala je industriju hidraulike da svoje razvojne planove okreće ka novim tehnologijama kojima bi se obezbedili čistiji izvori hidrauličnog prenosa snage. Zato se kao rešenje tog problema nameće upotreba obične vode, koja je ekološki čista, a sa druge strane i: nezapaljiva, jeftina, lako dostupna i pogodna za odlaganje.*

*Jedan od najinteresantnijih pravaca u razvoju industrije hidrauličnog prenosa snage u poslednjih desetak godina je oblast vodene hidraulike. Interesantno je da je voda u hidrauličnim sistemima korišćena pre upotrebe ulja, pa je njena upotreba istovremeno i isprobana i nova. Cilj rada je da se prikaže potencijal vodene hidraulike, kao alternativa tradicionalnim sistemima, i objasne prednosti i mane njene upotrebe. Pokazaće se i primjeri izvedenih hidrauličnih komponenata i sistema, pravci razvoja i očekivanja o mogućim aplikacijama u budućnosti.*

*Ključne reči:* voda, radni fluid, hidraulični sistemi, ekologija

### *"The New" Life of Water Hydraulics*

Increasing care due to negative ecological influence of different types of oils used in conventional hydraulic systems, forced hydraulic industry to route its developing plans toward new technologies that would provide healthier sources of hydraulic power transfer. In order to solve this problem, usage of tap water is imposed because it is environmentally friendly, and besides, it is nonflammable, inexpensive, readily available and easily disposable.

One of the most interesting trends in development in industry hydraulic power transfer in the last ten years is area of water hydraulic. It is interesting that water was used in hydraulic systems before oil, so its application is simultaneously proved and new. The purpose of this article is to show the potential of water hydraulics as alternative of traditional oil hydraulics and to explain advantages and disadvantages of its application. The examples of hydraulic components and systems, trends and possible future applications will be shown too.

*Keywords:* water, working fluid, hydraulic systems, ecology

---

\* Dušan Gordić, Kragujevac, Mašinski fakultet Kragujevac, gordic@ptt.yu,  
Prof. Dr Milun Babić, Kragujevac, Mašinski fakultet Kragujevac, nastasija@ptt.yu,  
v.red. Prof. Dr Dobrica Milovanović, Kragujevac, Mašinski fakultet Kragujevac,  
dobrica@knez.uis.kg.ac.yu

Mr Vanja Šušteršić, Kragujevac, Mašinski fakultet Kragujevac, vanjas@knez.uis.kg.ac.yu,

## 1.0 UVOD

I pored velike konkurenčije postojećih sistema prenosa snage (mehaničkog, pneumatskog i, posebno, električnog) hidraulični sistemi imaju danas veliku primenu. Svetska industrija hidraulike pokušava da, novim idejama, različitim tehničkim rešenjima i inovacijama, umanji nedostatke i poveća prednosti u odnosu na ostale sisteme, da bi zadržala i ojačala pozicije na tržištu.

Jedna od najinteresantnijih oblasti u razvoju industrijske hidraulike u poslednjih nekoliko godina je vodena hidraulika. Ideja korišćenja vode u hidrauličnim sistemima nastale je, prvenstveno, usled razvijene ekološke svesti i pojačane brige zbog negativnog uticaja uljno-hidrauličnih sistema na okolinu, ali i zbog praktičnih koristi ovakvog načina prenosa hidraulične energije. Štaviše, mnogi inženjeri veruju da je vodena hidraulika jedna od najinteresantnijih i najperspektivnijih oblasti mašinske tehnike.

## 2.0 ISTORIJSKI RAZVOJ

Posebno je interesantno za istraživače, proizvođače i korisnike, da je vodena hidraulika istovremeno i dobro poznata i nova. Od 1795. godine, kada je Joseph Brahm patentirao hidrauličnu presu, što se može uzeti kao vreme početka moderne primenjene hidraulike, pa narednih više od 100 godina, svi hidraulični sistemi su koristili vodu kao radni fluid. Početkom XX veka, predstavljanje mineralnih ulja kao radnih fluida sa boljim mazivim karakteristikama i razvoj novih materijala i proizvodnih procesa, su uslovili da uljna hidraulika postane široko prihvaćena i sve do današnjih dana bude ključni deo mnogih inženjerskih aktivnosti i proizvoda. I pored toga, upotrebu sistema sa mineralnim uljem, kao radnim fluidom, prati nekoliko ozbiljnih problema: sklonost radnog fluida ka samozapaljenju i potencijalna eksplozivnost, problemi sa zagađivanjem okruženja i proizvoda usled isticanja ili prosipanja radnog fluida, relativno visoki troškovi nabavke i odlaganja.

Da bi se neke od ovih mana uljne hidraulike eliminisale, u poslednje tri decenije se javlja sve veći interes za upotrebot alternativnih radnih fluida, kao što su različite sintetičke tečnosti (teško zapaljive tečnosti sa vodom - HFA, HFB i HFC, i teško zapaljive tečnosti bez vode - HFD). Prevashodni im je zadatak da smanje opasnost od požara i eksplozija, pa je njihova upotreba danas najveća u metaloprerađivačkoj industriji i rудarstvu. Ograničenja u upotrebi leže u činjenici da, u ovim industrijama, fluidi nisu kompatibilni sa proizvodima i okruženjem, a i cena pojedinih je prilična.

U pojedinim hidrauličnim sistemima, kod kojih je neophodno obezbediti radni fluid sa minimalnim štetnim uticajem na okruženje (na primer hidraulični sistemi u poljoprivredi i šumarstvu), pažnja je usmeravana ka prirodnim i sintetičkim estrima, uključujući bio-ulja dobijena od povrća i uljane repice. Bio-ulja, čiji početak primene u hidrauličnim sistemima datira od osamdesetih godina XX. veka, imaju loše temperaturne performanse i sumnjivu otpornost ka oksidaciji. Doduše, moguće je osigurati navedene karakteristike dodavanjem aditiva, ali uz cenu koja je od 4 do 8 puta veća od cene mineralnih ulja. Uz to, postoje i mnoge oblasti primene, gde bi curenje i prosipanje, čak i ovih "čistih" fluida, izazvalo velike brige (prehrambena, farmaceutska industrija).

Pošto nijedna od pobrojanih alternativa nije u mogućnosti da potpuno eliminiše pobrojane nedostatke mineralnih ulja, nameće se potreba za traženjem novih. Logičnim rezonovanjem se može zaključiti da bi idealan fluid bila voda i to u različitim oblicima: tehnička, za piće, slatka, morska, itd., jer: voda je jeftina, voda je lako dostupna, voda ne zahteva poseban tretman, voda ne iziskuje troškove za odlaganje, voda je ekološki potpuno čista, vode je nezapaljiva.

Bez obzira što, u poređenju sa ostalim tipovima radnih fluida, voda ima nesumnjive prednosti, dugo se mislilo, da upotreba vode u hidrauličnim sistemima neće biti praktično

## "Novi" život vodene hidraulike

moguća, zbog praktičnih problema koji se javljaju pri upotrebi vode. Međutim, januara 1994. godine, nakon petogodišnjeg multimilionskog istraživačko-razvojnog projekta, renomirani svetski proizvođač hidrauličnih komponenata i sistema Danfoss je javno demonstrirao svoj Nessie™ program vodene hidraulike. Ubrzo zatim i drugi proizvođači (Parker Hanifeld, Maximator, Fenner Fluid Power Ltd, Walter Voss, Hauhinco GmbH, Elwood Corporation, Hytar Oy Water Hydraulics, Heinzel, Ebara Research Co. Ltd., itd.) kreću istim stopama, pa se može reći da kraj XX i početak XXI veka, predstavljaju početak novog života vodene hidraulike.

### 3.0 SPECIFIČNOSTI VODENE HIDRAULIKE

Fizičko-hemijske karakteristike vode se značajno razlikuju od karakteristika mineralnog ulja i ostalih hidrauličnih fluida. Neke od tih karakteristika prikazane su u tabeli 1. Zatamnjena polja u tabeli prikazuju karakteristike koje vodi daju izrazitu prednost u odnosu na ostale radne fluide, a posebno na mineralna ulja.

Prelazak na vodu, kao radni fluid u hidrauličnim sistemima, se ne može izvesti koristeći nepromjenjene uljno-hidraulične komponente. Štaviše, modifikacija uljnih hidrauličnih komponenata za upotrebu u vodenoj hidraulici neće biti dovoljna. Komponente i sistemi vodene hidraulike zahtevaju posebno projektovanje, kako bi se ispunili njihovi specifični zahtevi. Nekoliko posebnih tehničkih problema, koje bi trebalo rešiti u razvoju i projektovanju vodene hidraulike su prikazani u daljem delu teksta.

Fizička veličina koja se najznačajnije razlikuje kod vode i ulja je viskoznost. Najveća prednost niske viskoznosti vode je smanjenje gubitaka usled trenja u hidrauličnim sistemima, što vodi ka energetski efikasnijim sistemima. Energetski gubici u cevovodima i crevovodima sa vodom kao radnim fluidom, su u poređenju sa uljem manji za više od 50 %, pa se za isti pad pritiska u sistemu prečnici hidrauličnih vodova mogu smanjiti za 13 %. Istovremeno je i manja zavisnost viskoznosti od temperaturnih promena, pa su sistemi vodene hidraulike stabilniji u širem temperaturnom opsegu. Međutim niža vrednost viskoznosti povećava curenje u sistemima vodene hidraulike, što zahteva konstrukciju komponenata sa nižim tolerancijama izrade. Ako želi da ostvari isti protok kao kod komponente uljne hidraulike, konstruktor komponente vodene hidraulike mora da smanji tolerancije za otprilike 70 %. Niske vrednosti viskoznosti su povezane i sa lošim podmazivanjem kontaktnih površina komponenata vodene hidraulike, što zajedno sa smanjenim tolerancijama stvara probleme sa erozijom i habanjem. Da bi se prevazišli problemi sa erozijom proizvođači koriste nove keramičke materijale (aluminijum okside i cirkone) (Hauhinco) i samo-podmazujuće polimere (Danfoss).

Voda je vrlo agresivan fluid uzimajući u obzir njeno korozivno dejstvo. To se posebno odnosi na sisteme vodene hidraulike, koji koriste morsku vodu kao radni fluid. Da bi se eliminisali problemi sa korozijom, neophodna je upotreba nerdjajućih metala (nerdjajući čelik, bakar i njegove legure, posebno obrađeni aluminijum), keramike i različitih plastičnih i sintetičkih materijala, otpornih na koroziju i habanje.

Znatno viši pritisak isparavanja vode u odnosu na pritisak isparavanja mineralnog ulja predstavlja još jedan značajan problem sa kojim konstruktori komponenata i sistema vodene hidraulike moraju da se pozabave. Pritisak isparavanja vode na sobnoj temperaturi je oko  $10^7$  puta veći od pritiska isparavanja ulja, a značajno se povećava sa porastom temperature. To uslovjava da su komponente vodene hidraulike (pumpe, ventilii, hidromotori) podložne kavitaciji. Da bi se minimizirali efekti kavitacije u komponentama vodene hidraulike, treba pri projektovanju voditi računa o: pravilnom izboru ulaznog pritiska u pumpi, kontroli maksimalne temperature i protoka, povećanju izlaznog pritiska u ventilima i modifikaciji geometrije ventila. Za izradu kritičnih komponenta treba koristiti materijale sa visokom otpornošću na kavitacijsku eroziju.

Modul stišljivosti vode je oko 50% veći od modula stišljivosti mineralnog ulja. Manja stišljivost vode od ulja, uslovljava da je voda kruća i osetljivija na fluktoacije pritiska, što je čini idealnim fluidom za visoko pritisne hidraulične sisteme. Međutim, zbog većih vrednosti modula stišljivosti, hidraulični udar može da se javi pri naglom zaustavljanju strujanja radnog fluida. Zato se pri projektovanju sistema vodene hidraulike mora voditi računa o načinu aktiviranja ventila, zaustavljanju i pokretanju hidrocilindara i razmisliti o obaveznoj upotrebi hidroakumulatora.

<i>Fizička veličina / karakteristika</i>	<i>Vrsta radne tečnosti</i>					
	<i>Mineralno ulje HLP</i>	<i>HFA</i>	<i>HFC</i>	<i>HFD</i>	<i>Bio-ulje (uljana repica) HTG</i>	<i>Voda</i>
<i>Kinematska viskoznost na 50 °C [mm<sup>2</sup>/s]</i>	15-70	č1	20-70	15-70	32-46	0,55
<i>Gustina na 15 °C [kg/m<sup>3</sup>]</i>	870-900	č1000	č1050	č1050	930	1000
<i>Pritisak isparavanja na 50 °C [bar]</i>	10 <sup>-8</sup>	0,1	0,1-0,15	<10 <sup>-5</sup>	nepoznat	0,12
<i>Modul stišljivosti [10<sup>9</sup>.Pa]</i>	1-1,6	2,5	3,5	2,3-2,8	1,85	2,4
<i>Termička provodljivost na 20 °C [W/m·K]</i>	0,11-0,14	0,598	č0,3	č0,13	0,15-0,18	0,598
<i>Specifična toplota na 20 °C [J/kg·K]</i>	1890	-	-	-	-	4180
<i>Radni temperaturni opseg [°C]</i>	č 20-90	5-55	č 30 –65	0-150	č 20-80	č 3-50
<i>Temperatura samozapaljenja [°C]</i>	320-360	-	-	505	350-500	-
<i>Korozivna zaštita</i>	dobra	dovoljna	dobra	dobra	vrlo dobra	loša
<i>Zagadjivanje životne sredine</i>	veliko	veliko	veliko	veliko	malo	nema
<i>Relativna cena u odnosu na mineralna ulja [%]</i>	100	10-15	150-200	200-400	150-300	č 0,02

**Tabela 1.** Uporedne karakteristike vode (obične) i ostalih hidrauličnih fluida

#### 4.0 IZVEDENE KOMPONENTE I SISTEMI I TREND DALJEG RAZVOJA

Nov i specifičan pristup projektovanju, upotreba kombinacije novih materijala, upotreba novih procesa površinske obrade i drugih proizvodnih procesa su uslovili pojavu na tržištu kompletne familije hidrauličnih komponenata sa čistom vodom kao radnim fluidom. Na tržištu se mogu naći: pumpe i hidromotori (aksijalno-klipnog i krilnog tipa), hidrocilindri, nepovratni ventilii, protočni ventilii, razvodni ventilii, pritisni ventilii, pomoćne komponente i agregati, pa i elektrohidraulični proporcionalni ventilii, dok istraživanja na razvoju servovazvodnika intenzivno traju.

"Novi" život vodene hidraulike

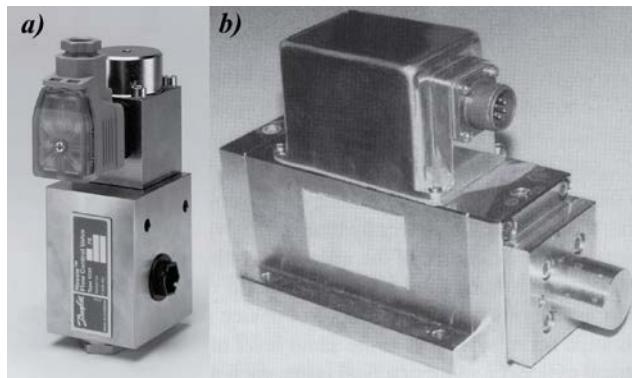


**Slika 1.** Ispitni sto komponenata vodene hidraulike [7]



**Slika 2.** Familija komponenata vodene hidraulike proizvođača Danfoss [7]

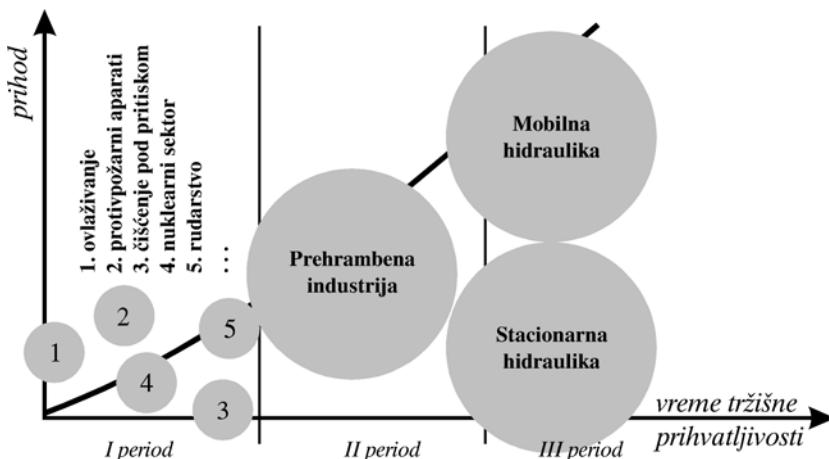
Razvoj komponenta vodene hidraulike omogućava formiranje sve sofisticiranih sistema vodene hidraulike, pa sve veći broj proizvodnih i uslužnih sektora pokazuje interesovanje za primenu ove nove tehnologije. Vodena hidraulika danas polako pronalazi primenu u više različitim i posebnim oblastima i uređajima: prehrambenoj industriji, farmaceutskoj industriji, nuklearnoj tehnici, proizvodnji papira, šumarskoj industriji, rудarstvu, preradi metala, ekološkim vozilima za odnošenje đubreta, mašinama za čišćenje, pomorstvu, opremi za spasavanje, obradi plastike, itd. [1]-[4]



**Slika 3.** Elektrohidraulične komponente vodene hidraulike  
a) proporcionalni ventil [6], b) prototip servorazvodnika [5]

Trend korišćenja vodene hidraulike je prikazan na slici 4. nakon prvog vremenskog perioda korišćenja vodene hidraulike, koji se približava kraju, očekuje se da prehrambena industrijija bude najveći korisnik i to posebno srednje pritisnih komponenata [3]. Uporedno sa povećanom upotrebljom u prehrambenoj industriji, treba očekivati i porast primene u mobilnom sektoru, koji će potpunu ekspanziju doživeti u bliskoj budućnosti, orientaciono za 5-10 godina. Ovaj porast primene u trećem periodu se očekuje kao posledica povećane brige za životnom sredinom i razvoja sofisticiranih komponenata. Predviđanja eminentnih svetskih stručnjaka govore da će do 2010. godine visoko-pritisna hidraulika biti dominantan sistem prenosa snage u najvećem broju vozila. U trećem periodu očekuje se i značajno mesto stacionarnih industrijskih sistema vodene hidraulike.

Uporedno sa sve većom očekivanom primenom na tržištu, koja je sada još uvek mala (tabela 1), proizvođači očekuju da će cena izvođenja sistema vodene hidrauličke padati, jer je današnja cena od 3-4 puta veća od uljno-hidrauličnih sistema.



Slika 4. Trend upotrebe vodene hidrauličke

## 5.0 ZAKLJUČAK

Idealna alternativa korišćenju mineralnih ulja za prenos hidraulične energije je voda, jer: ne zahteva posebno smeštanje, tretman i praćenje, ne izaziva zagadivanje okoline, je nezapaljiva, je lako dostupna i jeftina. Karakteristike vode se značajno razlikuju od karakteristika ulja, tako da se uspešan razvoj vodene hidrauličke zasniva na korišćenju novih materijala i proizvodnih tehnika i pažljivom projektovanju komponenata. Proizvođači ulažu mnogo rada i istraživanja da stvore nove, bolje i konkurentnije komponente vodene hidrauličke. Bez obzira na probleme sa kojima se suočavaju u svom radu, njihova očekivanja su da će svet vodene hidrauličke igrati sve značajniju ulogu na svetskoj industrijskoj sceni, i da će samim tim budućnost ovog "novog" sistema prenosa snage biti svetla.

## LITERATURA

- [1] Bjarne Hilbrecht, **Water as Pressure Medium in Water Hydraulic Systems**, International Fluid Power Exhibition - IFPE 2000, Chicago, USA, 2000.
- [2] Mike Higgins, **Water hydraulics – the real world**, *Industrial Robot*, Volume: 23, Issue: 4, July 01, 1996,
- [3] Per Sørensen, **News and Trends by the Industrial Application of Water Hydraulics**, The Sixth Scandinavian Int. Conference on Fluid Power, SICFP'99, , Finland., 1999.
- [4] Yun Zhuang Li, Zu Yu Yao, Xiao Feng He, Shu Dong Yang, **The Development and Perspective of Water Hydraulics**, Forth JHPS Int. Symposium, Tokyo, Japan, 1999.
- [5] Eizo Urata, Shimpei Miyakawa, Chishiro Yamashina, Yohichi Nakao, ... **Development of a Water Hydraulic Servovalve**, JSME International Journal, Series B, Vol 41, No 2, 1998.
- [6] Finn Conrad, **Tap Water Hydraulic Machines and Tools**, Presented at Developments in Fluid Power Control of Machinery and Manipulators, Cracow, Poland, 2000.
- [7] **Katalozi proizvodjača** Danfoss, Parker Hanifeld, Maximator, Fenner Fluid Power Ltd, Elwood Corporation