

Novi krmiljeni protipovratni ventil s kontroliranim odpiranjem in zapiranjem

Marko MEDEN, Franc MAJDIČ

Izveček: V prispevku so predstavljeni razvoj, izvedba in testiranje delovanja novega krmiljenega protipovratnega ventila. Glavni namen je bil razviti ventil, ki popolnoma tesni in omogoča »mehko« speljevanje in ustavljanje bremena. V nadaljevanju je prikazan povzetek pregleda tržišča obstoječih krmiljenih protipovratnih in zavornih ventilov, izvedena je zasnova novega krmiljenega protipovratnega ventila in ustrezni izračuni. V podrobnem opisu delovanja novega krmiljenega protipovratnega ventila so razloženi detajli in posebnosti pri delovanju ventila. Izvedene so bile meritve dinamičnih karakteristik novega krmiljenega protipovratnega ventila med delovanjem. Kontrola tesnjenja novega krmiljenega protipovratnega ventila je bila izvedena statično pri različnih tlakih. Prototip novega krmiljenega protipovratnega ventila je zadovoljil vsem konstrukcijskim zahtevam in izpolnjuje začetna pričakovanja.

Ključne besede: hidravlika, zavorni ventil, krmiljeni protipovratni ventil, notranje puščanje, kontroliran vklop/ izklop

1 Uvod

Pri sistemih pogonsko-krmilne hidravlike, ki imajo funkcijo dviganja in/ali spuščanja bremena v vertikalni smeri, je zelo pogosto potrebno zadostiti naslednjim zahtevam:

- mirovanje bremena oz. naprave na neki poziciji za dlje časa,
- mirno oziroma nesunkovito speljevanje in ustavljanje bremena,
- delovanje hidravličnega pogonskega sistema, neodvisno od temperature,
- enakomerno dviganje oz. spuščanje bremena.

Naštetim zahtevam lahko zadostimo s pomočjo vgradnje proporcional-

nih oz. servopotnih ventilov, vgradimo krmiljene protipovratne ventile (KPPV) ali pa lahko tudi zavorne ventile sedežnega tipa. Pri tem pa je potrebno upoštevati, da je vgradnja proporcionalnih oz. servoventilov veliko dražja in zahteva krmiljenje oziroma regulacijo preko ustreznih krmilnih kartic in programske opreme, vgradnja krmiljenih protipovratnih ali zavornih ventilov pa je znatno cenejša in ne potrebuje posebnega krmiljenja oz. regulacije [1]. Glede na to, da so nekateri sistemi enostavni, brez posebnih zahtev glede krmiljenja, a je vseeno potrebno zadostiti prej navedenim zahtevam, se pogosto vgrajujejo krmiljeni protipovratni (KPPV) ali zavorni ventili.

Dandanes na tržišču dostopni KPPV in zavorni ventili skoraj nikoli ne zadostijo vsem zahtevam, ampak le nekaterim. Zato smo se odločili za analizo primerov njihove vgradnje v hidravlične pogonske sisteme in za temeljit pregled tržišča KPPV in za-

vornih ventilov ter analizo prednosti oz. dobrih rešitev, pa tudi slabosti z vidika same konstrukcijske izvedbe ventilov. Rezultate opravljene analize smo uporabili pri razvoju novega KPPV, ki bi zadostil vsem navedenim zahtevam.

2 Novi krmiljeni protipovratni ventil (KPPV)

2.1 Pregled tržišča KPPV in zavornih ventilov

Na tržišču obstaja veliko različnih izvedb KPPV in zavornih ventilov številnih izdelovalcev [3, 4]. Pregledali smo številne izvedbe tovrstnih ventilov različnih izdelovalcev.

Prednosti in slabosti ventilov smo ocenjevali glede na naslednje kriterije:

- možnost nastavljanja hitrosti odpiranja in zapiranja zapiral (konusov in kroglic),

Marko Meden, univ. dipl. inž.,
dr. Franc Majdič, univ. dipl. inž.,
oba, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

- način vgradnje sestavnih delov posameznega ventila z ozirom na odzivnost celotnega ventila oz. sistema [5],
- odvisnost ventila od temperaturnih sprememb,
- velikost notranjega puščanja ventila.

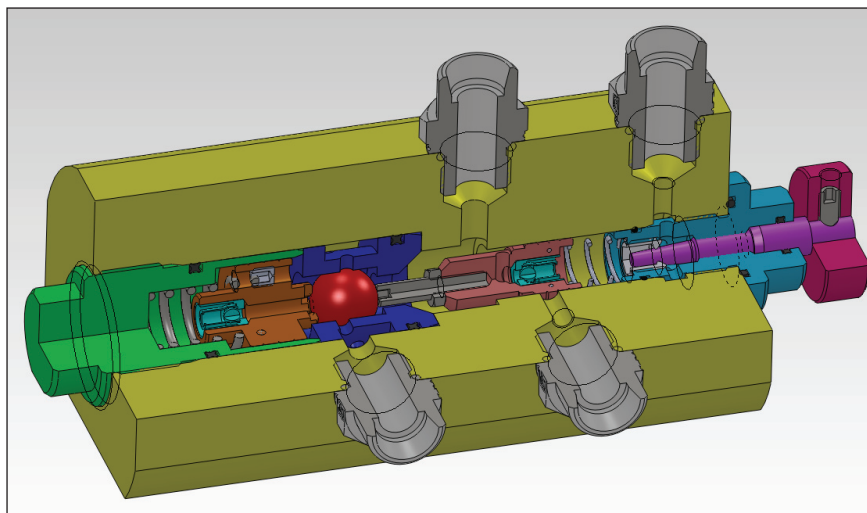
Možnosti nastavljanja hitrosti odpiranja in zapiranja zapirnih elementov nima noben od obstoječih KPPV ali zavornih ventilov, verjetno predvsem zaradi dejstva, da bi bila njegova izdelava zahtevnejša, pa tudi zato, ker pri številnih hidravličnih operacijah ne potrebujemo nastavljanja hitrosti odpiranja in zapiranja zapirnih elementov. Nekateri proizvajalci zagotavljajo, tesnjenje ventilov, drugi podajajo vrednosti notranjega puščanja. Spet tretji notranje puščanje samo omenijo. Večina obstoječih ventilov ima vgrajene dušilke oz. ima oblikovno izvedeno dušenje, vsi so temperaturno odvisni, saj ima hidravlično olje pri različnih temperaturah različno viskoznost, kar pa vpliva na velikost pretoka skozi dušilke in posledično odzivnost ventila.

2.2 Razvoj novega KPPV

Po pregledu tržišča obstoječih KPPV in zavornih ventilov smo na podlagi zahtev in želja izdelali več konceptualnih rešitev in izbrali najboljšo. Na *sliki 1* je prikazan prototip novega krmiljenega protipovratnega ventila, ki je bil zasnovan po predhodni konceptualni rešitvi. Vsi sestavni deli so



Slika 1. Prototip novega KPPV



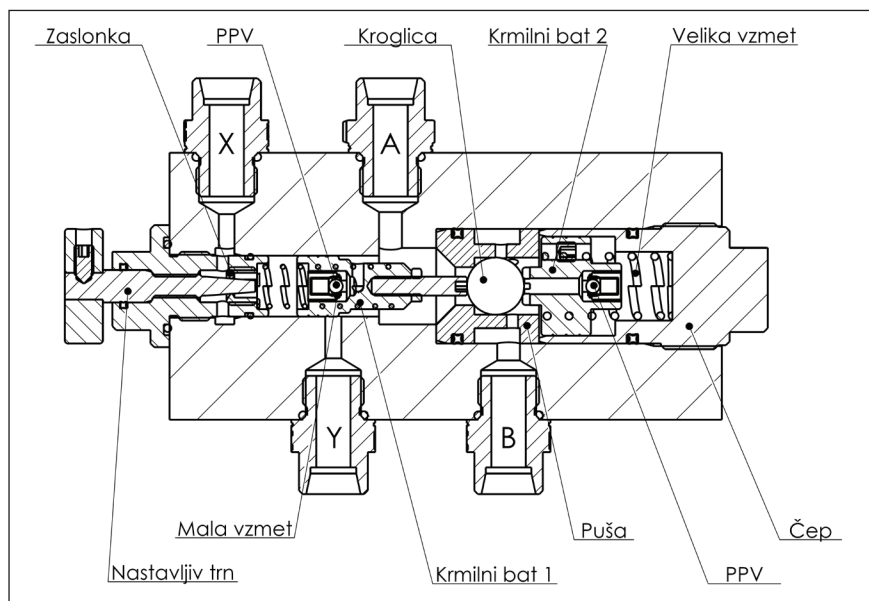
Slika 2. Prototip novega KPPV v prerezu

izdelani iz jekla za poboljšanje C45. *Slika 2* prikazuje prototip novega KPPV v prerezu. Na novo razviti KPPV je enostaven za izdelavo ter zagotavlja učinkovito tesnjenje med kroglico in sedežem. Hkrati pa s pomočjo vgrajenih zaslonk in malih protipovratnih ventilov (PPV) zagotavlja »mehko« speljevanje in ustavljanje bremena.

2.3 Delovanje novega KPPV

Delovanje novega KPPV lahko razdelimo v več faz, in sicer: dviganje bremena, mirovanje bremena ter spuščanje. Za lažje sledenje opisa delovanja novega KPPV so na *sliki 3* označeni vsi pomembnejši sestavni deli.

Prototip novega KPPV je blokovne izvedbe z nastavljivim dušenjem na krmilnem vodu. Glavni element, ki preprečuje nezaželeno spuščanje (»popuščanje«) bremena, je kroglica. Kroglica mora biti ustrezno obdelana (polirana) in mora imeti ustrezno trdoto (ustrezna toplotna obdelava). Standardna kroglica, ki ustreza našim zahtevam, je kar kroglica, ki se uporablja za izdelavo krogličnih ležajev. Kroglica nalega na sedež, ki je obenem tudi nosilna puša kroglice. Sedež kroglice ima po obodu izdelane luknje, ki omogočajo pretok olja iz voda A v vod B in obratno. Sedež kroglice mora biti izdelan iz »mehkejšega« materiala kot kroglica zato, da kroglica rob sedeža minimalno deformira ter tako zagotovi tesnjenje



Slika 3. Novi KPPV v prerezu

od voda B proti vodu A brez notranjega puščanja. Kontroliranje odpiranja in zapiranja kroglice je izvedeno preko nastavljive zaslonke, malih protipovratnih ventilov in fiksne zaslonke, vgrajene v krmilni bat 2.

Pri dviganju bremena ima od voda A proti vodu B kapljevina prost pretok, premagati mora le silo vzmeti na desni strani, da odrine kroglico. Hitrost premikanja kroglice uravnava zaslonka, vgrajena v krmilni bat 2. Zaslonka preprečuje prehitro umikanje olja iz komore za krmilnim batom 2. Ustavitev dviganja bremena je kontrolirana preko krmilnega bata 1, ki potiska hidravlično olje skozi nastavljivo zaslonko. Ta kontrolira umikanje olja iz komore za krmilnim batom 1. Da pri ustavljanju zagotovimo, da krmilni bat 2 ustrezno sledi kroglici, smo vanj (v krmilni bat 2) vgradili mali protipovratni ventil (PPV). Ko se breme ustavi in miruje, tlak, ki ga ustvarja breme, pritiska kroglico ob sedež in tako preprečuje spuščanje bremena. Za zaželeno spuščanje bremena pa potrebujemo tlak olja v krmilnem vodu X. Ta krmilni tlak premakne krmilni bat. Ta pomakne kroglico in odpre prost pretok olja od voda B proti vodu A. Hitrost odpiranja kroglice je odvisna od nastavitve nastavljive zaslonke, ki omejuje pretok olja po krmilnem vodu X do krmilnega bata 1. Dodatno omejuje hitrost še zaslonka na desni strani. Ta zaslonka preprečuje prehitro umikanje olja iz komore za krmilnim batom 2.

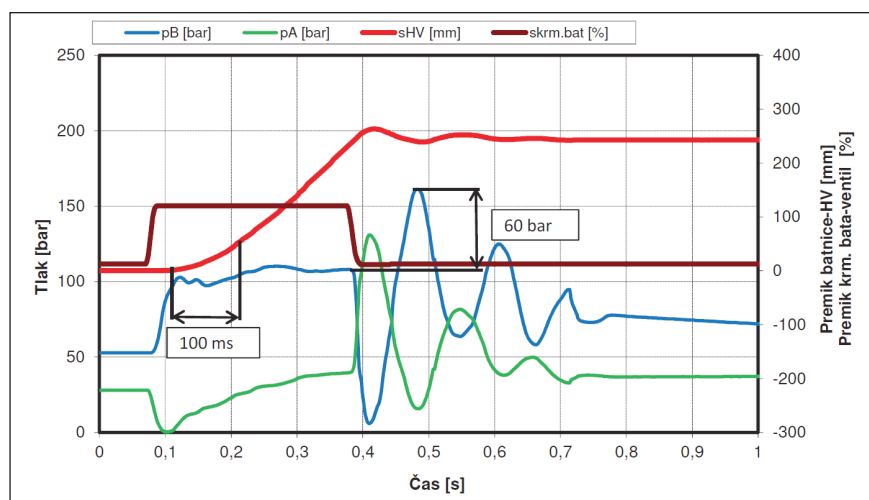
3 Eksperimentalna določitev karakteristike ventila

Novi KPPV smo vgradili na preizkuševališče ter merili njegove dinamične karakteristike med dviganjem in spuščanjem bremena. Za primerjavo smo merili dinamične karakteristike tudi na tržišču dostopnem primerljivem KPPV [3]. Meritve dinamičnih karakteristik so bile opravljene pri sistemskem tlaku 200 barov in pretoku 40 l/min. Meritve smo ločeno opravljali za dviganje in spuščanje bremena. Za breme je služila utež 163 kg v vertikalnem položaju. Za dviganje in spuščanje uteži smo upo-

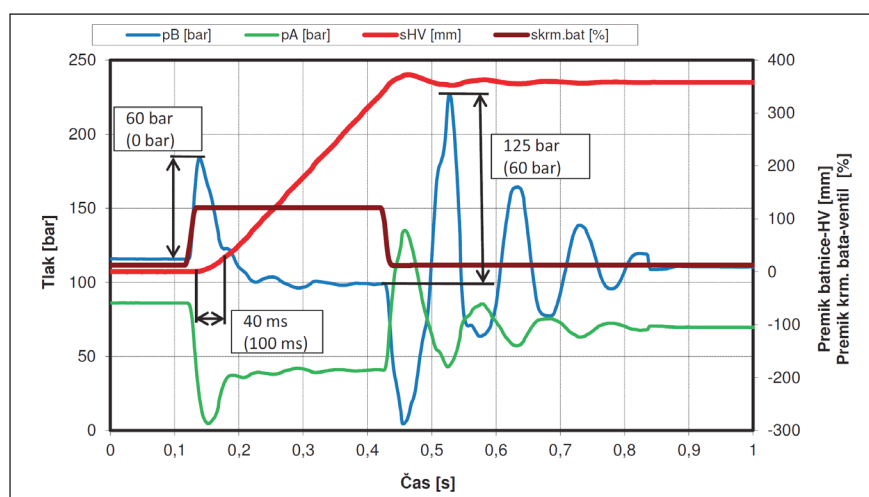
rabili hidravlični valj Ø32/22x450 s skožnjo batnico. Dviganje in spuščanje bremena smo vklapljali preko proporcionalnega 4/3-potnega ventila, ki smo ga krmilili s programsko

aplikacijo Labview. Z njo smo zajemali tudi podatke.

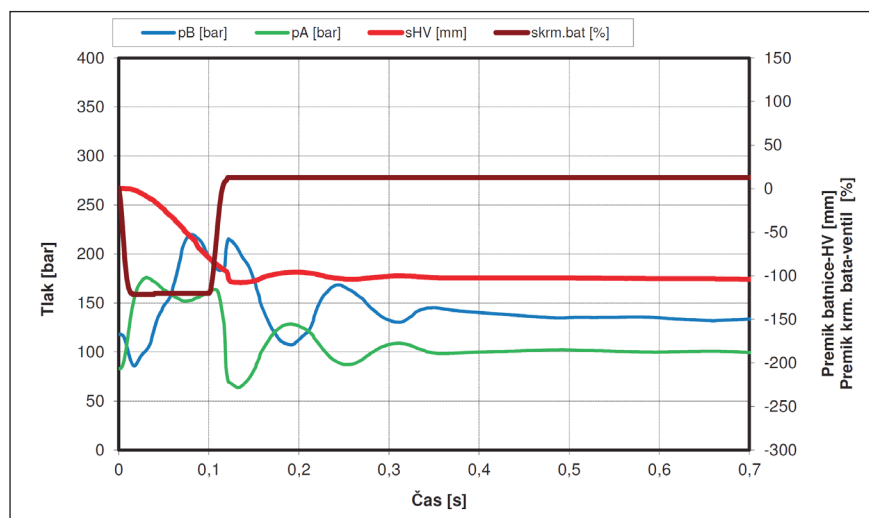
Pri prekrmljenju je bil premik krmilnega bata proporcionalnega



Slika 4. Meritev dinamičnih karakteristik novega KPPV pri dviganju



Slika 5. Meritev dinamičnih karakteristik primerljivega KPPV pri dviganju



Slika 6. Meritev dinamičnih karakteristik novega KPPV pri spuščanju

4/3-potnega ventila vedno 100 %, za spuščanje bremena je bil ventil odprt 0,1 s, za dviganje bremena pa 0,3 s.

Pri meritvah dviganja (slika 4 in slika 5) in spuščanja bremena (slika 6 in slika 7) je pot premika batnice (s_{HV}) označena z rdečo, premik krmilnega bata proporcionalnega 4/3-potnega ventila ($s_{krm.bat}$) z rjavo, tlak na spodnji strani hidravličnega valja (p_B) z modro in tlak na zgornji strani hidravličnega valja (p_A) z zeleno barvo.

Slika 7 prikazuje porast tlaka (p_B) 210 bar pri ustavitvi bremena. Časa po-
jemanja in pospeševanja bremena ni bilo mogoče odčitati.

3.3 Tesnjenje novega KPPV

Tesnjenje smo preverjali tako, da smo obremenili vstopni vod (tlak bremena) novega KPPV. Testiranje je bilo opravljeno pri tlakih 50, 100, 150, 200 in 250 barov. Pri vsaki na-

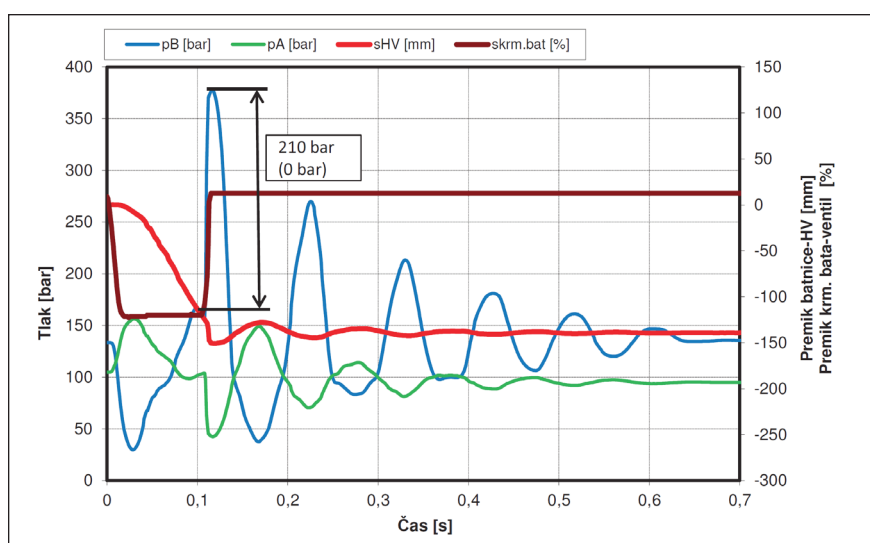
standardno deviacijo. Pri računanju volumna notranjega puščanja smo upoštevali, da je volumen ene kapljice 0,024 ml [2]. Slika 8 prikazuje velikost notranjega puščanja novega KPPV v mililitrih v območju tlakov med 50 in 250 bar.

4 Diskusija in zaključek

Razvili in zasnovali smo nov krmiljeni protipovratni ventil, ki ima manjše notranje puščanje od vstopnega (tlak bremena) proti izstopnemu vodu kot večina KPPV in zavornih ventilov, dostopnih na tržišču. Zagotavlja »mehko« speljevanje in ustavljanje bremena in deluje neodvisno od temperaturnih razmer, torej neodvisno od sprememb viskoznosti kapljavine.

Tesnjenje z manjšim notranjim puščanjem smo zagotovili s pušo in kroglico. Za kroglico smo uporabili standardno ležajno kroglico, ki je cenovno ugodna, ustrezno toplotno obdelana in ima ustrezno obdelavo površine. Poleg tega je tesnjenje zagotovljeno ne glede na položaj kroglice v puši. Puša je izdelana iz mehkejšega materiala, zaradi česar pride do njene mikrodeformacije, s tem pa do učinkovitejšega tesnjenja.

Mehko speljevanje in ustavljanje je zagotovljeno z vgradnjo zaslonk in malih protipovratnih ventilov, ki zagotavljajo kontrolirano premika-



Slika 7. Meritev dinamičnih karakteristik primerljivega KPPV pri spuščanju

3.1 Dviganje bremena

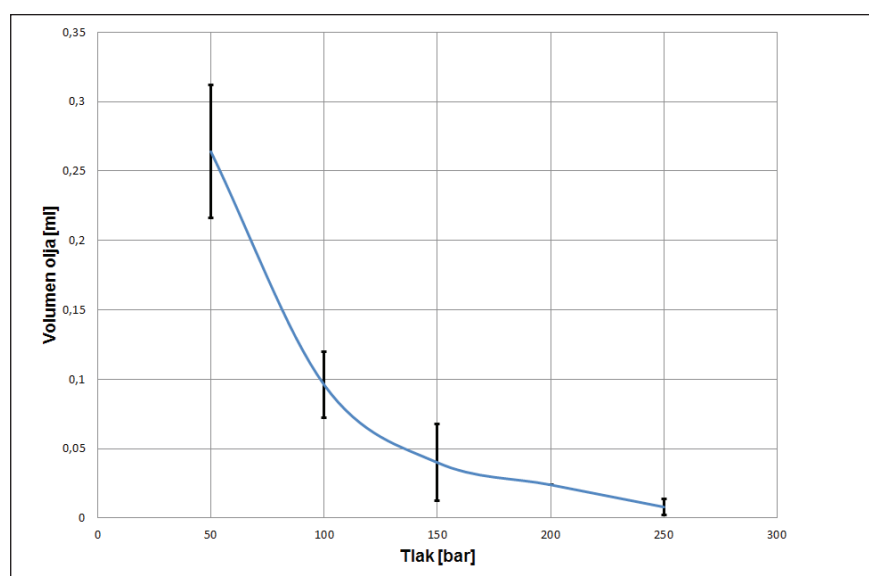
Na sliki 4 je prikazan izmerjeni odziv novega KPPV med dviganjem bremena in po njegovi zaustavitvi. Čas pospeševanja batnice hidravličnega valja je bil 100 milisekund (v nadaljevanju ms), porasta tlaka na začetku dviganja ni (≈ 0 bar). Porast tlaka pri ustavitvi dviganja je bil 60 bar. Časa po-
jemanja ni bilo mogoče odčitati.

Na sliki 5 je prikazan izmerjen odziv primerljivega KPPV med dviganjem bremena in njegovo zaustavitvijo. Čas pospeševanja batnice hidravličnega valja je bil 40 ms, porast tlaka na začetku dviganja pa 60 bar. Porast tlaka pri ustavitvi dviganja je 125 bar. Časa po-
jemanja ni bilo mogoče odčitati.

3.2 Spuščanje bremena

Na sliki 6 je prikazan porast tlaka p_B (≈ 0 bar) po končanem spuščanju pri ustavitvi bremena.

stavitvi tlaka smo merili tesnjenje 5 min in pri tem šteli kapljice, ki so iztekale iz priključka KPPV-ja v merilni valj. Vsaka meritev je bila trikrat ponovljena. Na sliki 8 so prikazani povprečni rezultati z označeno



Slika 8. Preverjanje tesnjenja po količini olja v času 5 minut

nje kroglice in s tem zanesljivost in ustreznost delovanja.

Čas pospeševanja znaša pri novem KPPV 100 ms, pri primerljivem KPPV pa 40 ms. Daljši, kot je čas pospeševanja bremena, bolj »mirno« breme spelje. Čas pospeševanja novega KPPV je v našem primeru za 2,5-krat daljši kot pri primerljivem KPPV. Razlog za to je predvsem v zaslonki, ki je vgrajena v krmilni bat 2. Ta zaslonka namreč omejuje umikanje olja iz komore za krmilnim batom 2 ter tako zagotovi umirjeno odpiranje kroglice pri novem KPPV.

Porast tlaka zaradi hidravličnega udara na začetku dviganja je bil izrazit pri primerljivem KPPV (60 bar), medtem ko je pri novem KPPV tlak narasel na delovni tlak, potreben za dviganje; porasta zaradi udara pa sploh ni zaznati. Hidravlični udar je

tako na začetku dviganja popolnoma izničen ob uporabi novega KPPV. To lahko pripišemo ustreznemu prednapetju velike vzmeti, ki zagotavlja ustrezno silo, s katero kroglica nalega na sedež kroglice, in pa zaslonki, vgrajeni v krmilni bat 2. Tako zagotovimo ustrezno hitrost odpiranja kroglice, kar pri ostalih dveh konfiguracijah ni mogoče.

Porast tlaka, kot posledica hidravličnega udara na koncu dviganja, je pri novem KPPV znašal 60 bar, pri primerljivem KPPV pa 125 bar. Porast tlaka pri primerljivem KPPV je večji predvsem zaradi trenutnega zaprtja kroglice. Novi KPPV ima daljši čas zapiranja kroglice zaradi vgrajene nastavljive zaslonke na krmilnem vodu, ki onemogoča zapuščenje olja iz komore za krmilnim batom 1. Zaradi tega je porast tlaka pri novem KPPV za polovico manjši kot pri primer-

ljivem KPPV. Potrebno je tudi opozoriti, da med hidravličnim valjem in KPPV ni bilo nobene gibke cevi.

Ker imamo v ventilu vgrajene zaslonke, na njegovo delovanje ne vpliva spreminjanje temperature oziroma viskoznosti kapljevine.

5 Literatura

- [1] Pezdarnik, J., in Majdič, F.: Skripta Hidravlika in Pnevmatika, Ljubljana, 2011.
- [2] Pečar, U.: Odvisnost velikosti oljne kapljice na vodni površini od temperature vode, Ljubljana, 1996.
- [3] Kladivar: Katalog hidravličnih sestavin, 2007.
- [4] Parker: Hydraulic Valves Industrial standard, Catalogue HY15-3501/US, 2010.
- [5] Savič, V.: Uljna hidraulika 1, Dom štampe Zenica.

New pilot operated non-return valve with controlled opening and closing

Abstract: The paper presents the development, construction and testing procedure of a new pilot-operated check valve. The main purpose to develop the new pilot-operated check valve was the need for a valve that completely closes the flow and allows »soft« starting and stopping of the load. Further here is a short review of pilot-operated and counterbalance valves that are available on the market. The design and relevant calculations of the new pilot-operated check valve is elaborated. The detailed functional description of the new valve gives us its details and functional properties. Operational dynamic characteristics of this new valve were measured too. The sealing effect of presented valve was tested at different pressures at stationary conditions. The prototype of this new pilot-operated check valve satisfies all design requirements and fulfils the initial expectations.

Key words: hydraulics, brake valve, pilot operated non-return valve, internal leakage, controlled on / off