



Voda kot hidravlična tekočina v pogonsko - krmilni hidravliki – 1. del

Franc MAJDIČ, Jože PEZDIRNIK, Mitjan KALIN

Izveček: Zaradi manjših zalog in naraščajočih cen naftnih derivatov ter povečanega onesnaževanja okolja človeštvo išče in vedno bolj uporablja alternativne vire kot nadomestek fosilnih surovin. Mineralno olje je danes zaradi visoke viskoznosti in odličnih mazalnih lastnosti najpogosteje uporabljena hidravlična tekočina, hkrati pa je sestavljena iz pretežno fosilnih surovin z vsemi zgoraj omenjenimi slabostmi. Na področju hidravlične tekočine se razvijata dve ločeni alternativni za mineralno hidravlično olje. Prva je razvoj in uvajanje biološko razgradljivega rastlinskega hidravličnega olja. To smer je pretežno ubralo nemško tržišče. Druga alternativa za zamenjavo mineralnega olja pa je "čista" voda. Na tem področju so najbolj aktivni v skandinavskih državah.

Ker je uporaba vode v hidravliki v Sloveniji dokaj nepoznano področje, želimo v dveh prispevkih predstaviti možnost uporabe vode kot hidravlične tekočine v pogonsko-krmilni hidravliki (PKH). V tem delu se bomo osredotočili na razlike v fizikalnih lastnostih med vodo in najbolj uporabljano hidravlično tekočino doslej – mineralnim hidravličnim oljem. Preden se lotimo razvoja oziroma uporabe sestavin vodne pogonsko-krmilne hidravlike, je seveda potrebno dodobra poznati lastnosti vode, ki so bistveno drugačne od mineralnega olja in vplivajo na delovanje in lastnosti hidravličnih sestavin. V tem članku predstavljamo tudi nekatere izmed najpomembnejših prednosti in slabosti vodne hidravlike.

Ključne besede: voda iz pipe, hidravlično olje, pogonsko-krmilna hidravlika, fizikalne lastnosti olja, fizikalne lastnosti vode,

■ 1 Uvod

Kot je bilo že omenjeno v povzetku, se bomo v prvem delu osredotočili predvsem na lastnosti vode kot hidravlične tekočine. V drugem delu prispevka pa bomo predstavili stanje razvoja sestavin vodne pogonsko-krmilne hidravlike.

Nova odkritja na področju tribologije, materialov in tekočin ter povečana zavest o ohranitvi naravnega okolja nas vzpodbujajo k raziskavam glede uporabe vode kot hidravlične tekočine v pogonsko-krmilni hidravliki [1]. Namen raziskav je vpeljati vodo brez dodatkov, voda iz pipe, v hidravlične naprave. V

nadaljevanju bomo večkrat namesto voda uporabili poimenovanje voda iz pipe, da jasno povemo, da je to navadna pitna voda brez kakršnih koli dodatkov.

Dolgoročni cilj naših raziskav bo uporaba vode kot hidravlične tekočine v hidravličnih napravah, ne da bi pri tem zmanjšali funkcijo hidravličnih sestavin oziroma naprav.

Vodo je uporabil že Joseph Bramah za hidravlično tekočino pri prvi patentirani hidravlični napravi – stikalnici – l. 1795 [1].

Čeprav obstaja že precej izdelovalcev hidravličnih sestavin, ki lahko uporabljajo vodo kot hidravlično tekočino, pa je v svetu le peščica strokovnjakov, ki dobro pozna prednosti in slabosti uporabe vode [1].

Če želimo doseči zastavljeni cilj, je potrebno upoštevati prednosti čiste vode iz pipe nasproti mineralnemu

olju. V ta namen bo potrebno raziskati vse vplive vode na delovanje hidravličnih sestavin in hidravličnih naprav.

■ 2 Primerjava osnovnih lastnosti mineralnega olja in vode

2.1 Osnovne lastnosti mineralnega hidravličnega olja

Zakaj je mineralno hidravlično olje pravzaprav že desetletja najbolj uporabljena hidravlična tekočina? Odgovorov na to vprašanje je več [3]:

- Mineralno olje je dostopno na tržišču v širokem spektru različnih viskoznosti. Končni potrošnik ima na razpolago veliko izbiri za osamezno hidravlično napravo oziroma posamezno področje uporabe.
- Lastnosti mineralnega olja lahko izboljšamo z ustreznimi dodatki (aditivi).

Franc Majdič, univ. dipl. inž., doc. dr. Jože Pezdirnik, univ. dipl. inž., izr. prof. dr. Mitjan Kalin, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

- Mineralno olje je kemično neškodljivo oziroma združljivo s številnimi splošno uporabljanimi materiali in industrijskimi tekočinami.
- Mineralno olje ne povzroča korozije.
- Mineralno olje ima dobre mazalne lastnosti.
- Mineralno olje se lahko uporablja za mazanje drugih industrijskih elementov, na primer za mazanje ležajev in zobnikov (racionalizacija maziv).
- Mineralnemu hidravličnemu olju je razmeroma enostavno vzdrževati njegove lastnosti skozi daljša obratovalna obdobja.

Statistično gledano se v hidravličnih napravah v 85 odstotkih uporablja mineralno hidravlično olje in v 15 odstotkih ostale hidravlične tekočine (predvsem sintetična olja in vodne emulzije), medtem ko je do sedaj uporaba vode iz pipe kot hidravlične tekočine skoraj nična [1, 4].

2.2 Osnovne lastnosti vode

Čeprav je "čista" voda prisotna skoraj vsepovsod na zemeljski obli, je njena kvaliteta odvisna od geografske lokacije. Na splošno se voda črpa iz izvrtin, vodnjakov, jezer in rek. V nadaljevanju mora voda za primernost najpogostejše uporabe skozi obsežen postopek. Pogosto se za zagotovitev pitne vode uporablja kloriranje za uničevanje bakterij in drugih mikroorganizmov. Velik napredek v smeri izboljšanja kvalitete pitne vode je bil storjen s sprejetim evropskim standardom leta 1980 (European Union Direction 80/778/EEC). V teh direktivah so zapisane dopustne vrednosti nezaželenih sestavin za pitno vodo (mikrobiološke zahteve za pitno vodo, ...).

Nekaj zahtev iz evropskih direktiv za pitno vodo, ki so pomembne, da bi vodo lahko uporabljali kot hidravlično tekočino (da zagotovi funkcijo v hidravlični napravi), lahko povzamemo v naslednjih točkah (od 2.2.1 do 2.2.3):

2.2.1 Koncentracija vodikovih ionov

Koncentracija vodikovih ionov se izraža kot **pH**-vrednost vode. Direktive EU definirajo pH med 6,5 in 8,5; kar je v splošnem uporabno tudi za hidravlične sestavine [1 – »Nessie sestavine«]. Nižje pH-vrednosti povzročajo korozijo.

2.2.2 Vsebnost kloridnih ionov

Direktive EU predpisujejo maksimalno vsebnost kloridnih ionov (Cl⁻): 25 mg/l. Praktično pa je ta vsebnost večja. Pri vsebnosti 200 mg/l lahko pride do korozijskih razpok tudi na nerjavnem jeklu. Prosti klor (Cl₂) ne sme biti prisoten v pitni vodi. Tudi ta povečuje možnost korozije.

2.2.3 Trdota vode

Trdota vode se podaja s podatkom o vsebnosti magnezija (Mg) in kalcija (Ca). Direktive EU ne podajajo maksimalne dopustne vrednosti. Po izkušnjah raziskovalcev blagovne znamke Nessie [1] je za vodno hidravliko primerna trdota vode med 5 in 10°d (°d je enota trdoto vode v nemških stopinjah). Višja trdota povečuje možnost nastajanja apnenih oblog in eventualno grudastih tvorb, ki potujejo po tokovodnikih in skozi sestavine hidravlične naprave. Apnenec se elektrolitično nalaga na katodne površine in na površine z višjo temperaturo od 50 do 60 °C. Takrat, ko je pretok skozi sestavine hidravlične naprave zadosten, se apnenec izloči in transportira z vodo v filter. Če ima voda preveliko vsebnost apnenca, se mora ta izločiti iz nje z ogljikovim oksidom.

2.2.4 Korozija

Pri uporabi pitne vode kot hidravlične tekočine lahko kontroliramo korozijo s pravilno izbiro materialov (ki so v kontaktu s hidravlično tekočino) in z vzdrževanjem kvalitete vode. Najprimernejši so naslednji materiali: *nerjavno jeklo, bron, medenina, polimeri, keramika, ...*[1]. V nekaterih primerih lahko uporablja-

mo navadno jeklo z različnimi prevlekami, kromirana jekla, ...

Pomembno je vedeti, da je voda električno prevodna in lahko deluje kot elektrolit, kadar so prisotne nečistoče (kot so npr. detergenti) ali izbrani določeni dodatki (»aditivi«) [1]. V takih primerih pride do povečanja elektrolitične korozije. Zato morajo materiali, ki se uporabljajo v kombinaciji z vodo kot hidravlično tekočino, ustrezati elektrokemičnim lastnostim. Iz tega razloga se ne smeta uporabljati aluminij in cink, medtem ko so primerne bakrove zlitine in nikelj-kromovo jeklo.

2.2.5 Bakterije v vodi

Bakterije v vodi, uporabljeni za hidravlično tekočino, pogosto povzročajo probleme [1]. Tipične rastlinske bakterije, gobe, prsti in drugi mikroorganizmi povzročajo prepojenost filtra (pogoste menjave filtrskih vložkov) in smrad. V hidravličnih napravah, ki uporabljajo vodo kot hidravlično tekočino, se količina bakterij in gob povečuje in škodljivo vpliva nanje (na hidravlične naprave) na dva načina:

- bakterije in gobe lahko onesnažujejo okolje preko zunanega puščanja hidravlične tekočine,
- bioprevleke, ki se s časom naberejo na notranjih stenah hidravličnih sestavin, se lahko povečujejo in v nadaljevanju povzročajo korozijo.

2.2.6 Mikroorganizmi

Mikroorganizmi so v veliki večini vodnih zajetij. Da ti mikroorganizmi v vodi preživijo in se razvijajo, so potrebni posebni pogoji. Eden od teh je prisotnost **hranljivih snovi** (soli, beljakovine, ...) v vodi. Drugi pogoj za obstanek in razvoj mikroorganizmov je ustrezna **temperatura vode**, to je med 5 in 60 °C. Ker je za hidravlično tekočino najbolj smiselno uporabljati vodo iz vodnega omrežja in se pri tem izogibati čim več nepotrebnim dodatkom (protibakterijskim in drugim), je potrebno paziti na čistočo "sveže nalite" vode.



Za zagotovitev primerne nivoja higijene pri vzdrževanju hidravličnih naprav z vodo kot hidravlično tekočino je potrebno biti pozoren na več dejavnikov:

- Zračni filter na rezervoarju naj bi imel imensko vrednost filtriranja vsaj 3 μm (absolutna stopnja filtriranja – β -vrednost).
- Pokrov rezervoarja mora popolnoma tesniti.
- Ponovno polnjenje z vodo mora biti izvedeno preko ustreznega filtra.
- Hitre spojke morajo biti popolnoma čiste.
- Izogibati se je potrebno vstopanju drugih materialov v vodo (kot hidravlično tekočino).

Direktive EU priporočajo vsebnost bakterij pri 37 °C → 10 bakterij/ml, pri 22 °C pa 100 bakterij/ml pitne vode. Omejitve o največji količini vsebovanih bakterij direktive EU ne navajajo. V katerem koli odprtem oz. zaprtem vodovodnem sistemu, odvisno od temperature, pride do vstopa mikroorganizmov in hranilnih snovi od zunaj. Pri takih pogojih se razvijajo novi mikroorganizmi. Zaenkrat še ni pravil oz. omejitev o vsebnosti mikroorganizmov. Dosedanje izkušnje razvoja na področju »vodne hidravlike« kažejo, da se razvoj mikroorganizmov ustali na nivoju, kjer še ni ogrožena funkcija hidravlične naprave [1]. V primeru vzdrževanja ustreznega nivoja higijene (vdor organskih nečistoč v sistem) v hidravličnih napravah niso našli sledi nobene škodljive bakterije. Odvisno od želenega/potrebne nivoja higijene, je včasih potrebno izprati hidravlično napravo s čistilom in nato ponovno napolniti sistem z vodo iz omrežja.

3 Primerjava nekaterih fizikalnih lastnosti obeh hidravličnih tekočin

V nadaljevanju bomo prikazali izstopajoče lastnosti vode kot hidravlične tekočine v primerjavi z mineralnim hidravličnim oljem, ki se najpogosteje uporablja.

3.1 Gostota

Specifična gostota je odvisna od tlaka in temperature (slika 1) in je za mineralno olje prikazana na sliki 1a, za vodo pa na sliki 1b.

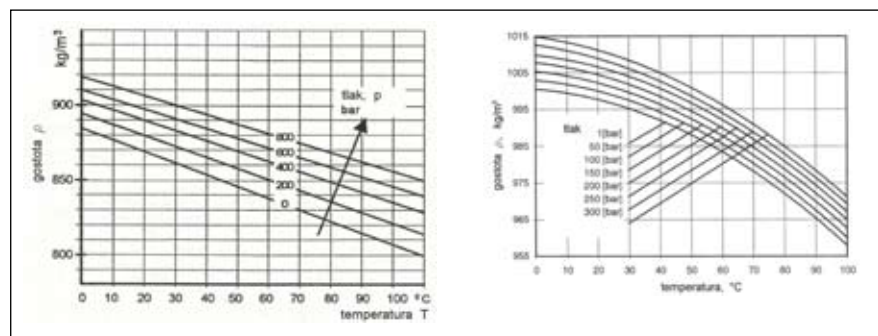
Pri vodi se gostota med 0 in 50 °C zmanjša za 1,2 %, medtem ko se pri mineralnem olju v istem temperaturnem območju zmanjša za 4,7 %.

3.2 Modul stisljivosti

Modul stisljivosti je pomemben parameter, ki določa, za koliko se posamezna tekočina stisne pri dolo-

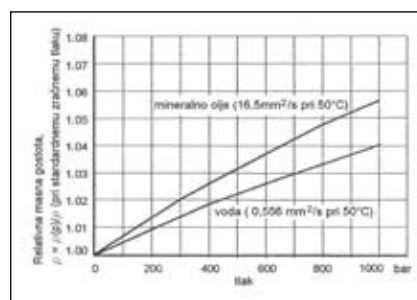
Izotermni modul stisljivosti βT je za mineralno hidravlično olje v območju (1,33 ... 1,54) • 10⁴ bar, za vodo pa je konstanten: 2,1 • 10⁴ bar [1].

Povprečni izotermni modul stisljivosti za mineralno olje je 1,43 • 10⁴ bar, modul stisljivosti za vodo pa je 2,1 • 10⁴ bar. Če pogledamo razmerje teh dveh modulov stisljivosti pri enakih spremembah tlakov in volumnov, ugotovimo, da je stisljivost pri mineralnem olju za 46 % večja. Ta podatek je zelo pomemben, saj nam to govori o bistveno slabšem dušenju hidravličnih udarov pri vodi



Slika 1. Gostota kot funkcija temperature (T) in tlaka (p) [1, 4] za a) mineralno olje in b) za vodo

čenem tlaku in temperaturi. Modul stisljivosti v PKH pomembno vpliva na blaženje tlačnega nihanja pri hidravličnih udarih. Manjši kot je modul stisljivosti, bolj se tekočina stiska in bolj se dušijo tlačna valovanja.



Slika 2. Relativna gostota $\rho(p) / \rho$ (pri standardnem zračnem tlaku 1013,25 mbar [1]) kot funkcija tlaka p

Pri počasnih "dinamičnih" spremembah upoštevamo izotermni modul stisljivosti; v hidravliki za počasne spremembe splošno štejemo spremembe, ki trajajo dlje kot 3 minute [5].

kot pri olju. Na sliki 3 sta prikazana diagrama za izotermni modul stisljivosti za mineralno olje in vodo.

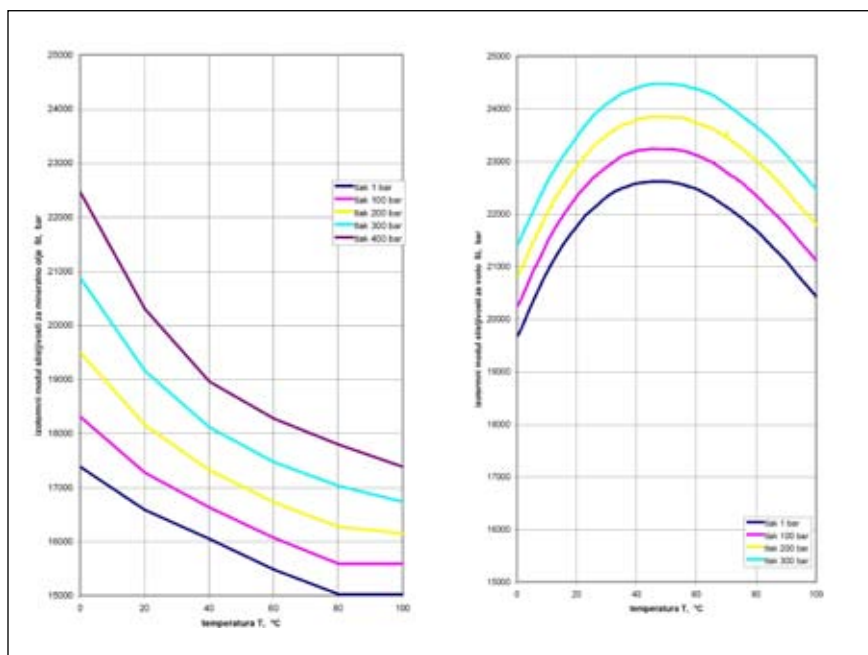
Pri hitrih "dinamičnih" spremembah upoštevamo adiabatni modul stisljivosti; v hidravliki za hitre spremembe splošno štejemo spremembe, ki trajajo manj kot 1 minuto [1].

Adiabatni modul stisljivosti βS je za mineralno hidravlično olje v območju (1,0 ... 1,6) • 10⁴ bar, za vodo (brez zračnih mehurčkov) pa je konstanten: 2,4 • 10⁴ bar [1].

Za inženirsko uporabo se normalno uporablja izentropni/adiabatni modul stisljivosti.

3.3 Zrak v hidravlični tekočini

Raztapljanje plinov v tekočinah običajno opišemo z uporabo Bunsenovega absorpcijskega koeficienta b. Ta koeficient je definiran kot volumen plina, merjen pri 0 °C in pri



a)

b)

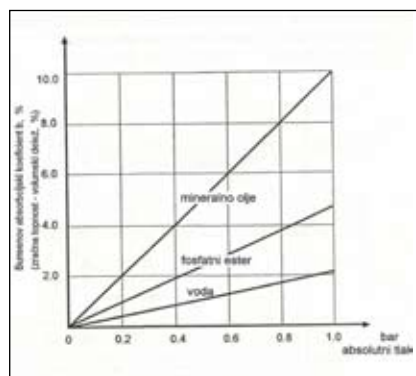
Slika 3. Izotermni modul stisljivosti (βT) a) za mineralno olje in b) za vodo [1, 2]

atmosferskem tlaku. Po Bunsenovem koeficientu je vsebnost zraka v mineralnem olju približno 10 %, v vodi pa 2 % (b je za mineralno olje približno 0,1, za vodo 0,02), kar je prikazano na *sliki 5*.

Količina raztopljenega zraka v hidravličnih tekočinah je pri konstantnih temperaturah in večjih tlakih (reda velikosti nad 200 bar) na enoto volumna konstantna. Vendar pa je vsebnost zraka v tekočini v obliki prostih mehurčkov ali raztopljenega zraka močno odvisna od tlaka. Namreč: nasičena tekočina z zrakom bo sproščala proste zračne mehurčke, ko tlak pade. To se zgodi npr. v sesalnih ceveh črpalke ali pri dušenju v ventilih. To sproščanje zračnih mehurčkov imenujemo **kavitacija**, ki lahko poslabša delovanje hidravlične naprave. Čeprav je pri mineralnem olju vsebnost zraka do petkrat večja kot pri vodi, je kavitacija pri vodi bistveno bolj intenzivna kot pri mineralnem olju. Vzrok za to je v tem, da več kot je zračnih mehurčkov v tekočini, bolj ti dušijo lokalne poraste tlaka zaradi večje stisljivosti tekočine in s tem pripomorejo k zmanjšanju kavitacijskih posledic na površinah znotraj hidravličnih sestavin [6]. Vsebnost zraka v hidravlični tekočini pa zelo malo vpliva na njene mehanske lastnosti.

3.4 Uparjalni tlak

V hidravličnih napravah je pomembno poznavanje uparjalnega tlaka hidravlične tekočine, saj je ta tesno povezan s kavitacijo znotraj hidravličnih sestavin. Uparjalni tlak posamezne hidravlične tekočine nam pove, kolikšen podtlak je dopusten za posamezno hidravlično tekočino, da ne pride do uparjanja. Pri uparjanju nastanejo zračni mehurčki, ki pripomorejo, da nastopi kavitacija. V hidravliki se izraz kavitacija uporablja za tvorjenje in razpok mehurčkov znotraj hidravlične tekočine. Mehurčki, ki se pojavijo v hidravlični tekočini, so zračni in parni. V okolici, kjer se ti mehurčki



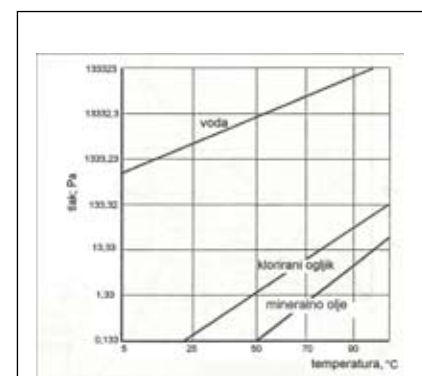
Slika 4. Prikaz vsebnosti zraka v nekaterih hidravličnih tekočinah kot funkcija absolutnega tlaka [1]

razpočijo (implozija), tlak na mikrolokacijah trenutno naraste. To povzroči poškodbo na okolišnih stenah znotraj hidravličnih sestavin (npr. elementi potnega ventila, črpalke, ...). Pravilno zasnovana hidravlična naprava znižuje vsebnost prostih zračnih mehurčkov. Število parnih mehurčkov se bo povečalo takrat, ko tlak pade pod tlak uparjanja uporabljene hidravlične tekočine (to je tlak, pri katerem se začne uparjanje tekočine). Uparjalni tlak je odvisen od temperature tekočine. Nižja, ko je temperatura, nižji je uparjalni tlak. To pomeni, da se tlak znatno zmanjša preden tekočina zavre. Na *sliki 5* je prikazan uparjalni tlak kot funkcija temperature za nekatere hidravlične tekočine. Kavitacija lahko postopno uniči funkcionalnost hidravlične naprave – močno zmanjša uporabno dobo hidravličnih sestavin.

3.5 Viskoznostno-temperaturna odvisnost

Temperaturna odvisnost kinematične viskoznosti je pri mineralnih oljih izrazita in je zato vedno potrebno izvesti ustrezne izračune in določiti primerno mineralno olje, ki bo zagotavljalo potrebno kinematično viskoznost pri določeni delovni temperaturi. V nasprotju s tem pa se pri nekaterih tekočinah, kot npr. pri vodi, viskoznost s spreminjanjem temperature znatno manj spreminja.

Ob predpostavki, da je gostota vode enaka 1000 kg/m³, smo po diagramu za dinamično viskoznost [1 – str.49] vode narisali graf kinema-



Slika 5. Parni tlak za nekatere hidravlične tekočine [1]

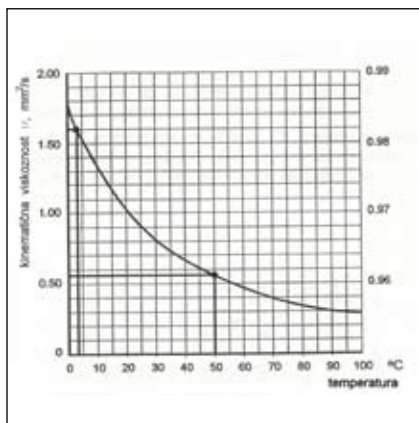


tične viskoznosti vode v odvisnosti od temperature (slika 6).

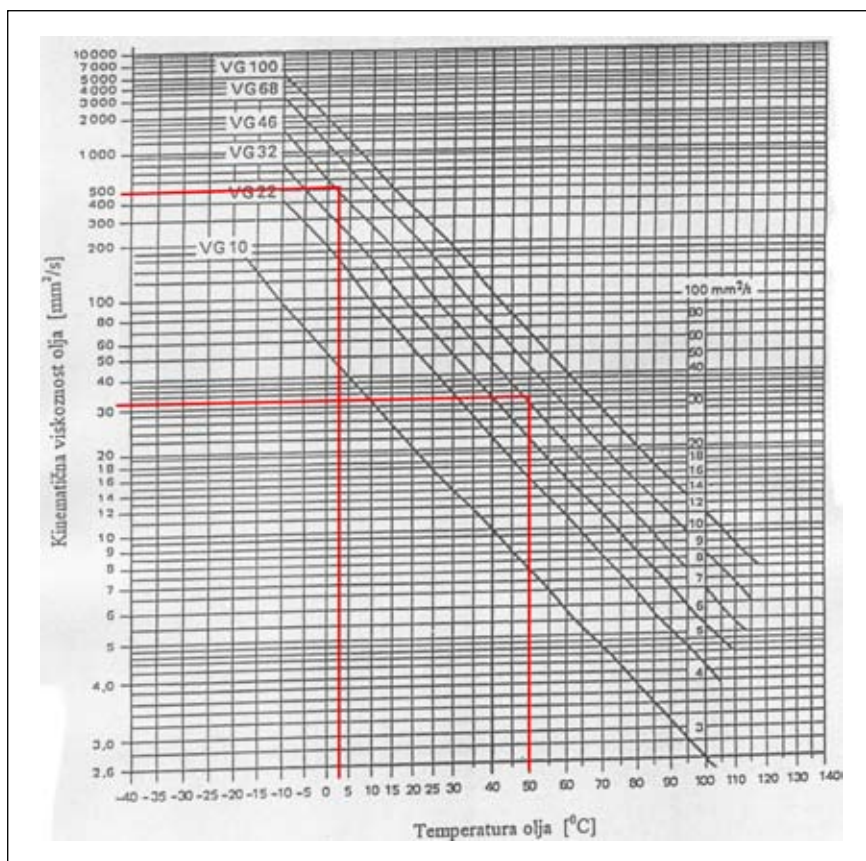
Po sliki 6 vidimo, da se kinematična viskoznost vode pri porastu temperature s 3 °C na 50 °C poveča za **3-krat**, medtem ko se pri najbolj uporabljanem mineralnem olju ISO VG 46 v istem temperaturnem območju poveča za **16-krat** (slika 7).

■ 4. Osnovne lastnosti vode v primerjavi z ostalimi tekočinami

Zaradi lažjega razumevanja lastnosti vode, to v nadaljevanju primerjamo z ostalimi hidravličnimi tekočinami. Na sliki 8 je prikazana voda v primerjavi z rastlinskim oljem, mineralnim oljem in vodnimi emulzijami glede



Slika 6. Kinematična viskoznost vode v odvisnosti od temperature pri zračnem tlaku [1]



Slika 7. Kinematična viskoznost mineralnega olja v odvisnosti od temperature pri zračnem tlaku

na vplive na naravo ter požarno varnost. Glede na omenjeni lastnosti hidravličnih tekočin je razvidna prednost uporabe vode pred ostalimi tekočinami.

Poleg mineralnega olja kot najbolj uporabljane hidra-

ps d.o.o.

vlične tekočine v prispevku primerjalno obravnavamo vodo kot eno od preostalih redkeje uporabljenih hidravličnih tekočin.

Preglednica 1 podaja nekatere lastnosti vode v primerjavi z ostalimi hidravličnimi tekočinami.

VPLIVI NA NARAVO ni vplivov	RASTLINSKO (BIO) OLJE		ČISTA VODA (iz pipe)
	MINERALNO OLJE		VODNO-OLJNA EMULZIJA: HFA, HFB in HFC
veliki vplivi	velika nevarnost		ni nevarnosti
POŽARNA NEVARNOST			

Slika 8. Osnovne prednosti uporabe čiste vode kot hidravlične tekočine [1]

Legenda:

HLP¹ Mineralno olje z izboljšanimi protikorozijskimi, protioksidacijskimi, temperaturno - viskozni in protiobrabi astnostmi.

HFA² Oljno-vodna emulzija (> 80 % vode). HFAE ... Oljno-vodna emulzija s protiobrabi dodatki. Lahko se spusti v kanalizacijo. HFAS ...Vodna emulzija. Manj agresivna za odpadno vodo kot HFAE. Uporabna npr. v rudnikih pre-moga, železarnah, ...

HFC³ Vodno - polimerna emulzija. Poliglikolna emulzija je v šestem viskozitnem razredu. Uporabno v livarnah, jeklarnah, steklarnah, vročih valjarnah, rudnikih, ...

HFD⁴ Te hidravlične tekočine ne vsebujejo vode. Zgradba: osnova je fosfatni ester (HFDR), kloridni in flouridni ogljik (HFDT) in druge organske sestavine (HFDU).

HTG⁵ Rastlinsko olje, kot npr. oljna repica. Razpoložljivih je le nekaj viskozitnih razredov.

Preglednica 1. Karakteristika vode v primerjavi z drugimi hidravličnimi tekočinami [1]

Hidravlična tekočina	Mineralno olje	Oljno-vodna emulzija	Vodno-polimerna emulzija	Ngorljiva tekočina – brez sebnosti vode	Rastlinsko olje (repično)	VODA
Lastnosti	HLP ¹	HFA ²	HFC ³	HFD ⁴	HTG ⁵	
Kinematična viskoznost pri 50 °C; mm ² /s	15–70	≈ 1	20–70	15–70	32–46	0,55
Gostota pri 15 °C, g/cm ³	0,87–0,9	≈ 1	≈ 1,05	≈ 1,05	0,93	1
Modul stisljivosti βs, N/m ²	1,0–1,6 • 10 ⁹	2,5 • 10 ⁹	3,5 • 10 ⁹	2,3–2,8 • 10 ⁹	1,6 • 10 ⁹	2,4 • 10⁹
Zvočna hitrost pri 20 °C, m/s	1300	?	?	?	?	1480
Toplotna prevodnost pri 20 °C, W/(m • °C)	0,14	0,598	≈ 0,3	≈ 0,13	0,15–0,18	0,598
Specifična toplota pri 20 °C in konst. tlaku, kJ/(kg • °C)	1,89	–	–	–	–	4,18
Uporabno temperaturno območje, °C	–20 → 90	5 → 50	–30 → 65	0 → 150	–20 → 80	≈ 3 → 50
Točka plamenišča °C	210	–	–	245	250–330	–
Točka vžiga °C	320–360	–	–	505	350–500	–
Korozijska zaščita	dobra	zadovoljiva	dobra	dobra	zelo dobra	slaba
Vplivi na naravo (onesnaževanje)	veliki	veliki	veliki	veliki	majhni	brez
Relativna cena za hidravlično tekočino %	100	10–15	150–200	200–400	150–300	≈ 0,02
Trenutna uporaba hidravličnih tekočin %	85	4	6	2	3	≈ 0 (do sedaj)



■ 5 Zaključki

Glede na prikazane lastnosti vode smatramo, da je cilje raziskav možno doseči.

Temeljna razlika med omenjenima hidrauličnima tekočinama je v kinematični viskoznosti, ki je pri vodi približno 15- do 50-krat (odvisno od temperature in vrste mineralnega olja) manjša kot pri mineralnem hidrauličnem olju.

Konstrukcija sestavin vodne pogonsko-krmilne hidravlike bo morala upoštevati spremenjene lastnosti vode.

Literatura:

[1] E. Trostmann: WATER HYDRAULICS CONTROL TECHNOLOGY; Lyngby 1996, Technical University of Denmark; ISBN: 0-8247-9680-2.

[2] E. Trostmann, B. Frolund, B. H. Elesen, B. Hilbrecht: TAP WATER AS A HYDRAULIC PRESSURE MEDIUM, Marcel Dekker, New York, 2001.

[3] M. Radhakrishnan: HYDRAULICS FLUIDS, A Guide to Selection, Test Methods and Use; ASME Press, New York, 2003.

[4] Paul J. Heney: Water hydraulics: should you make the switch?, Hydraulics & Pneumatics,

julij 2005, str. 35; A Penton Publication, 2005.

[5] D. Findeisen, F. Findeisen: ÖL HYDRAULIK, ISBN 3-540-54465-8, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 1994.

[6] H. Uetz: ABRASION und EROSION; München, Wien 1986; Carl Hanser Verlag, München, Wien.

Water as hydraulics fluid in power-control hydraulics – Part 1

Abstract: Due to reduction of oil stores underground, its price and environment dirtiness increasing, mankind is searching for new and is widening the use of alternative sources as substitute of fossil primary materials. Nowadays mineral oil is the most widely used hydraulic fluid due to its high viscosity and excellent lubricating properties yet it is composed mostly of fossil primary materials with all previously mentioned disadvantages. On the field of hydraulic fluids two different alternatives for mineral oil are the most important in development process. The first one is development and introducing bio-degradable vegetable hydraulic oil. The German market goes mostly this way. The other substitute for mineral oil is tap water. The Scandinavian countries are the most active on this field.

As the use of water in power-control hydraulics is mostly unknown field, we want to present the possibilities to use the water as hydraulic fluid generally and especially in power-control hydraulics. This first part is focused on the differences in physical properties between water and mineral oil as the most used hydraulic fluid till nowadays. Before starting developing and using components of tap water power-control hydraulics it is necessary well getting to know the properties of water; they are essentially different from those of mineral oil and have a great influence on function and properties of hydraulic components. In this paper some most important advantages and disadvantages of tap water hydraulics are presented.

Keywords: tap water as hydraulics fluid, power-control hydraulics, physical properties of hydraulics fluids,