

VODA KOT MEDIJ V POGONSKO-KRMILNI HIDRAVLIKI

F. Majdič, J. Pezdirnik, M. Kalin
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana

Povzetek

Novi materiali, novi trendi, nove tehnologije, ekologija in še bi lahko naštevali. To so ključna izhodišča za ponovno oživljanje vodne pogonsko-krmilne hidravlike (PKH). 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, a je hkrati sestavljena iz pretežno fosilnih surovin, z vsemi zgoraj omenjenimi slabostmi. Prispevek prikazuje možnost uporabe vode kot hidravlične tekočine v pogonsko-krmilni hidravliki. Poznavanje osnovnih lastnosti vode in primerjava le teh z lastnostmi mineralnega olja je predpogoj za nadaljni razvoj in uporabo sestavin vodne PKH. Vodno PKH je v Sloveniji razmeroma novo področje. Iz tega razloga želimo v tem prispevku prikazati prednosti in slabosti vodne PKH v primerjavi s tradicionalno oljno PKH. Uporaba mineralnega hidravličnega olja je v 20. stoletju pripomogla k številnim tehničnim izboljšavam zaradi njegove visoke viskoznosti in dobrih mazalnih lastnosti. Pomembna slabost uporabe mineralnega olja je velik vpliv na onesnaževanje okolja.

Uporabljajoč razpoložljive sestavine vodne pogonsko-krmilne hidravlike je bilo sprojektiranih in izdelanih nekaj hidravličnih naprav. Nekaj tipičnih je prikazanih na kraju tega prispevka.

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

Abstract

New materials, new trends, new technologies, ecology and so on. These are the main reasons for a new revival of water power-control hydraulics (PCH).

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.

This article represents possibility of usage of tap water as hydraulic fluid in power control-hydraulics. In this article, we show important differences in physical properties between most-used mineral oil and tap water. Before start of development or usage hydraulics components for tap water we have to know all main properties of tap water, which are different from properties of mineral oil. Water power-control hydraulics is very new in Slovenia. From this reason the aim of this article is to show advantages and disadvantages of it. Usage of mineral oil in 20th century led to important technical improvements, because of high viscosity and better lubrication comparing to that of water. But important disadvantage of application of mineral oil is high pollution of environment.

Using available components for water power-control hydraulics some hydraulic systems were designed and constructed. Some significant of them are presented at the end of this paper.

Keywords: tap water as hydraulic fluid, hydraulic oil, power-control hydraulics, physical properties of hydraulic oil and water, hydraulic components, hydraulic systems

1. Uvod

Kot je že omenjeno v povzetku, se bomo osredotočili predvsem na lastnosti vode kot hidravlične tekočine. Sledil bo pregled stanja razvoja sestavin vodne pogonsko-krmilne hidravlike.

Nova odkritja na področju tribologije, materialov in tekočin ter povečana zavest glede ohranitve naravnega okolja nas vzpodbujajo k raziskavam o uporabi vode kot hidravlične tekočine v pogonsko-krmilni hidravliki [1]. Te raziskave imajo težnjo vpeljati vodo brez dodatkov - vodo iz pipe, v hidravlične naprave. V nadaljevanju bomo večkrat uporabili izraz voda iz pipe, da jasno povemo, da je to navadna pitna voda brez kakršnih koli dodatkov.

Dolgoročni cilj naših raziskav je uporaba vode kot hidravlične tekočine v hidravličnih napravah, ne da bi pri tem zmanjšali funkcijo hidravličnih sestavin oziroma naprav v primerjavi s tistimi, ki delujejo na mineralno hidravlično olje.

Vodo je uporabil že Joseph Bramah kot hidravlično tekočino pri prvi patentirani hidravlični napravi – stiskalnici, l. 1795 [2].

Čeprav v svetu obstaja že precej izdelovalcev hidravličnih sestavin, ki so razvite za vodo kot hidravlično tekočino, pa je le malo strokovnjakov, ki dobro poznajo prednosti in slabosti pri uporabi vode. 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.

V nadaljevanju je prikazanih nekaj ključnih sestavin vodne PKH dostopnih tržišču. Povdarek je predvsem na posebnostih sestavin vodne PKH v primerjavi s sestavinami oljne PKH. Ventili se močno razlikujejo od konstrukcije podobnih ventilov za oljno PKH. Za vodno PKH so bili razviti tudi različni tokovni in tlačni ventili. Razvitih je bilo tudi nekaj zvezno delujočih ventilov, ki so že bili uporabljeni v vodno-hidravličnih napravah v prehrambeni industriji, rudarstvu, naftnih črpališčih, za komunalna vozila. Na sliki 1 je prikazana voda v primerjavi z rastlinskim oljem, mineralnim oljem in vodnimi emulzijami glede na vplive na naravo ter požarno varnost. Glede na omenjeni lastnosti hidravličnih tekočin je razvidna prednost uporabe vode pred ostalimi tekočinami.

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

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

2. Osnovne lastnosti vode

Čeprav je "čista" voda prisotna skoraj vsepovsod na kopnem delu zemeljske oble, je njena kvaliteta odvisna od geografske lokacije. Na splošno se voda črpa iz vrtin, 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«) [3]. V teh direktivah so zapisane dopustne vrednosti nezaželenih sestavin za pitno vodo (mikrobiološke zahteve za pitno vodo,...).

Pri vodni pogonsko-krmilni hidravliki so iz teh direktiv pomembne naslednje lastnosti vode: *koncentracija vodikovih ionov* (pH med 6,5 in 8,5), *vsebnost kloridnih ionov* (največja vsebnost do 25 mg/l), *trdota vode* (med 5 in 10 nemških stopinj), *bakterije v vodi* (prihaja do nastanka gob in bio-prevlek), *mikroorganizmi*.

Za zagotovitev primerne higiene pri vzdrževanju hidravličnih naprav z vodo kot hidravlično tekočino je potrebno biti pazljiv na več dejavnikov:

- Zračni filter na rezervoarju naj bi imel imensko vrednost filtriranja največ 3 μ m (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 pride do razvoja novih mikroorganizmov. 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 [3]. V primeru vzdrževanja ustreznega nivoja higiene (vdor organskih nečistoč v sistem) niso v hidravličnih napravah našli sledi nobene škodljive bakterije. Odvisno od željenega/potrebne nivoja higiene je včasih potrebno izprati hidravlično napravo s čistilom in nato ponovno napolniti sistem z vodo iz omrežja.

3. Fizikalne lastnosti vode v primerjavi z mineralnim oljem

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

3.1 Gostota

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 paramater, ki določa za koliko se posamezna tekočina stisne pri določenem tlaku in temperaturi. Modul stisljivosti v PKH pomembno vpliva na blaženje tlačnega nihanja pri hidravličnih udarih. Manjši ko je modul stisljivosti, bolj se tekočina stiska in bolj se dušijo tlačna valovanja.

Pri počasnih "dinamičnih" spremembah upoštevamo izotermni modul stisljivosti; v hidravliki za počasne spremembe splošno smatramo spremembe, ki trajajo dlje kot 3 minute [4].

Izotermni modul stisljivosti β_T je za mineralno hidravlično olje v območju $(1,33 \dots 1,54) \cdot 10^4$ bar, za vodo pa je konstanten: $2,1 \cdot 10^4$ bar [2].

Povprečni izotermni modul stisljivosti za mineralno olje je $1,43 \cdot 10^4$ bar, modul stisljivosti za vodo pa je $2,1 \cdot 10^4$ 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 kot pri olju.

Adiabatni modul stisljivosti β_S je za mineralno hidravlično olje v območju $(1,0 \dots 1,6) \cdot 10^4$ bar, za vodo (brez zračnih mehurčkov) pa je konstanten: $2,4 \cdot 10^4$ bar [1].

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

3.3 Zrak v hidravlični tekočini

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

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 ko je

zračnih mehurčkov v tekočini, bolj dušijo lokalne poraste tlaka zaradi večje stisljivosti tekočine in s tem pripomorejo k zmanjšanju kavitacijskih posledic na površinah znotraj hidravličnih sestavin [5]. Vsebnost zraka v hidravlični tekočini pa zelo malo vpliva na njene mehanske lastnosti.

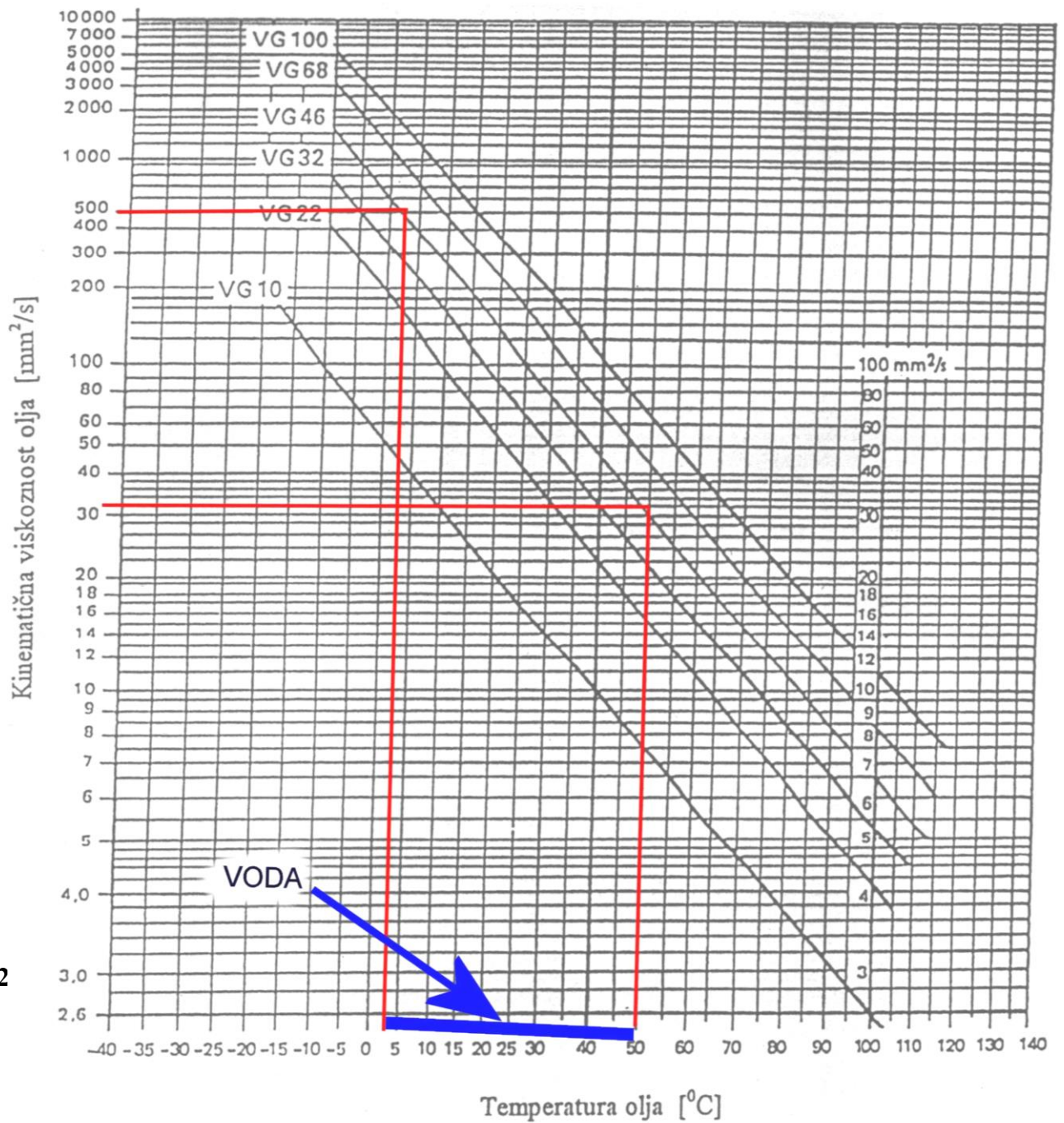
3.4 Uparjalni tlak

V hidravličnih napravah je pomembno poznavanje uparjalnega tlaka hidravlične tekočine, saj je le 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 razpočijo (implozija), tlak na mikro-lokacijah trenutno naraste. To povzroči poškodbo na okolišnih stenah znotraj hidravličnih sestavin (npr. elementi potnega ventila, črpalke, predvsem pa elastična tesnila, ...). Pravilno zasnovana hidravlična naprava znižuje vsebnost prostih zračnih mehurčkov. Število parnih mehurčkov se poveča 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 predenj tekočina zavre. 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 spreminja znatno manj (sl. 2).

Kinematična viskoznost vode se 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** (sl. 2).



Slika 2

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

hidravlična tekočina	mineralno olje	oljno-vodna emulzija	vodno-polimerna emulzija	negorljiva tekočina – brez vsebnosti vode HFD⁴	Rastlinsko olje (repično)	VODA
lastnosti						

	HLP¹	HFA²	HFC³		HTG⁵	
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
Uparjalni tlak pri 50°C, bar	1,0 · 10 ⁻⁸	0,1	0,1 – 0,15	< 10 ⁻⁵	?	0,12
Modul stisljivosti β _s , 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)	0,11 - 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)

Legenda:

HLP¹ Mineralno olje z izboljšanimi proti-korozijskimi, proti-oksidacijskimi, temperaturno /viskozni in proti-obrabnimi lastnostmi.

HFA² Oljno-vodna emulzija (> 80 % vode).

HFAE ... Oljno-vodna emulzija s proti-obrabnimi dodatki. Lahko se spusti v kanalizacijo.

HFAS ... Vodna emulzija. Manj agresivna za odpadno vodo kot HFAE. Uporabno npr. v rudnikih premoga, železarnah, ...

HFC³ Vodno-polimerna emulzija. Poli-glikolna emulzija je v šestem viskoznostnem razredu. Uporabno v livarnah, jeklarnah, steklarnah, vročih valjarnah, rudnikih,...

HFD⁴ Te hidravlične tekočine ne vsebujejo vode. Zgradba: osnova je fosfatni ester

(HFDR), kloridni in fluoridni ogljik (HFDT) in druge organske sestavine (HFDU).

HTG⁵Rastlinsko olje, kot npr. oljna repica. Razpoložljivih je le nekaj viskoznostnih razredov .

4. Sestavine vodne PKH

Ker je področje vodne PKH razmeroma novo, trenutno še ni na razpolago celotnega spektra sestavin, tako kot je to pri "tradicionalni" oljni PKH. V nadaljevanju bomo prikazali le eno od razpoložljivih sestavin vodne PKH v primerjavi s standardno sestavino za oljno PKH.

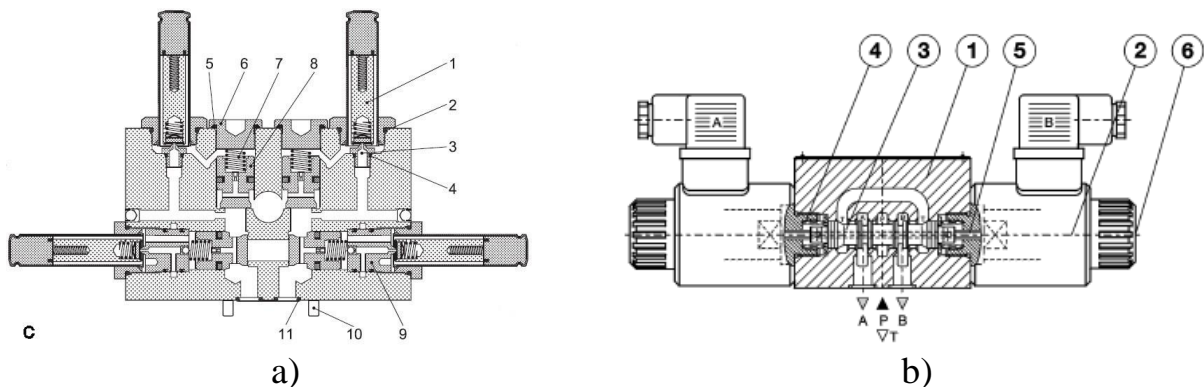
Pri razvoju vodne pogonsko-krmilne hidravlike sta bili ubrani dve različni smeri:

- I. **Modifikacija obstoječih hidravličnih sestavin**, ki v osnovi uporabljajo mineralno olje kot hidravlično tekočino. Na ta način verjetno ne bo nikoli dosežena popolna uporaba čiste pitne vode za večino hidravličnih naprav.
- II. **Uporaba novih materialov, novi oblikovni in konstrukcijski pristopi** za zagotovitev optimalnih lastnosti pri uporabi čiste pitne vode kot hidravlične tekočine.

Obstoječe sestavine vodne PKH

Na tržišču je na razpolago že veliko število sestavin vodne PKH: potni ventili, tokovni ventili, tlačni ventili, hidravlične črpalke (aksialne batne, radialne batne, vrstne, lamelne), hidravlični motorji, ... V nadaljevanju bomo prikazali eno bolj uporabljenih hidravličnih sestavin, potni ventil.

Sestavine vodne pogonsko-krmilne hidravlike so pogosto konstrukcijsko različne od sestavin tradicionalne oljne hidravlike. V nadaljevanju predstavljen vodni 4/3 potni ventil je sestavljen iz štirih 2/2 sedežnih potnih ventilov (sl. 3.a).



Slika 3: a) Prerez 4/3 potnega ventila sestavljenega iz štirih 2/2 potnih ventilov za uporabo v vodni PKH [6] in b) prerez klasičnega 4/3 potnega ventila za uporabo v tradicionalni oljni PKH [7]

5. Hidravlične naprave na vodno PKH

Na tržišču je poznanih že nekaj kompletnih rešitev hidravličnih naprav z vodno PKH, kot so: smetarsko vozilo, transportna hidravlična naprava, žaga za žaganje kosti (mesno predelovalna industrija), črpalni sistem pitne vode, hidravlične naprave za rudarstvo, hidravlična naprava za tobačno industrijo, hidravlični cepilec drv, hidravlična naprava za dvigovanje delovnih platform in čiščenje v prehrabeni industriji, ...

5.1 Smetarsko vozilo na vodno pogonsko-krmilno hidravliko

Danski proizvajalec smetarskih vozil [8] je v letu 2004 v sodelovanju s proizvajalcem hidravličnih sestavin na vodno PKH [6] izdelal okolju prijazno smetarsko vozilo (sl. 4). Kombinacija plinskega motorja za vožnjo s katalizatorjem in električnega motorja, ki poganja črpalko za vodno pogonsko-krmilno hidravliko, pripomore k zelo tihemu delovanju. Vozilo je opremljeno z zaporedno vezanima 36V DC električnima akumulatorjema za napajanje pogonskega el. motorja. Prednost tega vozila je, da se po končani vožnji (pred začetkom nakladanja smeti) plinski pogonski motor izklopi, saj hidravlika deluje samostojno (preko enosmernega el. motorja). Tako je hrupnost močno zmanjšana.

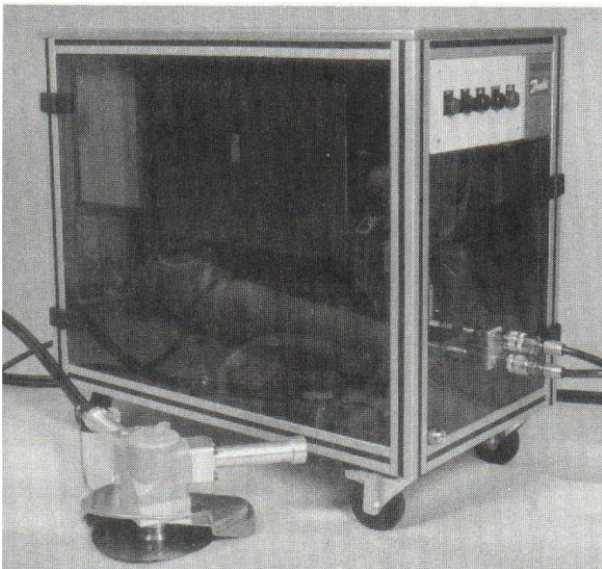


Slika 4: Izgled okolju prijaznega smetarskega vozila

5.2 Žaga za žaganje kosti (mesno predelovalna industrija)

Na sliki 5 je prikazan hidravlični agregat za vodno PKH s krožno žago (levo) in uporaba te žage v mesno-predelovalni industriji (desno). Te žage se upravlja ročno. Uporabljajo se za žaganje svinskih reber in hrbtišč v mesno-predelovalni industriji. Uporaba teh horizontalno nameščenih žag je popolnoma prilagojena za uporabo v predelovalni industriji. Prvotno je bil razvit pnevmatični sistem. Največja izhodna moč na pnevmatičnem motorju je bila 3,4 kW, vrtilna frekvenca žage 4500 vrt./min in hrupnost 90 dB. Pri žaganju prihaja do padcev tlaka skozi pnevmatični motor in s tem do tvorbe ledu na motorju. S tem motor postaja mrzel za delo in vedno težji. Že

pri začetni uporabi se je pokazalo, da to ni dobra rešitev. Zato so razvili žago na vodno PKH (funkcijska shema je na sl. 5). Taka žaga ima za pogon aksialni batni HM na vodno PKH z iztisinno $10 \text{ cm}^3/\text{vrt}$. Za doseg optimalne obodne hitrosti žage (več kot 30 m/s) se HM vrti s 3000 vrt./min pri pretoku 28 l/min . Potreben delovni tlak je 80 bar in izstopni pogonski moment žage je 12 Nm . Hrupnost vodnega pohonsko-krmilnega sistema žage je 75 dB . Ta HN ima vgrajeno varnostno zavoro za zaustavitev vrtenja žage takoj, ko uporabnik spusti vklopni gumb.



Slika 5: Prikaz žage za žaganje kosti na vodno PKH v mesno-predelovalni industriji [2]

5.3 Hidravlični cepilnik drv

Že večkrat smo omenili, da je vodna PKH zelo uporabna za delo na prostem (če seveda delamo pri temperaturah nad 3°C) zaradi varovanja okolja. Italijanski proizvajalec [9] je izdelal cepilnik drv (sl. 6) na vodno PKH. Kot posebnost je razvil medeninasti bat s posebnim tesnilom – O-tesnilom in tesnilno manšeto iz odpadnega usnja, ki se je pri vodi zelo dobro obnesla.



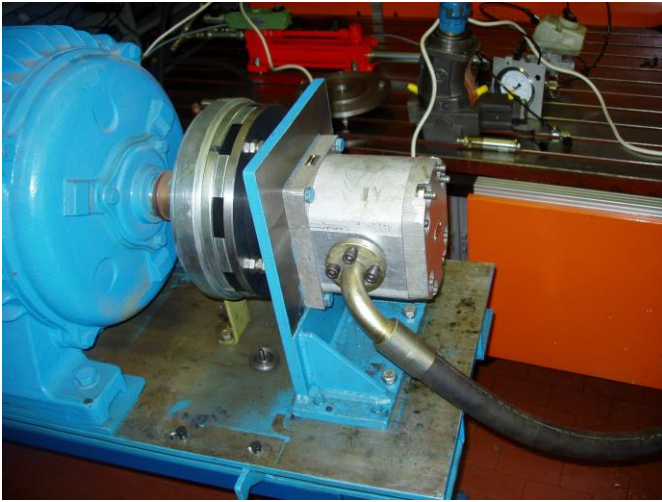
Slika 6: Dve različni izvedbi cepilca drv na vodno PKH [9]

6. Oljna pogonsko-krmilna hidravlika na vodo iz pipe

Zaradi drugačnih lastnosti vode v primerjavi z lastnostmi mineralnega olja smo v našem laboratoriju za hidravliko izvedli sledeči preizkus. V enostaven hidravlični sistem (sl. 6), zgrajen za uporabo mineralnega olja, smo namesto olja nalili vodo iz pipe. Osnovni sestavini omenjenega hidravličnega sistema sta bili zobniška hidravlična črpalka in varnostni ventil. Za rezervoar smo uporabili plastični sod. Po zagonu hidravlične črpalke je bil varnostni ventil popolnoma razbremenjen, to pomeni razbremenjena vzmet in posledično tlak le nekaj barov. Tedaj je bil iztočni hidravlični tok črpalke okoli 60 l/min, kar pomeni cca. 97% volumetrični izkoristek črpalke. Tak izkoristek je normalen za takšno črpalko pri njenem zgornjem delovnem tlaku (200 bar) ob uporabi olja kot hidravlične tekočine. Po dvigu nastavitve varnostnega ventila do cca. 200 bar (prednapetje vzmeti), je manometer kazal le 50 bar. Pri tem tlaku na izočni strani iz varnostnega ventila ni bilo nobenega pretoka več. To nam pove, da so reže znotraj klasične oljne zobniške črpalke ob uporabi vode bistveno previsoke. Tlak je po cca. 2 minutah s 50 barov upadel na cca. 0 bar pri ničtem pretoku iz povratne cevi v rezervoar. Reže znotraj zobniške črpalke so se očitno tako povečale, da se je vsa voda obračala oz. zadrževala v zobniški črpalki.

Ker smo ta preizkus izvedli zgolj zaradi pridobitve osnovnega občutka o obnašanju vode v PKH, smo obrabo opazovali le vizuelno. Pred preizkusom smo vse uporabljene sestavine slikali (sl. 8.a). Po koncu opisanega preizkusa smo te sestavine ponovno razstavili in slikali. Glavna vizuelna sprememba je bila vidna na črpalki in sicer so se očitno najbolj obrabile medeninaste drsne puše (sl. 8.b). Na razstavljeni črpalki je bil viden lepljiv prah, podoben fini kremi za umivanje rok oziroma polirni pasti.

Za izdelavo preskušancev za simulacijo sestavin drsniškega tipa za vodno pogonsko-krmilno hidravliko je torej nujno prvenstveno izdelati le-te z minimalnimi ohlapi, to je do največ cca. 4 μm in nadalje s kontaktnimi površinami, ki so čimbolj abrazivno obstojne ob pogojih delovanja vode kot hidravlične tekočine.



a)



b)

Slika 7: Prikaz preizkusa oljnega hidravličnega sistema z vodo iz pipe;
 a) pogonski el. motor z elektromagnetno sklopko in zobniško črpalko,
 b) plastični rezervoar za vodo



a)



b)

Slika 8: Prikaz sestavin zobniške hidravlične črpalke: a) pred preizkusom in b) po preizkusu z vodo

7. Zaključki

Kljub mnogim že izvedenim raziskavam je na razpolago malo oprijemljivih rezultatov o uporabnih dobah glede na predpisane delovne parametre posameznih hidravličnih sestavin. Raziskave s tega področja so bile večinoma namenske; razviti, izdelati in prodati boljše in cenovno ugodnejše sestavine za vodno PKH. To nam daje odgovor zakaj ni na razpolago detajlnih tehničnih podatkov (tako kot pri klasični oljni PKH), še manj pa so razpoložljivi rezultati in ugotovitve raziskav. Zato je pomembno, da osvojimo to področje, ki je za Slovenijo še neznanka.

Predej se lahko lotimo snovanja in konstruiranja novih sestavin vodne PKH je potrebno izdelati preizkuse na osnovnih tribološko-hidravličnih modelih.

Literatura

- [1] F. Majdič, J. Pezdirnik, M. Kalin: *VODA KOT HIDRAVLICNA TEKOČINA V POGONSKO-KRMILNI HIDRAVLIKI-1.del*, Ventil, junij, 12 / 2006 / 3
- [2] E. Trostmann: *WATER HYDRAULICS CONTROL TECHNOLOGY*; Lyngby 1996, Technical University of Denmark; ISBN: 0-8247-9680-2
- [3] E. Trostmann, B. Frolund, B. H. Elesen, B. Hilbrecht: *TAP WATER AS A HYDRAULIC PRESSURE MEDIUM*, Marcel Dekker, New York, 2001,
- [4] D. Findeisen, F. Findeisen: *ÖL HYDRAULIK*, ISBN 3-540-54465-8, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 1994
- [5] H. Uetz: *ABRASION und EROSION*; Munchen, Wien 1986; Carl Hanser Verlag Munchen, Wien.
- [6] Nessie – Sauer Danfos: www.danfoss.com/germany,
- [7] Kladivar Žiri d.d.: www.kladivar.si,
- [8] Norba AB: www.norba.com,
- [9] Starfort: www.starfort.it.