

RAZISKAVA UPORABNOSTI KOMPOZITNE CEVI HIDRAVLICNEGA VALJA

Franc Majdič

Izvelek:

Prispevek prikazuje možnosti uporabe lahke kompozitne cevi za hidravlični valj ob uporabi vode (brez dodatkov) kot hidravlične kapljevine namesto mineralnega hidravličnega olja, ki se še vedno večinsko uporablja v sistemih pogonsko-krmilne hidravlike (PKH). Po podatkih IFAS v Aachnu še vedno približno 85 % sistemov PKH uporablja mineralno hidravlično olje kot delovni medij, torej kot hidravlično kapljevino. Tu smo uvodoma uporabili izraz pogonsko-krmilna hidravlika (PKH), da poudarimo, da obravnavamo ožje področje hidravlike (brez ostalih t. i. vodnih strojev, turbin . . .), čeprav pri teh naših preskusih uporabljamo tudi vodo. V nadaljevanju prispevka bomo uporabljali namesto PKH kar kratek izraz hidravlika, ki se za to področje skoraj izključno uporablja v industriji, pri mobilnih strojih itd.

Ena glavnih prednosti uporabe kompozitnih materialov je izrazito nižja teža v primerjavi s klasičnimi, torej pretežno jeklenimi materiali. Lažji hidravlični valji so prednostno uporabni predvsem v mobilnih aplikacijah, kjer zmanjšanje teže pomeni neposreden prihranek na gorivu pri enakih delovnih karakteristikah. V prispevku je predstavljena zasnova hidravličnega valja s kompozitno cevjo, obe preizkuševališči in parametri meritev, rezultat porušitvenega in trajnostnega testa v vodni in oljni hidravliki za kompozitno cev HV ter tesnila na batu. Rezultati kažejo, da je obstoječa kompozitna cev z ogljikovimi vlakni že primerna za uporabo v oljni hidravliki, medtem ko za vodno hidravliko v tej fazi razvoja še ni primerna.

Ključne besede:

hidravlika, voda, hidravlično olje, hidravlični valj, kompozitna cev, ogljikova vlakna, preizkusi

1 Uvod

Hidravlični sistemi služijo prenosu in krmiljenju energije oziroma opravljanju mehanskega dela na različnih področjih: raznovrstna industrija, avtomobilizem, gradbena in kmetijska mehanizacija ... Največ se za prenos hidravlične energije uporablja kot medij mineralno hidravlično olje, ki pa je problematično z vidika možnosti izliva v okolico. Pri tem lahko pride do nezaželenega onesnaženja pitne vode, zemlje, hrane ... Čeprav je voda z vidika varovanja okolja in našega zdravja ena izmed najbolj perspektivnih kapljev in v hidravličnih sistemih (HS), se še zelo malo uporablja **kot hidravlična kapljevina**. Ko govorimo o uporabi vode v HS, imamo v mislih pitno vodo brez dodatkov. Voda je bila uporabljena kapljevina v prvi serijsko izdelani hidravlični napravi. To je bila hidravlična stiskalnica, patentirana pred več kot dvesto leti [1]. Takrat so imeli veliko težav, povezanih s trajnostjo in funkcionalnostjo, saj niso imeli na razpolago ustreznih triboloških materialnih parov v drsnem kontaktu za uporabo z vodo predvsem zato, ker je bila brez mazalnih in protikorozijskih dodatkov. Pogonsko-krmilna hidravlika se

je začela intenzivneje razvijati v dvajsetem stoletju s pojavom mineralnega hidravličnega olja na trgu [2, 3]. Takrat se je uporaba vode kot hidravlične kapljevine hitro opuščala. Mineralno hidravlično olje, v primerjavi z vodo, pri uporabi klasičnih, predvsem jeklenih, materialov namreč omogoča daljšo uporabno dobo, dobro korozijsko zaščito, manj zastojev delovanja ter boljši volumetrični in mehansko-hidravlični izkoristek hidravličnih naprav. Ena izmed možnih tako imenovanih »mehkih« rešitev je uporaba biološko razgradljivih hidravličnih olj [4, 5]. Pri teh kapljevinah pa je problem v nujno potrebnih dodatkih, ki pa so slabše razgradljivi in škodljivi za okolje. Alternativa mineralnim hidravličnim oljem so lahko tudi ionske tekočine [6], ki pa še niso ustrezno razvite za resnejšo uporabo v hidravliki.

Iz omenjenih razlogov je več raziskovalcev iz različnih držav pred približno tridesetimi leti ponovno začelo raziskovati možnosti uporabe vode kot hidravlične kapljevine [2, 7, 8]. Na tem mestu je pomembno omeniti, da je pnevmatika lahko alternativna zamenjava za ekološko sporno oljno hidravliko samo v primerih, ko potrebujemo manjše sile in momente oz. manjše pogonske moči. Poleg tega je pnevmatika v takih primerih ustrezna le, če uporabljamo neomaščen zrak. Pnevmatične sestavine za takšen zrak so na tržišču razpoložljive že nekaj desetletij ([7], tudi proizvodi TIO Lesce).

Doc. dr. **Franc Majdič**, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

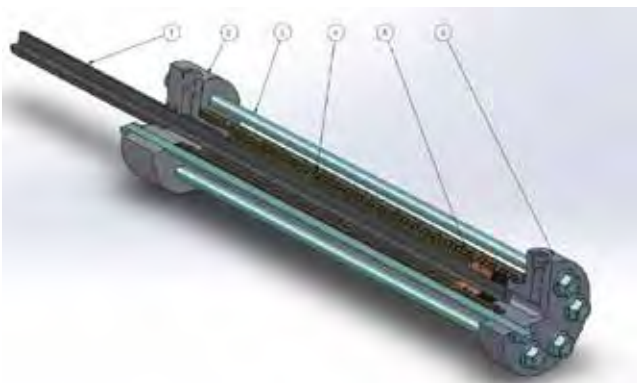
Uporaba vode kot hidravlične kapljevine namesto mineralnega hidravličnega olja pomeni znatne spremembe v delovanju hidravličnih sistemov (HS) zaradi njihovi različnih fizikalnih lastnosti. Voda ima namreč pri 20 °C za približno 30-krat nižjo kinematično viskoznost kot mineralno hidravlično olje, ima slabše mazalne lastnosti (izrazito tanjši mazalni film) ter izrazito višji uparjalni tlak pri 50 °C. Voda je znatno manj stisljiva kot mineralno hidravlično olje: pri 20 °C ima za 30 % do 60 % (odvisno od hitrosti spremembe stanja) višji modul stisljivosti. Voda povzroča tudi znatno korozijo pri materialih, ki so najpogosteje uporabljeni v oljno-hidravličnih napravah.

Trenutno na trgu razpoložljive vodno-hidravlične sestavine ne prepričajo večjega števila uporabnikov, da bi začeli pogosteje uporabljati to ekološko sprejemljivo alternativo oljni hidravliki. Glavni razlog je, poleg visoke cene, slaba razpoložljivost oziroma tržna dostopnost različnih vodno-hidravličnih sestavin.

Prispevek predstavlja prototip hidravličnega valja s kompozitno cevjo iz ogljikovih vlaken. Prikazani so rezultati porušitvenega testa cevi in rezultati dveh trajnostnih testov kompozitne cevi hidravličnega valja. Prvi je bil izveden z mineralnim hidravličnim oljem VG 46 in drugi s pitno vodo.

2 Preizkušani hidravlični valj s kompozitno cevjo

Namen te raziskave je izdelati ter testirati vzdržljivost in trajnost delovanja lažjega hidravličnega valja (HV) s kompozitno cevjo in jekleno batnico. Teža kompozitne cevi je v primerjavi z jekleno lahko do 80 % nižja [11]. *Slika 1* prikazuje zasnovo testiranega HV s kompozitno cevjo [12, 13]. HV sestavlja trdo kromirana jeklena batnica (poz. 1), prirobnična glava HV s posnemalom, vodilnim obročem, tesnilom ter navojem za cevni priključek (poz. 2), šest povezovalnih vijakov (poz. 3), kompozitna cev iz ogljikovih vlaken (poz. 4), bat s tesnilom in vodilnima obročema (poz. 5), dno HV (poz. 6) s statičnim tesnilom in pritrditvijo za uho HV (ni na sliki).



Slika 1 : Zasnovani hidravlični valj (HV) s kompozitno cevjo (Ø40 /22 x 305 [mm]) [13]

3 Vodno in oljno hidravlično preizkuševališče ter postopek preizkušanja

Za izvedbo preizkusov kompozitne cevi hidravličnega valja (HV) smo v Laboratoriju za fluidno tehniko (LFT) zasnovali dve ločeni hidravlični preizkuševališči, vodno in oljno. Na *sliki 2* je prikazan HV v zaščitni komori pred začetkom porušitvenega testa kompozitne cevi.



Slika 2 : Hidravlični valj s kompozitno cevjo v zaščitni komori pred visokotlačnim porušitvenim testom

Na *sliki 3* je vodno-hidravlično preizkuševališče. Oljno-hidravlično je funkcionalno podobno, vendar zgrajeno iz na trgu dostopnih oljno-hidravličnih sestavin. Glavne sestavine vodno-hidravličnega preizkuševališča so: rezervoar s prostornino 100 litrov (poz. 1), vrstna batna hidravlična črpalka z iztislino 11 cm³/vrt. (poz. 2) s parkljasto sklopko (poz. 11) in pogonskim elektromotorjem 11 kW (poz. 3), protipovratni ventil (poz. 4), varnostni ventil (poz. 10), razbremenilni ventil (poz. 9), tokovni ventil s tlačno kompenzacijo (poz. 5), proporcionalni potni ventil 4/3 (poz. 6 – **opomba**), tlačna zaznavala (poz. 7.1 in 7.2), testirani HV s kompozitno cevjo (poz. 8) ter dve končni stikali (poz. 22). Vodno preizkuševališče sestavlja še dodatni obtočni sistem s centrifugalno črpalko (poz. 12), z vodno-zračnim izmenjevalnikom toplote (poz. 13), s povratnim vodnim filtrom (poz. 14) ter temperaturnim (poz. 19) in nivojskim (poz. 18) stikalom. Poleg glavnih sestavin vodno-hidravličnega preizkuševališča smo za breme testiranega HV uporabili oljno-hidravlično preizkuševališče s HV (poz. 20) in vodilom batnice (poz. 21), z dvema tlačnima sekvenčnima ventiloma (poz. 27 in 29) z obtokom (poz. 28 in 30), oljno-hidravlično črpalko s pogonskim motorjem, varnostnim ventilom (poz. 24), oljno-zračnim izmenjevalnikom toplote (poz. 25) in povrtanim filtrom (poz. 26).

Opomba: Vodni proporcionalni potni ventil 4/3 poz. 6 na *sliki 3* na tržišču ne obstaja; za preizkus smo uporabili proporcionalni ventil, ki je bil za vodno hidravliko razvit na FS v Laboratoriju za fluidno tehniko (LFT) v okviru doktorske disertacije. Ventil je bil izdelan v celoti v SLO, testno je opravil 10 milijonov prekrmljen pod tlakom in je še vedno v celoti uporaben.

V preglednici 1 so prikazani hidravlični parametri, s katerimi smo izvedli oba trajnostna testa (oljno- in vodno-hidravlični) kompozitne cevi HV.

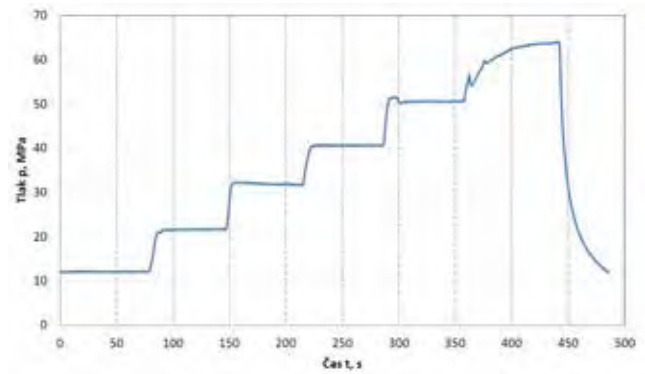
Na *sliki 4* je prikazan HV s kompozitno cevjo, vgrajen na preizkuševališču v Laboratoriju za fluidno tehniko Fakultete za strojništvo, Univerza v Ljubljani.



Slika 4 : Hidravlični valj s kompozitno cevjo na preizkuševališču pred začetkom trajnostnega testa

4 Rezultati meritev

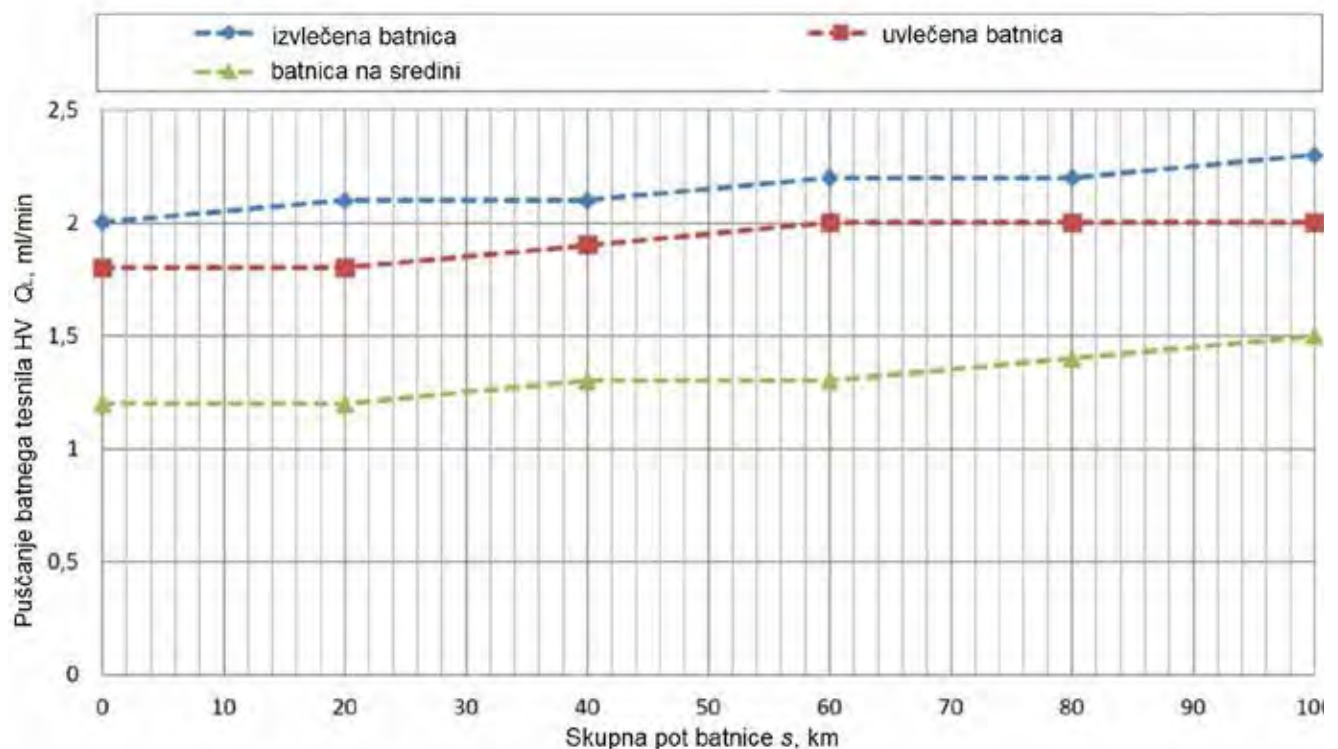
Najprej predstavljamo rezultate porušitvenega testa kompozitne cevi, nato rezultate trajnostnega testa HV na oljno-hidravličnem preizkuševališču in na koncu še rezultate trajnostnega testa kompozitne cevi HV na vodno-hidravličnem preizkuševališču.



Slika 5 : Meritev tlaka hidravličnega olja med porušitvenim testom kompozitne cevi

Slika 5 prikazuje rezultat meritve koračnega dviganja tlaka po 10 MPa v času izvajanja porušitvenega testa kompozitne cevi. Razvidno je, da se je lezenje materiala kompozitne cevi začelo pri tlaku 55 MPa, porušitev pa je nastopila pri tlaku 64 MPa (uporabljen je bil ojačevalnik tlaka).

Slika 6 prikazuje rezultat meritev notranjega puščanja med batom in notranjo površino stene kompozitne cevi med izvajanjem trajnostnega testa na oljno-hidravličnem preizkuševališču pri tlaku 15 MPa. Domnevamo, da se notranje puščanje pojavi v minimalni reži drsnega kontakta med tesnili bata in notranjo steno cevi. V trajnostnem testu smo izvedli 100 km poti, to je dolžine vseh gibov batnice, pri tlaku 14 MPa.



Slika 6 : Rezultati meritev notranjega puščanja batnih tesnil HV s kompozitno cevjo na oljno-hidravličnem preizkuševališču v odvisnosti od opravljene poti batnice pri tlaku 15 MPa



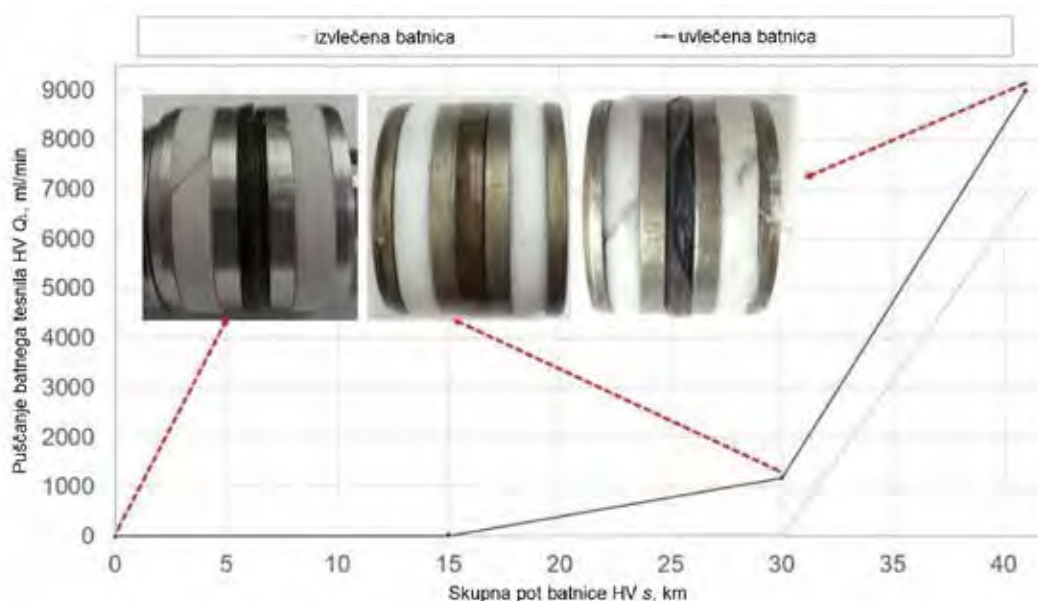
Slika 7 : Pojav zunanjega puščanja kompozitne cevi med oljno-hidravličnim trajnostnim testom HV

Trajnostni test smo izvajali pri tlaku 14 MPa, meritve puščanja pa pri tlaku 15 MPa. V celotnem obdobju testiranja smo izvedli 6 meritev notranjega puščanja, vsakokrat pri uvlečeni batnici, pri sredinskem položaju batnice in pri popolnoma izvlečeni batnici iz cevi HV. Najmanjše puščanje batnega tesnila, 1,25 ml/min, smo zaznali v primeru sredinske ustavitve bata/batnice HV pred začetkom trajnostnega testa. Največje puščanje batnega tesnila pa smo zaznali v primeru popolnoma izvlečene batnice, in sicer 2,3 ml/min, po opravljeni poti, torej celotni dolžini gibov batnice, 100 km. Kot je razvidno s slike 6, so bile pri vseh šestih meritvah, enakomerno razporejenih med trajnostnim testom, razlike med notranjim puščanjem pri izvlečeni in uvlečeni batnici ter pri batnici v sredinskem položaju skoraj konstantne, velikosti puščanj pa so malo porastle v vseh treh primerih, in sicer za 0,2 do 0,3

ml/min od začetka do konca trajnostnega testa 100 km dolžine gibov. Puščanje se torej ni vidneje povečalo, zato lahko trdimo, da je taka izvedba kompozitne cevi za oljno-hidravlični valj uporabna za nadaljnji razvoj in optimiranje.

Slika 7 prikazuje zunanje puščanje kompozitne cevi (kapljanje) mineralnega hidravličnega olja med trajnostnim testom. To kaže na porozno strukturo, ki je očitno nastala zaradi razslojevanja vlaken med tlačnim obremenjevanjem notranje stene cevi HV. Nekaj kapljic se je pojavilo proti koncu trajnostnega testa.

Slika 8 prikazuje rezultat meritev notranjega puščanja batnega tesnila proti notranji drsni površini stene kompozitne cevi med izvajanjem trajnostnega testa na vodno-hidravličnem preizkuševališču. Trajnostni test smo izvajali pri tlaku 14 MPa, meritve pa pri 15 MPa [14]. Pri vodno-hidravličnem trajnostnem testu smo, prav tako kot pri oljnem, želeli izvesti 100 km poti batnice pri tlaku 14 MPa v obe smeri gibanja, a nam to zaradi velike poškodbe drsne površine cevi ni uspelo. Trajnostni test HV na vodnem preizkuševališču se nam je ustavil že po 42 km opravljene poti v obe smeri gibanja obremenjene batnice. V celotnem obdobju testiranja smo izvedli 4 meritve notranjega puščanja (začetek, 15 km, 30 km in 42 km), vsakokrat v primeru popolnoma uvlečene batnice in v primeru popolnoma izvlečene batnice iz cevi HV. Najmanjše puščanje batnega tesnila, 0,5 ml/min, smo zaznali v primeru popolnoma izvlečene batnice HV pred začetkom testiranja. Takrat je bilo notranje puščanje pri uvlečeni batnici 1,5 ml/min. Največje puščanje batnega tesnila pa smo zaznali v primeru popolnoma uvlečene batnice, 9 l/min, po opravljeni poti batnice 42 km. V primeru izvlečene batnice je bilo puščanje batnega tesnila 6,9 l/min. Tako veliko puščanje je posledica prekomerno poškodovane drsne površine



Slika 8 : Rezultati meritev notranjega puščanja batnih tesnil HV s kompozitno cevjo na vodno-hidravličnem preizkuševališču v odvisnosti od opravljene poti batnice; tlak ob meritvah 15 MPa



Slika 9 : Poškodovana drsna površina kompozitne cevi po predčasno prekinjenem trajnostnem testu

kompozitne cevi in posledično tudi tesnila na batu. Po predčasno zaključenem testu kompozitne cevi na vodnem preizkuševališču (po opravljenih 42 km poti obremenjene batnice) lahko zaključimo, da tako izdelana kompozitna cev še ni primerna za uporabo v vodni hidravliki. Na tem področju bodo potrebne še nove raziskave in testiranja.

Slika 9, leva stran, prikazuje poškodovano drsno površino kompozitne cevi v prerezu po predčasni prekinitvi trajnostnega testa (po 42 km opravljene poti batnice) zaradi preobsežne poškodbe drsne površine. Slika 9, desna stran, pa prikazuje delce kompozitne cevi po poškodbi med trajnostnim testom na vodnem preizkuševališču.

5 Zaključki

Čeprav na trgu že obstaja nekaj proizvajalcev kompozitnih hidravličnih valjev (HV) za oljno hidravliko, ni dostopnih podatkov za razvoj kompozitnega HV za vodno hidravliko. Tribološke razmere znotraj HV (drsní kontakt batno tesnilo-drsna površina cevi) so ob uporabi vode kot hidravlične kapljevine izrazito drugačne kot pri mineralnem hidravličnem olju. Prispevek prikazuje zasnovo hidravličnega valja s kompozitno cevjo, preizkuševališče ter parametre in rezultate testiranja.

Porušitveni test kompozitne cevi smo izvedli na oljno-hidravličnem preizkuševališču. Cev se je porušila pri tlaku 64 MPa, kar je zelo obetavno. Glede na varnost bi takšno cev v oljni hidravliki verjetno brez težav lahko uporabljali za tlake do 35 MPa. Ti tlaki so namreč dandanes običajni v hidravličnih sistemih.

Rezultati trajnostnega testa kompozitne cevi na oljno-hidravličnem preizkuševališču optimistično kažejo možnosti širše uporabe kompozitov v oljno-hidravličnih sistemih. Notranje puščanje batnega tesnila HV na oljno-hidravličnem preizkuševališču po opravljenih 100 km poti obremenjene batnice ni preseglo 2,5 ml/min pri tlaku 15 MPa.

Pri trajnostnem testu kompozitne cevi HV na vodnem preizkuševališču pa se je pokazalo, da obstoječa cev ni primerna za uporabo v vodni hidravliki. Notranja drsna površina kompozitne cevi se je namreč že pred opravljenimi 30 km poti (gibov) bata (in batnice) vidno poškodovala, po 42 km opravljene poti pa smo testiranje ustavili. Puščanje je doseglo 9.000 ml/min pri tlaku 15 MPa, kar pomeni popolnoma neuporaben HV.

Glede na predstavljene rezultate bomo nadaljevali z razvojem kompozitnega hidravličnega valja v dveh smereh: testiranje pri višjih tlakih (35 MPa) na oljnem preizkuševališču ter tribološke raziskave različnih kompozitnih premazov v kombinaciji z različnimi materiali in oblikami batnih tesnil v vodi brez dodatkov.

Literatura

- [1] Bramah, J.: The Hydraulic Press. U K Patent No. 2045, 1795.
- [2] Trostmann, E.: Water Hydraulics Control Technology. Lyngby, Technical University of Denmark, 1996.
- [3] Murrenhoff, H.: Grundlagen der Fluidtechnik Teil 1, Hydraulik. 5th ed., IFAS, Aachen, 2007.
- [4] Kalin, M., Majdič, F., Vižintin, J., Pezdarnik, J., Velkavrh, I.: Analyses of the Long-Term Performance And Tribological Behaviour of an Axial Piston Pump Using Dimond-like-Carbon-Coated piston Shoes and Biodegradable Oil. Journal of Tribology, vol. 130, 2008.
- [5] Kalin, M., Majdič, F., Vižintin, J., Pezdarnik, J.: Performance of axial piston pump using DLC-coated piston shoes and biodegradable oil. The 12th Nordic Symposium on Tribology, Helsingor, Denmark, 2006.
- [6] Lovrec, D.: Ionic liquid as a novel, high performance hydraulic fluid - selection process. V: In-

- ternational scientific conference on advances in mechanical engineering, Debrecen, Hungary, 2017.
- [7] Koskinen, K., Leino, T., Riipinen, H.: Sustainable development with water hydraulics – possibilities and challenges. Proceedings of the 7th JFPS Interantional Symposium in Fluid Power, Toyama, Japan, Vol. 1, pp. 11– 8, 2008.
- [8] Kitagawa, A.: Co-operation between Universities and Water Hydraulic Companies in Japan. The Sixth Scandinavian International Conference on Fluid Power, Tampere, Finland, 1999.
- [9] Šitum, Ž.: Applying Different Controller Structures for Position Control of Pneumatic Servo System. *Strojarstvo* 48, 5–6, 261–271, 2006.
- [10] Trostmann, E., Frolund, B., Elesen, B. H., Hilbrecht, B.: Tap Water As A Hydraulic Pressure Medium. Marcel Dekker, New York, 2001.
- [11] J. Beyer: Leicht, hochfest und korrosionsbeständig. *Fluid 04* (2015), 30–31.
- [12] Majdič, F.: Duration test of carbon fibre hydraulic cylinder: water&oil. International scientific conference on advances in mechanical engineering, Debrecen, Hungary, 2017.
- [13] Vesel, M.: Testiranje hidravličnega valja iz ogljikovih vlaken, Diplomsko delo visokošolskega strokovnega študija I. stopnje, delo v izdelavi, Ljubljana, 2018.
- [14] Kužnik, A.: Testiranje karbonskega vodno-hidravličnega valja, Zaključna naloga univerzitetnega študijskega programa, I. stopnje strojništva, Ljubljana, 2016.

Applicability of Composite Hydraulic Cylinder Tube Research

Abstract:

Paper presents information about possibility of using tap water without any additives as hydraulic liquid instead of the nowadays widely used mineral hydraulic oil. Hereinafter we present the most important basic properties of tap water, its impact on the environment, the current use of water hydraulics and state of the art. After that follows presentation and description of the carbon fibre hydraulic cylinder for water as liquid, test rigs, procedures of the tests, main parameters of the tests and results of hydraulic and tribological investigations. The carbon fibre tube was able to withstand a burst test up to a pressure of 64 MPa. Composite hydraulic cylinder was after 100 km of total stroke of rod (and piston) under load in oil without damage. In water only 42 km of total rod stroke was carried out, because drastic damage of the sliding surface and consequently damage of piston seal occurred.

Keywords:

hydraulics, water, hydraulic oil, hydraulic cylinder, composite tube, carbon fibres, tests

28. TEHNIŠKO POSVETOVANJE VZDRŽEVALCEV SLOVENIJE

VZDRŽEVANJE

2018



DRUŠTVO
VZDRŽEVALCEV
SLOVENIJE
DVS

18. in 19. oktober 2018

www.tpvs.si

