

# Razvojno preizkušanje vodnega zvezno delujočega drsniškega potnega ventila

Franc MAJDIČ, Jožef PEZDIRNIK, Mitjan KALIN

**Povzetek:** V današnjem času je potrebno, da vsakdo prevzame odgovornost za ohranjanje čistega naravnega okolja, pitnih voda in nasploh celotne narave. Zavedati se moramo, da nam je bila narava podarjena in da moramo takšno, če ne čistejšo, zapustiti zanamcem. Vsakdo lahko na svojem področju prispeva svoj delež. Glede omenjenega je na področju hidravlike pitna voda brez dodatkov ena najboljših, če ne sploh najboljša alternativa za zamenjavo doslej najbolj uporabljanih hidravličnih kapljev. Zamenjava ekološko spornih kapljev je priporočljiva in v prihodnosti verjetno nujna predvsem na občutljivih področjih, kot so področja zajetij pitne vode, prehrabna industrija, gozdarstvo, kmetijstvo, rudarstvo, itd. Prispevek prikazuje razvoj novega vodnega proporcionalnega 4/3-potnega ventila drsniškega tipa in dvojnega preizkuševališča za njegovo testiranje in istočasno testiranje sistema pogonsko-krmilne hidravlike, delujočega s pitno vodo kot hidravlično kapljevino. V prispevku je predstavljenih nekaj ključnih rezultatov meritev prehodnih pojavov in rezultat trajnostnega testa navedenega vodnega proporcionalnega potnega ventila. Sledi analiza rezultatov preizkusov na vodnem delu preizkuševališča ter primerjava teh z rezultati, dobljenimi ob izvajanju preizkusov na funkcionalno analognem oljnem delu hidravličnega preizkuševališča. Rezultati kažejo, da je uporaba novega vodnega zvezno delujočega proporcionalnega potnega ventila v realnih aplikacijah možna in da sistemi pogonsko-krmilne hidravlike, delujoči s pitno vodo kot hidravlično tekočino, lahko opravljajo svoje funkcije analogno velikemu delu sistemov oljne hidravlike.

**Ključne besede:** pitna voda, vodna pogonsko-krmilna hidravlika, zvezno delujoči drsniški potni ventil, trajnostna in dinamična preizkušanja

## ■ 1 Uvod

Voda je bila prva uporabljana hidravlična kapljevina že pred več kot 2.000 leti. Področje vodne hidravlike, v smislu uporabe čiste vode brez dodatkov, za industrijsko rabo se je začelo uveljavljati s patentom prve hidravlične stiskalnice pred 214 leti [1]. V naslednjem stoletju se je uporaba vode kot hidravlične kapljevine naglo širila. Pri tem so se pojavljali številni problemi, povezani pred-

vsem s slabo mazalnostjo, posledično povečano obrabo in velikim notranjim puščanjem ter korozijo znotraj hidravličnih sestavin. Leta 1906 je Janney prvi razvil oljnihidravlični sistem z aksialno batno črpalko. Mineralno hidravlično olje je zaradi številnih prednosti, ki jih je ponujalo, skoraj popolnoma zamenjalo vodo. Čista voda kot hidravlični medij se od tega obdobja uveljavljanja mineralnega hidravličnega olja pa vse do devetdesetih let prejšnjega stoletja skoraj ni več uporabljala. Razlog za to so bile vsa ta desetletja protežirane odlične lastnosti mineralnega olja, ki so vplivale na izrazito zmanjšano obrabo in preprečevanje korozije mehanskih sestavin. Z manjšim notranjim puščanjem in trenjem je mine-

ralno olje vplivalo tudi na povečanje izkoristkov.

Ekologija je dandanes ena pomembnejših tem raznih znanstveno-strokovnih, pa tudi družbenopolitičnih srečanj in sestankov po vsem razvitem svetu in vedno bolj tudi pri nas. Od leta 1997 pa vse do danes se v državah EU v povprečju letno porabi okoli pet milijonov ton maziv [2]. Sem štejejo tudi hidravlične kapljevine. Večina maziv oziroma kapljevine je fosilnega izvora, ki so v naravnem okolju težko razgradljiva in toksična. V številnih državah je že sprejeta množica zakonskih aktov, smernic in odredb o ravnanju s svežimi in odpadnimi olji, vedno več pa je tudi zahtev za uporabo ekološko manj ne-

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

varnih maziv oziroma kapljev. Uvajanje in uporaba čiste oziroma pitne vode namesto ekološko spornih kapljev je ena izmed boljših rešitev za zaščito naravnega okolja na področju pogonsko-krmilne hidravlike.

Dandanes je uporaba vode kot hidravlične kapljevine v pogonsko-krmilni hidravliki še vedno zelo zanemarljiva [3]. Med razlogi za majhno uporabo so: malo na tržišču dostopnih sestavin, majhno število izdelovalcev takih sestavin (majhna konkurenca), prenizka ekološka osveščenost uporabnikov (predvsem investitorjev), dražje surovine za izdelavo sestavin, visoka cena sestavin, itd.

Eden izmed prej omenjenih vzrokov za majhno uporabo vodne hidravlike je tudi premalo na tržišču dostopnih sestavin. Nujno potrebne, a manjkajoče sestavine v vodni hidravliki so: zvezno delujoči ventili (predvsem proporcionalni in servoventili), črpalke s spremenljivo iztislino, itd. Zato smo se odločili za razvoj novega vodnega 4/3-proporcionalnega potnega ventila drsniškega tipa. Poleg razvoja ventila pa je bilo zasnovano in izdelano dvojno, vodno in primerljivo oljno, hidravlično preizkuševališče za testiranje omenjenega ventila. Ventil smo testirali na stacionarno in dinamično delovanje ter trajnost. Na omenjenem preizkuševališču smo primerjali tudi dinamično obnašanje vodnega sistema z obnašanjem analognega po lastnosti že dobro poznanega oljnega sistema.

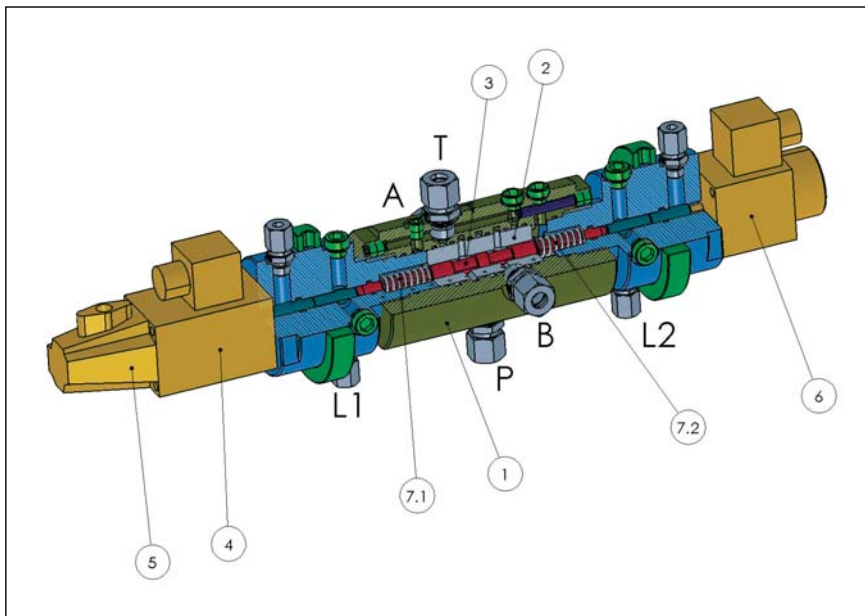
## ■ 2 Nov vodni 4/3-proporcionalni potni ventil

Cilj je bil razviti razmeroma enostaven vodni proporcionalni potni ventil drsniškega tipa s čim manjšim številom sestavnih delov (slika 1a) ter primerjati njegove lastnosti, karakteristike in uporabno dobo s funkcionalno analognim standardnim oljnim ventilom (slika 1b).

Slika 2 prikazuje vodni proporcionalni 4/3-potni ventil v prerezu. Funkcionalno pomembnejši sestavni deli ventila so: glavno ohišje (poz.



**Slika 1.** 4/3-proporcionalna potna ventila: a) na novo razviti vodni proporcionalni potni ventil (vodni preizkušalec), b) serijsko izdelani oljni proporcionalni potni ventil (oljni preizkušalec)



**Slika 2.** Prototip novega vodnega proporcionalnega 4/3-potnega ventila drsniškega tipa. Glavna sestavna dela – elementa v novem vodnem proporcionalnem 4/3-potnem ventilu – sta krmilni bat in puša (sl. 3). Višina reže, ki tvori ohlap med krmilnim batom in pušo – preizkušanim materialnim parom, testiranjem v tej raziskavi, je reda velikosti nekaj mikrometrov.

1), drsna puša (poz. 2), krmilni bat (poz. 3), levi enosmerni proporcionalni električni magnet, namenjen za vgradnjo LVDT-ja (poz. 4), merilnik položaja krmilnega bata (LVDT) (poz. 5), desni enosmerni proporcionalni električni magnet 24 V, podoben levemu, le da je ta končni in ni namenjen za vgradnjo LVDT-ja (poz. 6), ter dve tlačni vzmeti (poz. 7.1 in

7.2), usklajeni z močjo proporcionalnih elektromagnetov.

V predstavljeni raziskavi smo testirali vodni proporcionalni potni ventil z batom in pušo iz nerjavnega jekla. Ta materialni par smo predhodno preverili tudi na tribološkem testu [4].

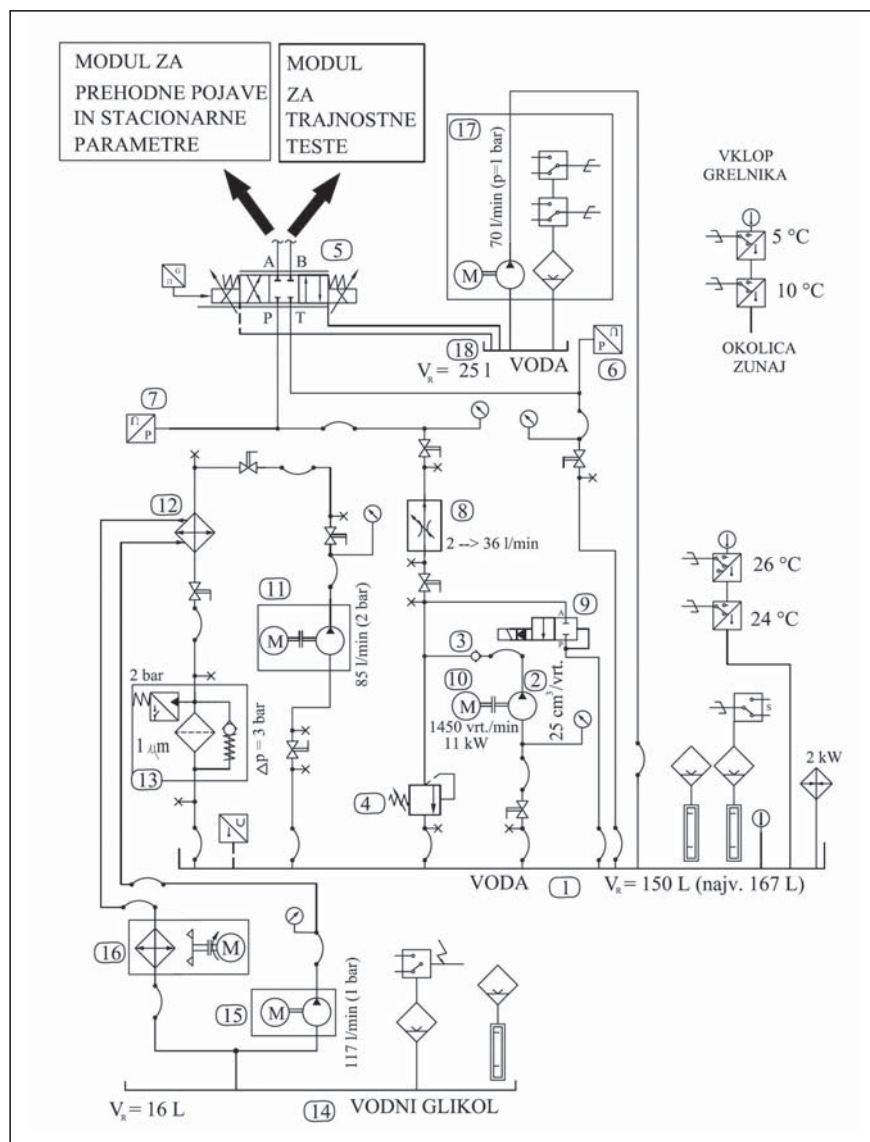
## ■ 3 Preizkuševališča in postopki preizkušanja

### 3.1 Preizkuševališče

Za namen teh raziskav smo zasnovali in izdelali dvojno, vodno in oljno preizkuševališče. Vsako od obeh preizkuševališč je sestavljeno iz pogonskega agregata in dveh modulov. Prvi modul je za prehodne pojave in stacionarne parametre, drugi pa za izvedbo trajnostnih testov. Pri raz-



**Slika 3.** Krmilni bat in puša vodnega 4/3-proporcionalnega potnega ventila



Slika 4. Funkcijska shema vodnega hidravličnega sistema

iskavah dinamičnega obnašanja in stacionarnih parametrov smo uporabili hidravlični agregat in modul za prehodne pojave ter stacionarne parametre, pri raziskavah trajnostnega delovanja novega proporcionalnega ventila in celotnega vodnega sistema pa hidravlični agregat in modul za trajnostne teste. V nadaljevanju bomo predstavili le vodno preizkuševališče, oljno je funkcionalno analogno.

### 3.1.1 Vodni hidravlični agregat

Glavne sestavine vodnega hidravličnega agregata, razvidne iz hidravlične funkcijske sheme za vodno preizkuševališče (slika 4), so: rezervoar za vodo (poz. 1), aksialna batna črpalka (poz. 2), protipovratni ventil (poz. 3), varnostni ventil za nastavi-

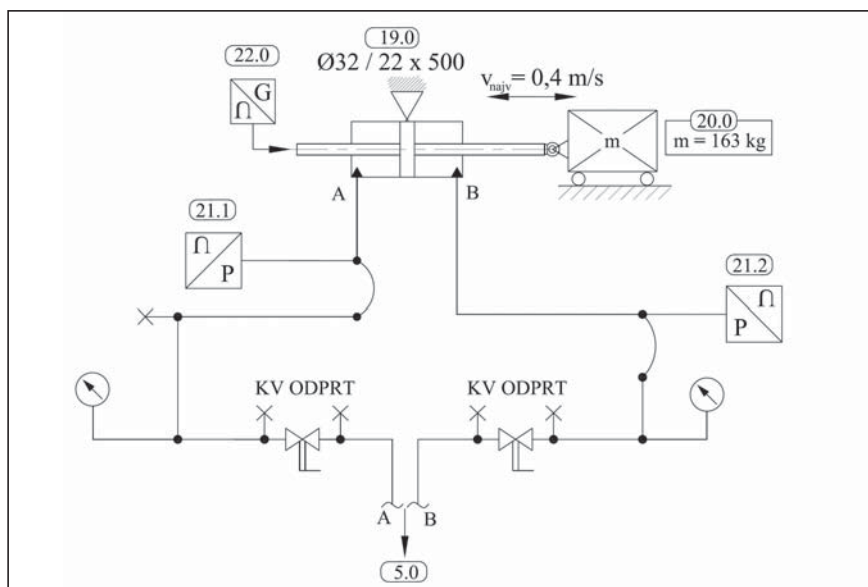
tev tlakov med 70 in 160 bar (poz. 4), preizkušavec – na novo razvit vodni proporcionalni 4/3-potni ventil (poz. 5), dve tlačni zaznavali (poz. 6 in 7), tokovni ventil s tlačno kompenzacijo (poz. 8), potni 2/2-ventil za razbremenjevanje (poz. 9), ki služi za lažji, "mekhak" zagon pogonskega elektromotorja (poz. 10). Visokotlačna hidravlična črpalka dovaja približno 33 l/min hidravlične tekočine (pri začetnem 95-odstotnem volumetričnem izkoristku) preko vodnega tokovnega ventila s tlačno kompenzacijo na P-priključek preizkušanca. Ta je krmiljen preko računalnika z uporabo posebnega programa. Opazovali smo tlake, pomike in temperaturo hidravlične kapljevine.

Hlajenje vode kot delovnega hidravličnega medija je zagotovlje-

no preko nizkotlačne centrifugalne obtočne črpalke (poz. 11), ki sesa vodo iz glavnega vodnega rezervoarja (poz. 1) in jo preko cevne toplotnega izmenjevalnika (poz. 12) ter obtočnega filtra (poz. 13) vrača ohlajeno in očiščeno v glavni vodni rezervoar. Na drugi strani izmenjevalnika je ločen hidravlični krogotok, v katerem je tudi rezervoar (poz. 14) za vodni glikol. Centrifugalna obtočna črpalka (poz. 15) sesa vodni glikol v manjši meri iz rezervoarja (poz. 14), večji del pretoka vodnega glikola pa dobi nazaj iz zaprtega krogotoka, v katerem ga preko cevne toplotnega izmenjevalca (poz. 12) potiska po ceveh na zunanjo stran prostora laboratorija skozi zračni hladilnik z ventilatorjem in pogonskim elektromotorjem 0,55 kW (poz. 16). Iz zračnega hladilnika se ohlajeni glikol vrača skozi cevni izmenjevalnik toplote. Ta hidravlični krogotok je zaprt, rezervoar (poz. 14) služi le za rezervo in za dodaten prostor zaradi temperaturnega raztezanja vodnega glikola. Četrta črpalka na vodnem hidravličnem agregatu je centrifugalna, potopne izvedbe, z dvojnimi plovcem za samodejni vklop in izklop črpanja (poz. 17). Ta črpalka je nameščena ločeno v PVC-rezervoarju (poz. 18), ki je nameščen pod vodni proporcionalni 4/3-potni ventil, da se vanj pod prostim padom lahko izteka morebitno nastalo notranje puščanje vode v ventilu.

### 3.1.2 Modul za prehodne pojave in stacionarne parametre

Za merjenje prehodnih pojavov smo uporabili osnovni del vodnega preizkuševališča (slika 4) ter dodatni del z oznako modul za prehodne pojave in stacionarne parametre (slika 5). Ta del hidravličnega sistema, namenjenega merjenju prehodnih pojavov, se preko cevi z oznakama A in B priključi na A- in B-voda proporcionalnega 4/3-potnega ventila (slika 4, zgoraj levo poz. 5). Modul za prehodne pojave in stacionarne parametre sestavljajo: dvostransko delujoči hidravlični valj z obojestransko batnico 32/22x500 (poz. 19), na batnico hidravličnega valja preko zglobov pritrjena vodena utež z maso 163 kg (poz. 20), dve tlačni zaznavali (poz. 21.1 in 21.2), merilnik položaja ba-



Slika 5. Funkcijska shema modula za prehodne pojave in stacionarne parametre

tnice v hidrauličnem valju (poz. 22). V tem delu sta vključena tudi dva analogna manometra in dva visokotlačna krogelna ventila s po dvema cevima T-kosoma. Pretežni del sestavin za meritve prehodnih pojavov je montiranih na posebnem vozičku, kjer so vodene uteži. Vodilo uteži skupaj z utežmi lahko postavimo v horizontalni ali vertikalni položaj. Večina sestavin v shemi modula za prehodne pojave in stacionarne parametre je iz standardnih, na tržišču razpoložljivih vodnih hidrauličnih sestavin, razen hidrauličnega valja, ki je bil zasnovan in skonstruiran v Laboratoriju za pogonsko-krmilno hidravliko (LPKH). Cev vodnega hidrauličnega valja je iz nerjavečega jekla, batnici sta iz trdo kromiranega jekla. Tesnila in vodilni obroči za vodni in oljni hidraulični valj so enaka. Izdelani so iz nitritne gume in poliuretana, ojačanega z vlakni.

### 3.1.3 Modul za trajnostne teste

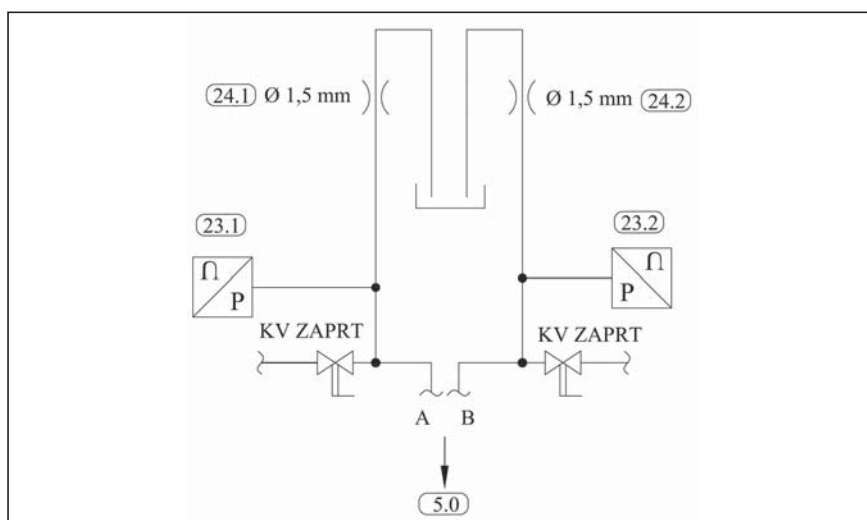
Za izvedbo trajnostnih testov smo na priključka A in B proporcionalnega vodnega 4/3-potnega ventila (preizkušane) priključili modul za trajnostne teste (slika 6). Ta del sheme, oziroma sistema, sestavljajo: dve tlačni zaznavali (poz. 23.1 in 23.2) ter dve dušilki z izvrtino 1,5 mm (poz. 24.1 in 24.2) in ostala pomožna oprema. Skozi posamezni dušilki smo pri tlaku okoli 120 barov zagotavljali pretok

okoli 20 l/min. S tem smo poskrbeli, da je bil trajnostni test čim bliže ekstremnim razmeram v industrijski ali drugi aplikativni rabi.

Vodno (slika 4) in oljno hidraulično preizkuševališče sta sestavljeni iz standardnih, na tržišču razpoložljivih hidrauličnih sestavin, razen novo razvitega vodnega proporcionalnega 4/3-potnega ventila in hidrauličnih valjev, ki so bili zasnovani in skonstruirani v našem laboratoriju. Na sliki 7 je prikazano celotno, dvojno, vodno (levo) in oljno (desno) preizkuševališče.

## 3.2 Postopki preizkušanja

### 3.2.1 Postopek meritev prehodnih pojavov in stacionarnih parametrov



Slika 6. Funkcijska shema modula za trajnostne teste



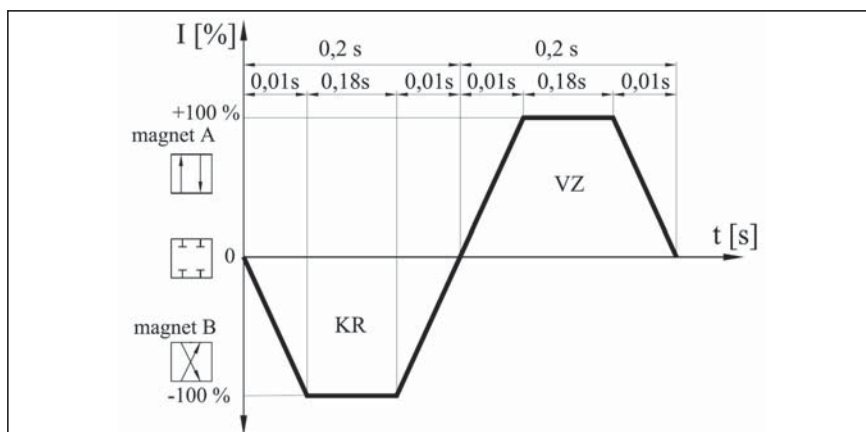
Slika 7. Dvojno, vodno (levo) in oljno (desno), preizkuševališče

Meritve za določitev stacionarnih parametrov in parametrov prehodnih pojavov smo izvedli po sledečem postopku:

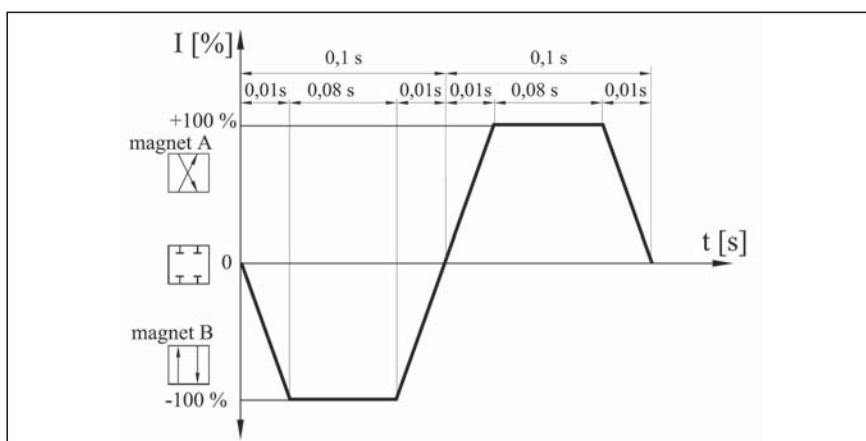
- nastavev tlaka varnostnega ventila (na vodnem preizkuševališču, poz. 4 na sliki 4, in podobno na oljnem preizkuševališču) na 160 bar,
- nastavev pretoka skozi tokovni ventil s tlačno kompenzacijo (na vodnem preizkuševališču, slika 4, poz. 8 in podobno na oljnem) na 33 l/min,
- nastavev ustrezne horizontalne lege hidravličnega valja in pritrditev vodene uteži mase 163 kg,
- vnos časovnih konstant za določitev krmilnega signala S1 (po sliki 8) v programu za dinamične meritve,
- samodejna izvedba meritev po pritisku na gumb "Meritve START". Batnica pri meritvi potisne utež najprej proti desni, nato pa se ob preklopu ventila iz križnega v vzporedni položaj z utežjo vrne nazaj proti izhodiščni legi. Po izteku krmilnega signala S1 se batnica ustavi;
- v programu za meritve prehodnih pojavov se določita še ime in lokacija datoteke, kamor shranimo podatke posamezne meritve;
- ponovitev vsake meritve (še 2-krat).

### 3.2.2. Postopek izvedbe trajnostnega testa

Preklopi preizkušanca – proporcionalnega potnega ventila – so bili izvedeni s ponavljajočimi se popolnimi preklopi (– 100 % signal) v križni in takojšnjimi popolnimi preklopi (+ 100 %) v vzporedni položaj. Izraza križni in vzporedni položaj seveda pomenita položaja puščic v simbolu ventila (slika 4, poz. 5). Za krmiljenje ventila smo uporabili signal S3, prikazan na sliki 9. Testirali smo s frekvenco 5 Hz (5 celotnih preklopov krmilnega bata na sekundo). Ves čas smo merili vse štiri tlake (P, T, A in B), temperaturo in pomikanje krmilnega bata v ventilu. Med celotnim trajnostnim testom je bila temperatura med 30 in 35 °C. Za simulacijo bremena na delovnih priključkih A in B smo uporabili dve enaki dušilki s premerom izvrtine 1,5 mm.



Slika 8. Oblika vhodnega, koračnega krmilnega signala (S1)

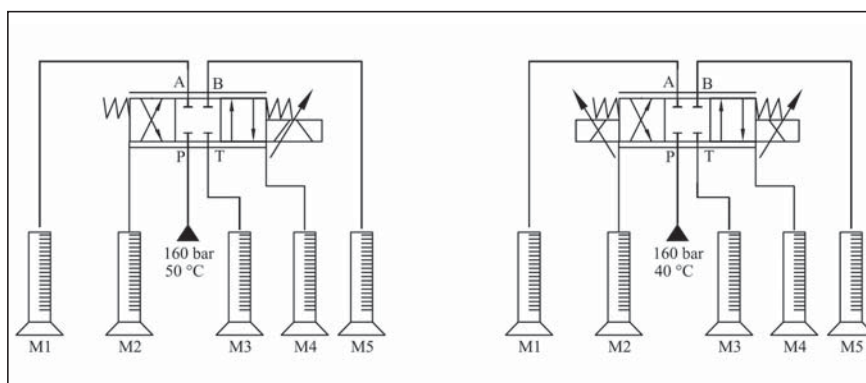


Slika 9. Vhodni krmilni signal S3 s časovnimi vrednostmi za frekvenco 5 Hz za testiranje trajnosti vodnega proporcionalnega 4/3-potnega ventila

### Intervalno merjenje notranjega puščanja pri trajnostnem testu

Verjetno najboljši pokazatelj obstojnosti oziroma obrabljanja ventila pri dolgotrajnejši uporabi je merjenje notranjega puščanja. Slika 10 prikazuje merjenje notranjega puščanja s pomočjo merilnih valjev in štoparice. Po določenem obdobju trajnostnega testa (običajno vsaj 1-krat dnevno) smo prekinili trajnostni test,

na priključke A, B in T preizkušane ventila (poz. 5 na sliki 4) smo namesto obstoječih povezovalnih nerjavnih jeklenih hidravličnih cevi modula za trajnostne teste (po shemi na sliki 6) namestili prozorne gibke cevi ter spodaj postavili merilne valje (slika 10). Po vzpostavitvi tlaka na P-priključku smo vključili štoparico. Krmilni bat je ves čas med meritvijo notranjega puščanja ostal v ničelnem položaju, v srednji legi. Po času 5 minut oziro-



Slika 10. Merilna mesta za merjenje notranjega puščanja na: a) oljnem proporcionalnem potnem ventilu in b) vodnem proporcionalnem potnem ventilu

ma ko se je eden od merilnih valjev napolnil, smo meritev ustavili. Zabeležili smo količino kapljevine, ki se je v tem obdobju natekla v posamezne merilne valje. Ker je tlačni priključek P konstrukcijsko na sredini ventila, tj. med priključkoma A in B, se je med meritvami notranjega puščanja natekla voda le na merilna valja, ki sta zbirala vodo, ki je posledica notranjega puščanja na priključkih A in B. Med meritvijo notranjega puščanja smo stalno opazovali spremembo tlaka in temperature.

## ■ 4 Rezultati

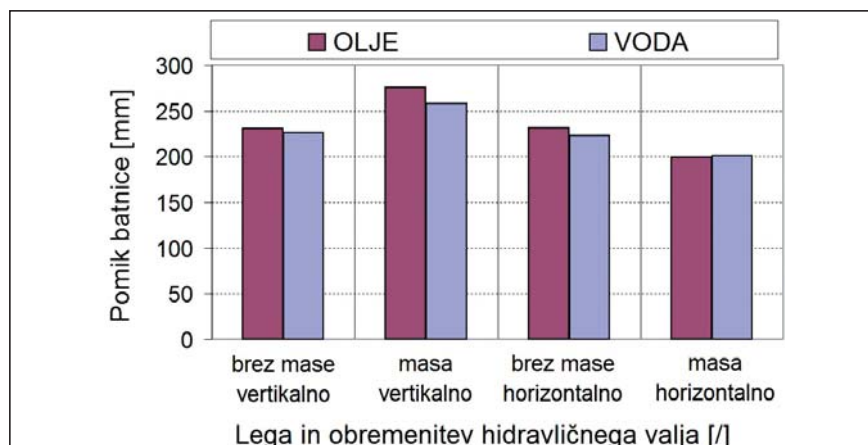
### 4.1 Prehodni pojavi in stacionarni parametri

Glede na opravljene meritve po predhodno opisanem postopku (poglavje 3.2.1) pri pretoku 33 l/min in tlaku 160 bar ter obremenjenem hidravličnem valju v horizontalnem položaju smo na vodnem in oljnem preizkuševališču izmerili več parametrov. V tem prispevku bomo primerjalno predstavili rezultate: meritev pomika batnice hidravličnega valja, meritev delovnih tlakov in meritev hidravličnega udara pri zaustavitvi uteži.

#### 4.1.1 Pomik batnice hidravličnega valja

Pri oljnem hidravličnem valju smo izmerili (slika 11) največji pomik batnice, 275 mm, za primer vertikalne postavitve oljnega hidravličnega valja z utežjo. Najmanjši pomik batnice, 200 mm, smo izmerili v primeru horizontalno postavljenega oljnega hidravličnega valja in uteži. Pomika batnice v primerih vertikalno in horizontalno postavljenega oljnega hidravličnega valja, ko na njem nismo imeli nobene obremenitve, pa sta skoraj enaka, to je 230 mm.

Pomik batnice pri vodnem hidravličnem valju (slika 11) je v treh primerih za 2 do 6 % krajši kot pri oljnem hidravličnem valju. V primeru horizontalnega giba uteži pa je pomik batnice vodnega hidravličnega valja za 1,5 % daljši od pomika batnice v oljnem hidravličnem valju pri podobnih pogojih.



Slika 11. Pomik batnice oljnega in vodnega hidravličnega valja v odvisnosti od lege in obremenitve hidravličnega valja (pretok = 33 l/min, tlak = 160 bar, koračni signal S1)

#### 4.1.2 Meritve delovnih tlakov

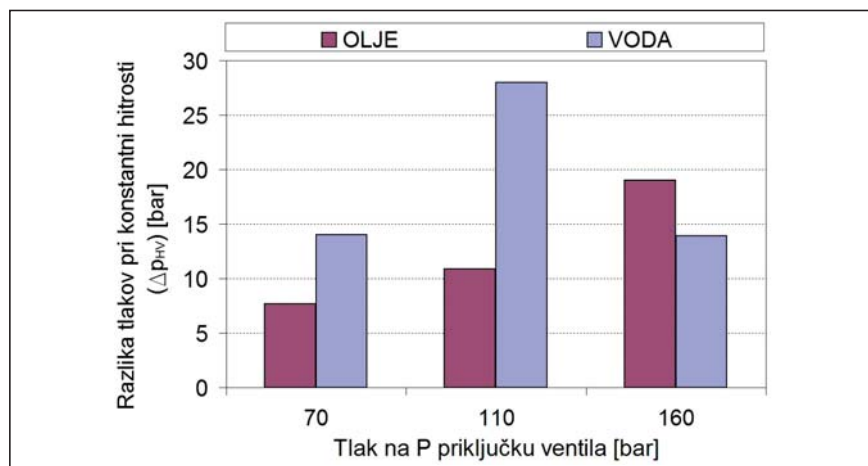
Slika 12 prikazuje vstopne tlake na priključku P oljnega in vodnega proporcionalnega ventila ter razlike tlakov med priključkoma A in B tako oljnega kot vodnega hidravličnega valja ob delovanju enega in drugega brez obremenitve, in sicer s konstantno hitrostjo (stacionarno delovanje). Najnižja razlika tlakov med vstopno (A) in izstopno (B) stranjo oljnega hidravličnega valja, 7,7 bar, je bila v primeru vstopnega tlaka (P) 70 bar. Največja razlika tlakov med obema priključkoma (A in B) oljnega hidravličnega valja pa se je pojavila v primeru vstopnega tlaka 160 bar, in sicer 19 bar.

Potrebni razliki tlakov (med A in B) ( $\Delta p_{HV}$ ) za vzdrževanje konstantnega gibanja batnice pri vstopnih tlakih 70

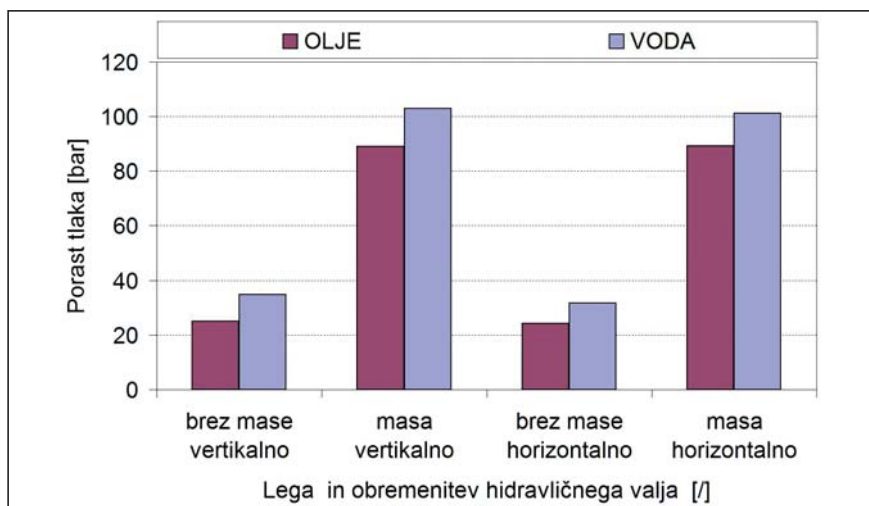
bar in 160 bar pri vodnem proporcionalnem potnem ventilu sta enaki, 14 bar. Potrebna razlika tlakov ( $\Delta p_{HV}$ ) za gibanje batnice s konstantno hitrostjo vodnega valja pri vstopnem tlaku 110 bar pa odstopa, in sicer je višja od prejšnjih dveh za 14 bar.

#### 4.1.3 Meritve parametrov hidravličnega udara

Slika 13 prikazuje vpliv lege hidravličnih valjev in obremenitve na porast tlaka pri hidravličnem udaru. Najmanjši porast tlaka na oljnem preizkuševališču nastopi, po pričakovanju, v primeru delovanja brez mase horizontalno. Takrat je bil porast tlaka 24,3 bara. V primeru brez mase in pri postavitvi hidravličnega valja vertikalno pa je bil porast tlaka za 3 % večji. Pri meritvi hidravličnega udara z obremenitvijo 163 kg ugotov-



Slika 12. Razlika tlakov med priključkoma A in B na hidravličnem valju pri konstantni hitrosti batnice v odvisnosti od tlaka za oljno in vodno preizkuševališče (pretok = 33 l/min, brez mase horizontalno, koračni signal S1)



**Slika 13.** Porast tlaka pri hidravličnem udaru v odvisnosti od lege in obremenitve hidravličnega valja za olje in vodo (pretok = 33 l/min, tlak = 160 bar, koračni signal S1)

vimo, da sta izmerjena porasta tlaka pri vertikalni in horizontalni postavitvi enaka, 89 bar. Pri vertikalni smeri delovanja je tlak porastel ob zaustavitvi spuščanja bremena.

Najmanjši porast tlaka na vodnem preizkuševališču smo izmerili pri horizontalni postavitvi uteži 31,8 bar v primeru brez obremenitve. Največji porast tlaka pri hidravličnem udaru na vodnem preizkuševališču, 103 bar, smo izmerili v primeru vertikalno postavljenega bremena in vodnega hidravličnega valja. To je za skoraj 2 % več kot v primeru horizontalne postavitve bremena.

Relativna razlika porasta tlaka med vodnim in oljnim preizkuševališčem je med 7,5 in 14 bar. Najmanjša raz-

lika, 7,5 bar, se pojavi pri horizontalni postavitvi hidravličnega valja brez bremena. Največja razlika v porastu tlaka med oljnim in vodnim preizkuševališčem, 14 bar, pa se pojavi v primeru zaustavitve bremena pri vertikalnem spuščanju.

#### 4.2 Trajnostni test

Slika 14a prikazuje pomik krmilnega bata v vodnem proporcionalnem potnem ventilu kot odziv na vhodni koračni krmilni signal. Krmilni bat je med trajnostnim testom ves čas opravljal celoten gib  $\pm 100\%$ , kar dejansko pomeni  $\pm 3$  mm. Druga krivulja na tem grafu pa prikazuje nihanje vstopnega tlaka na priključku P med trajnostnim testom. Ta tlak je nihal s približno 160 bar na približno 120

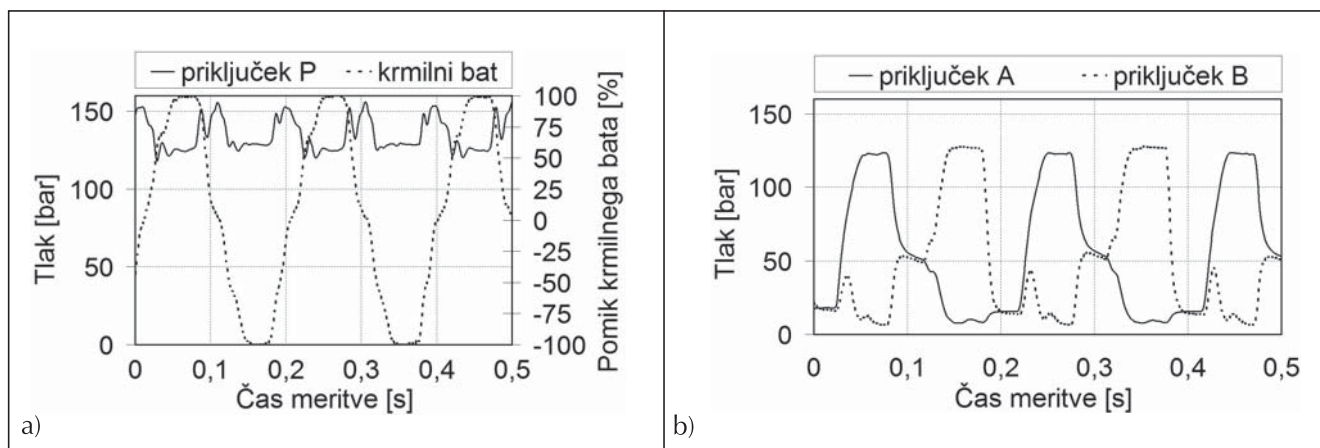
bar s frekvenco 10 Hz. Slika 14b prikazuje delovna tlaka na priključku A (krivulja pA) in B (krivulja pB) vodnega proporcionalnega potnega ventila. Tlaka nihata s frekvenco krmilnega bata 5 Hz. Dosežena delovna tlaka na A in B priključkih sta približno 120 bar, zato znaša pretok skozi dušilki z izvrtinama po 1,5 mm približno 20 l/min. Dušilki sta vgrajeni na priključka A in B (slika 6, poz. 24.1 in 24.2).

Eden od pomembnejših rezultatov trajnostnega testa vodnega proporcionalnega 4/3-potnega ventila po 10 milijonih prekrmiljenj pri tlaku nastavitve varnostnega ventila 160 bar, delovnem pretoku skozi ventil približno 20 l/min in frekvenci prekrmiljenj 5 Hz je razmeroma majhno notranje puščanje (QL, pri 40 °C), ki je bilo manjše od 5 % celotnega pretoka črpalke (QL < 2 l/min).

### 5 Diskusija in zaključek

Razvili smo nov vodni 4/3-proporcionalni potni ventil ter zasnovali in izdelali dvojno, vodno in oljno, preizkuševališče. Rezultati iz analognega oljnega hidravličnega sistema, sestavljenega pretežno iz standardnih sestavin, so nam služili za referenčno primerjavo obnašanja vodnega sistema.

Na obeh preizkuševališčih smo izvedli številne meritve statičnega obnašanja in dinamične odzivnosti (prehodni pojavi). Ugotavljamo, da je statično obnašanje vodnega sistema



**Slika 14.** Primer meritev trajnostnega testa vodnega proporcionalnega potnega ventila: a) pomik krmilnega bata in tlak na vstopnem priključku P v odvisnosti od časa in b) tlak na priključkih A in B v odvisnosti od časa (tlak = 160 bar, pretok = ca. 20 l/min, frekvenca = 5 Hz)

zelo podobno analognemu oljnemu sistemu. Dolžina pomika obremenjene batnice vodnega hidravličnega valja je analogna dolžini pomika batnice pri oljnem valju pri ekvivalentnih pogojih. Potrebni delovni tlaki za pomik obremenjene batnice so pri pospeševanju mase podobni. Pri gibanju batnice s konstantno hitrostjo pa so delovni tlaki na vodnem preizkuševališču za približno 19 bar oziroma približno 82 % višji kot na oljnem pri enakih pogojih. Menimo, da je razlog za omenjeno razliko predvsem v večjem trenju tesnil v vodnem hidravličnem valju v primerjavi z oljnim. Meritve prehodnega pojava pri nenadni zaustavitvi mase, tj. hidravličnega udara, nam povedo, da je najvišji porast tlaka pri vodnem hidravličnem sistemu za približno 12 % višji, kot je porast tlaka pri oljnem hidravličnem sistemu.

Meritve, kako krmilni bat preizkušane vodnega proporcionalnega 4/3-potnega ventila sledi krmilnemu signalu, nam povedo, da deluje ome-

njeni ventil z najvišjo možno frekvenco 19 Hz pri amplitudi – 3 dB (tj. 70 % celotnega giba krmilnega bata). Fazni zamik obremenjenega preizkušane vodnega ventila je 90° pri frekvenca 10 Hz.

Trajnostni test novega, v teh raziskavah razvitega, vodnega proporcionalnega 4/3-potnega ventila je pokazal, da je ventil po 10 milijonih prekrmiljenj še vedno uporaben oziroma ima še zadovoljive delovne karakteristike in lastnosti. Notranje puščanje namreč ni presevalo 5 % celotnega pretoka črpalke pri danih vrtljajih in najvišjem možnem tlaku (160 bar) ter priporočeni delovni temperaturi vode (40 °C). Z določenimi ukrepi, ki so se pokazali za pozitivne med potekom trajnostnega testa, pa bo mogoče v prihodnje še izboljšati obstojnost oziroma uporabno dobo ventila.

Iz predstavljenih raziskav je razvidno, da je razviti vodni proporcionalni potni ventil mogoče uporabiti v velikem številu aplikacij, ki trenutno delujejo

v klasični oljni hidravliki. Nadalje je potrebno omeniti, da je celoten vodni hidravlični sistem uspešno preстал dolgotrajni trajnostni test, kar nas navdaja z velikim optimizmom za nadaljnje delo na tem področju.

## Literatura

- [1] Bramah, J.: The Hydraulic Press, UK Patent Nr. 2045 (1795).
- [2] Kržan, B., Vižintin, J.: Okolju prijazna maziva; Ventil 15 (2009), štev. 3; str. 232–238.
- [3] Koskinen, K., Leino, T., Ripinen, H.: Sustainable development with water hydraulics – possibilities and challenges, Proceedings of the 7th JFPS International Symposium in Fluid Power, 2008, Toyama, Japonska, Vol. 1, str. 11–18.
- [4] Majdič, F., Pezdirnik, J., Kalin, M.: Primerjava sistemov vodne in oljne pogonsko-krmilne hidravlike, Zbornik konference Fluidna tehnika, 2007, Maribor.

## Developmental Testing of Water Continuously Operating Spool Sliding Control Valve

**Abstract:** Environmental protection regulations are becoming stricter, especially in the areas of underground tap water, agriculture, forestry, food industry, etc. The use of tap water instead of hydraulic mineral oil in power-control hydraulics can make a very positive step in meeting these environmental demands. However, introducing water instead of oil in power-control hydraulics is a rather novel and difficult task because of specific characteristics of water compared to the relatively well-known properties of hydraulic mineral oil. A double test rig was designed, constructed and built in our laboratory (Laboratory for Power-Control Hydraulics (LPCH)) to make comparative tests of various hydraulic components, some of them working with hydraulic mineral oil (one system of the test rig) and others with tap water (other system/part of the test rig). The most important components in these testings were two continuously operating spool sliding control valves. The first one was a standard proportional valve, which operates with hydraulic mineral oil and is available on the market. The second one was newly designed and developed in our laboratory and worked with tap water throughout the testings. The double test rig and two functionally adequate valves using two different fluids served for an analytical comparison of parameters and properties.

Figure 1 shows both valves; a.) water valve and b.) on the market available oil valve. Figure 2 shows the basic structure of the newly developed water valve and Figure 3 shows the spool and sleeve of this valve. Figure 4 shows the functional scheme of the water part of the test rig. The oil part is simpler but more adequate than the water part in testing the proportional control valve which is important for the analytical comparison of both valves and systems. Figures 5 and 6 show the modules for the testings of transient phenomena (Figure 5) and the useful life of the valves (Figure 6). Figure 7 shows the appearance of the double test rig; left shows the water part and right shows the oil part. Control signals to valve proportional solenoids are shown in Figures 8 and 9. The internal leakage of both valves although more frequently the water valve, was measured in time intervals (Figure 10). Figure 11 shows the piston/piston rod stroke for water and oil cylinder controlled with proportional valves, one with water valve and the other with oil valve. No significant differences were observed. However, there are significant discrepancies in pressure differences between A and B ports of the water and comparative oil valve each one controlling its own cylinder (Figure 13). The friction coefficient in the water cylinder was higher compared to that of the oil cylinder, which is a matter of further development. The duration test was carried out too. Figure 14 shows pressures on the ports P, A



and B of the water valve during ten million cycles with the load simulated by the flow through orifices. The internal leakage of the water valve did not exceed 2 l/min after operating above mentioned ten million cycles at 160 bars, temperature of the water at 400 C and the flow about 20 l/min. The Bode diagram for the new water proportional spool sliding control valve was also executed; 19 Hz at -3 dB. The overall results were better than initially expected.

**Keywords:** tap water, Water power-control hydraulics, Continuously operating sliding directional control valve, duration and dynamical testings

## Zahvala

Avtorji smo za finančno in tehnično podporo iskreno hvaležni slovenskemu podjetju Tajfun Planina, d. o. o., enemu večjih izdelovalcev gozdarske opreme na svetu. Za predlagano raziskavo na področju vodne hidravlike in vso podporo pri raziskavah se zahvaljujemo prof. dr. Jožetu Vižintinu, vodji Centra za tribologijo, tehnično diagnostiko in hidravliko (CTDH). Raziskave je sofinancirala Slovenska raziskovalna agencija (ARRS), proj. L2-9407. Večji del sestavin oljne hidravlike je prispevalo podjetje Kladivar Žiri, d. d., za kar se jim zahvaljujemo. Podjetje HIB Kranj je delno doniralo hidravlične gibke cevi, podjetje OLMA pa prispevalo mineralno hidravlično olje. Hvala vsem, da smo to lahko dosegli!



Mednarodni strokovni sejem za avtomatizacijo, robotiko, mehatroniko, ...

International Trade Fair for Automation, robotics, mechatronic, ...

27.-29. 01. 2010  
hall K, Celje, Slovenia [www.ifam.si](http://www.ifam.si)

icm  
PASSION FOR PERFECTION  
[ifam@icm.si](mailto:ifam@icm.si)

## 40 let razvijamo in proizvajamo elektromagnetne ventile



**JAKŠA**  
MAGNETNI VENTILI



- vrhunska kakovost izdelkov in storitev
- zelo kratki dobavni roki
- strokovno svetovanje pri izbiri
- izdelava po posebnih zahtevah
- širok proizvodni program
- celoten program na internetu

[www.jaksa.si](http://www.jaksa.si)

Jakša d.o.o., Šlandrova 8, 1231 Ljubljana, tel.: (0)1 53 73 066 fax: (0)1 53 73 067, e-mail: [info@jaksa.si](mailto:info@jaksa.si)