

# PREIZKUŠANJE HIDRAVLICNIH FILTROV – VEČPREHODNI TEST PO STANDARDU ISO 16889:2008

Nejc Čegovnik, dr. Franc Majdič

## Izveček:

Inženirji se v industriji vsakodnevno srečujejo z različnimi stroji, katerih delovanje je odvisno od hidravličnih sistemov. Da bi stroji delovali nemoteno, je treba posebno skrb nameniti hidravlični kapljevini. Z izbiro ustreznih filtrirnih elementov izboljšamo proces filtracije in s tem stanje čistoče hidravlične kapljevine, kar dolgoročno pripomore k podaljšanju uporabne dobe hidravličnih sestavin in zanesljivosti delovanja hidravličnih sistemov. Da bi izbrali najprimernejši filtrirni vložek, so bile razvite različne metode njihovega vrednotenja in testiranja. Mednje sodi tudi *večprehodni test po standardu ISO 16889:2008 (Multi-pass method for evaluating filtration performance of a filterelement)*.

## Ključne besede:

večprehodni test, filtrirni element, hidravlična kapljevina, razmerje filtracije, čistoča

## 1 Uvod

Pri večprehodnem testu (ang. Multi-pass test), ki ga opisuje standard ISO 16889:2008, ugotavljamo kvaliteto filtriranja. Hidravlična kapljevina ima konstanten (testni) pretok skozi testirani filtrirni element in je namensko onesnažena s testnim prahom ISO MTD (ang. Medium test dust). Pri tem je treba ves čas meriti število delcev na vtoku v filtrirno enoto (filter) in na iztoku iz nje. Prav tako kot število delcev je pomembno tudi spremljanje diferencialnega tlaka na filtrirnem elementu. Ta tlak narašča glede na maso delcev, ki jih filtrirni element zadrži.

Za samo izvajanje testa je treba natančno preučiti standard ISO 16889:2008, se za nemoten in pravičen postopek testiranja seznaniti z vsemi zahtevami standarda ter zahtevami glede merilne in hidravlične opreme, ki je potrebna za ustrezno zgrajeno preizkuševališče. Po koncu testiranja je treba analizirati in prikazati rezultate tako, kot to zahteva standard, in opraviti vse pripadajoče izračune, izpolniti vse predpisane obrazce in izrisati vse pripadajoče grafe.

Nejc Čegovnik, mag. inž. str., Litostroj Power, d. o. o., Ljubljana; doc. dr. Franc Majdič, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

## 2 Postopek testiranja

Standard omogoča izbiro med tremi različnimi testnimi pogoji oziroma omogoča testiranje filtrirnih elementov pri treh različnih gravimetričnih volumnih olju dodanega testnega prahu in sicer 3 mg/l, 10 mg/l in 15 mg/l. Testni pogoji (eden od gravimetričnih volumnov), pri katerem se bo izvajalo testiranje, izbere naročnik ali laborant. Vendar pa je treba, če enak filtrirni element testiramo večkrat, vedno testirati pri istem testnem pogoju, torej pri enakem gravimetričnem volumnu dodanega prahu. Tudi kadar testiramo dva različna filtrirna elementa zaradi primerjave, je treba testiranje obeh izvesti pri enakem pogoju [1].

Iz izbranega pogoja po enačbah v standardu nato izračunamo potreben dozorni volumen in potrebno maso kontaminanta (testnega prahu), ki ga dodamo v hidravlično kapljevino [1].

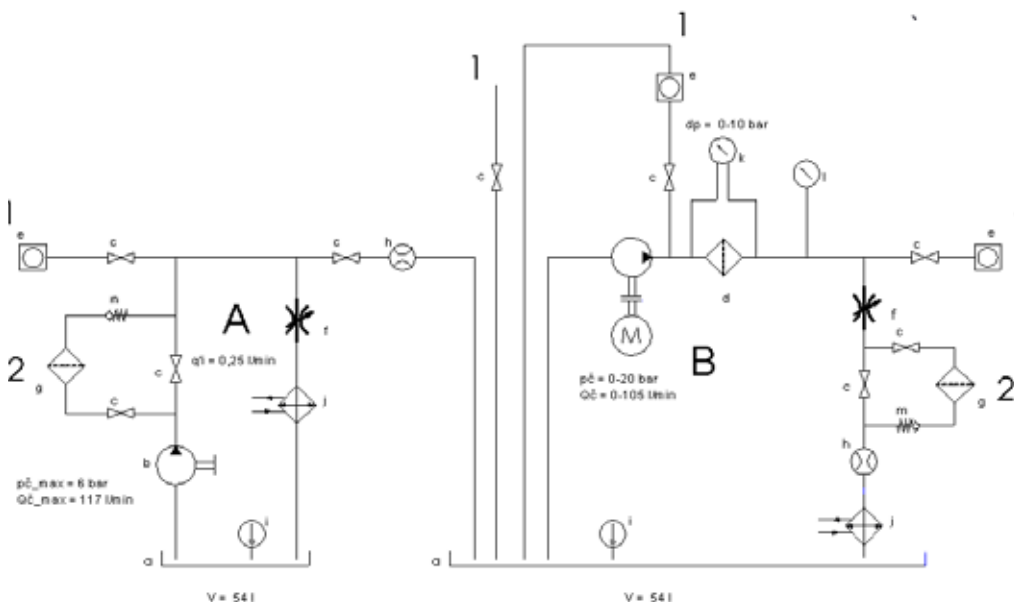
V osnovi poteka test v dveh podsistemih, sistemu (podsistemu) doziranja kontaminanta in testnem filtrirnem sistemu (podsistemu). Oba sta prikazana na *sliki 1*. V sistemu doziranja kontaminanta se izvaja priprava hidravlične kapljevine za kasnejše testiranje. V hidravlično kapljevino v dozirnem sistemu dodamo kontaminant in ga razpršimo z ultrazvočnim mešalom, da se prah (delci kontaminanta) enakomerno razporedi po celotnem volumnu. Kapljevina nato v dozirnem sistemu kroži, da kontaminant ostaja enakomerno razporejen po kapljevini. S pričetkom testiranja preko krogelnega zapirnega ventila, označenega na *sliki 1*, iz dozirnega sistema dovajamo kontaminirano olje s pretokom 0,25 l/min v rezervoar filtrirnega sistema [1].

**Preglednica 1 :** Vrednost testnih pogojev [1], ki jih ponuja standard ISO 16889 na izbiro

Parameter	Pogoj 1	Pogoj 2	Pogoj 3
Začetni gravimetrični volumen v filtrirnem sistemu	Manj kot 1 % minimalnega volumna, določenega v preglednici 4 (ISO 16889), merjenega pri najmanjši velikosti štetih delcev.		
Začetni gravimetrični volumen v dozirnem sistemu	Manj kot 1 % dozirnega gravimetričnega volumna		
Osnovni vhodni gravimetrični volumen, mg/l <sup>a</sup>	3 ± 0,3	10 ± 1,0	15 ± 1,5
Priporočena velikost delcev	Najmanj 5 različnih velikosti, vključno s 30 µm <sub>0</sub> , izbrani so glede na domnevno zmožnost filtriranja filtra v območju od 2 < β > 1000. Tipične velikosti delcev so 4 µm <sub>0</sub> , 5 µm <sub>0</sub> , 6 µm <sub>0</sub> , 7 µm <sub>0</sub> , 8 µm <sub>0</sub> , 10 µm <sub>0</sub> , 12 µm <sub>0</sub> , 14 µm <sub>0</sub> , 20 µm <sub>0</sub> in 25 µm <sub>0</sub>		
Metoda štetja in vzorčenja	»On-line« avtomatski števec delcev		

<sup>a</sup> Če primerjamo dva filtra med seboj, mora biti osnovni vhodni gravimetrični volumen enak.

<sup>b</sup> Kadar testiramo zelo fin filter, se lahko zgodi, da štejemo delce, za katere je filtracija prenizka npr. 2 < β > 10. Kadar pa testiramo grob filter, se zgodi, da štejemo tiste delce, za katere je filtracija previsoka, npr. 200 < β > 1000, ker meritve niso v območju delovanja APC ali ne zadostujejo testnim pogojem.



**Slika 1 :** Celoten hidravlični sistem, ustrezen za izvajanje testiranja filtrirnih elementov po postopku večprehodnega testa ISO 16889:2008 Multi-pass test.

## Validacija sistema doziranja kontaminantov

Pred začetkom testiranja je treba izvesti postopek validacije filtrirnega in dozirnega sistema. Validacija razkrije efektivnost testnega tokokroga, z njo določimo ustrezno vsebnost kontaminanta oziroma preprečimo spreminjanje njegove vsebnosti. Validacijo izvedemo za oba podsistema [1], [2].

Validacijo dozirnega sistema izvedemo pri največjem gravimetričnem volumnu, največjem dozirnem volumnu, najmanjšem dozirnem pretoku in pri času, ki je potreben za zmanjšanje volumna, ki ga uporabljamo. Najprej dodamo v sistem testni prah, ki mora krožiti v sistemu najmanj 15 minut. Pretok v dozirnem sistemu naj bo ločen od ostalega sistema in mora imeti vrednost v območju ± 5 % zelenega

pretoka. Treba je izmeriti pretok in zajeti vzorce pri 30-ih, 60-ih, 90-ih in 120-ih minutah oziroma v štirih enakih časovnih intervalih. Test validacije je sprejet, če je gravimetrični volumen vzorcev v območju ± 10 % gravimetričnega volumna, predpisanega v preglednici 1, in če vzorci med seboj ne odstopajo za več kot ± 5 %. Prav tako mora biti pretok vsakega vzorca v območju ± 5 % predpisanega v preglednici in med vzorci ne sme odstopati za več kot ± 5 %. Volumen, ki je ostal v sistemu, vključno s povprečnim volumnom vzorcev, mora biti v območju ± 10 % začetnega volumna [1].

## Validacija testnega filtrirnega sistema

Validacijo filtrirnega sistema izvedemo pri najnižjem dopustnem pretoku testiranja. Volumen hidravlične kapljevine, vključno s čistilnim filtrom, mora biti v

območju od 25 % do 50 % najnižjega volumenskega pretoka v eni minuti, vendar ne manj kot 5 l/min. Nato dodajamo testni prah, dokler ne dosežemo osnovnega gravimetričnega volumna. Pri tem pazimo, da je pretok skozi števec delcev enak pretoku pri kalibraciji števca, kapljevina pa mora krožiti v tesnem sistemu 60 minut. V enakih časovnih intervalih je treba izmeriti čistočo in sešteti skupno število delcev, pri tem časovni interval ne sme odstopati za več kot minuto. Test validacije je sprejet, če število delcev iste velikosti ne odstopa za več kot 15 % od povprečnega števila delcev te velikosti v vseh časovnih intervalih in če je povprečno kumulativno število delcev na mililiter v dopustnem intervalu [1].

### Pričetek testiranja

Ko vstavimo filtrirni vložek v ohišje pri specifičnih testnih pogojih, najprej izmerimo in zabeležimo padec tlaka skozi čisto filtrirno enoto. Iz tega lahko potem izračunamo tudi padec tlaka skozi filtrirni vložek. Treba je izmeriti in zapisati tudi začetno raven kontaminanta v sistemu s števcem delcev na vhodu v filtrirni element. Če je raven kontaminanta nižja od predpisane, uporabimo obtok mimo čistilnega filtra. Na tem mestu je treba zajeti začetni vzorec iz dozirnega sistema in ga označiti. Pomembno je, da dozirni pretok ves čas nadzorujemo, saj tako zagotovimo pretok skozi celotni test znotraj toleranc [1].

Ko so izpolnjeni zgornji pogoji, omogočimo dozirnemu pretoku dotok v rezervoar testnega filtrirnega sistema in začnemo meriti čas. Pri tem je zelo pomembno, da vzdržujemo konstanten volumen sistema v območju  $\pm 5\%$ . V enakih časovnih intervalih, ki ne smejo odstopati za več kot minuto, merimo število delcev med vtokom in iztokom filtrirnega vložka, dokler padec tlaka ne naraste na izračunano vrednost padca tlaka skozi filtrirni vložek. Pred tem je treba pri 80 % vrednosti izračunane padca tlaka zajeti vzorec pred filtrirno enoto za gravimetrično analizo [1].

Ko dosežemo izračunani padec tlaka, zaključimo test in izvedemo naslednje:

- ▶ Zapišemo čas trajanja testa,
- ▶ Preusmerimo dozirni tok proč od testnega sistema,
- ▶ Ustavimo tok v testirani filter,
- ▶ Izmerimo in zapišemo končni volumen v testnem sistemu ( $V_{if}$ ),
- ▶ Izmerimo in zapišemo končni volumen dozirnega sistema ( $V_{if}$ ),
- ▶ Zberemo končne vzorce za gravimetrično analizo dozirnega sistema,
- ▶ Vizualno preverimo, ali se filtrirni vložek med testiranjem ni poškodoval,
- ▶ Izvedemo analizo rezultatov in preverimo, ali je bil test izveden zadovoljivo, da preprečimo oziroma odpravimo morebitne napake med postopkom testiranja [1].

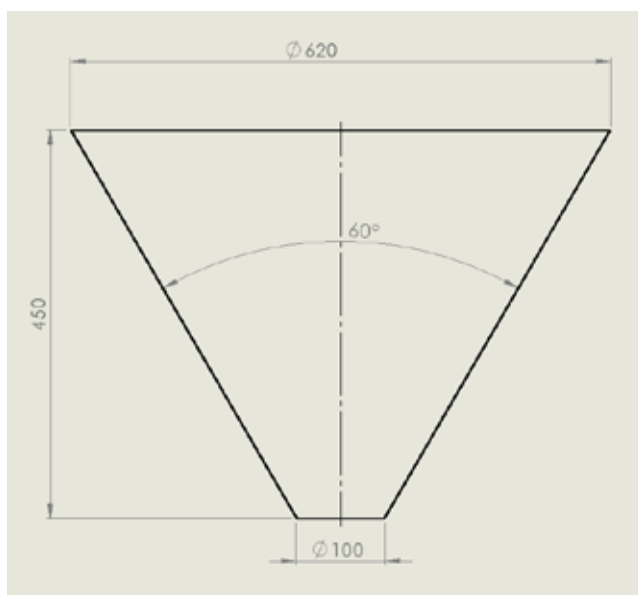
### 3 Gradnja preizkuševališča

Na začetku je bilo treba določiti osnovne dimenzije preizkuševališča in izbrati osnovne hidravlične sestavine. Pri načrtovanju je treba upoštevati, kakšne filtrirne vložke želimo testirati oziroma kakšni bodo testni filtrirni pretoki. Odločili smo se, da zgradimo preizkuševališče, ki bo primerno za testiranje filtrirnih vložkov s pretokom do 100 l/min. V katalogih izdelovalcev smo poiskali ustrezne sestavine na podlagi pretoka in mase, ki naj bi jo filter zadržal, in izračunali minimalni dozirni volumen. Izračunali smo, da mora rezervoar dozirnega sistema zagotavljati volumen najmanj 54 l olja.

### Določitev volumna rezervoarjev

Volumen testnega rezervoarja je predpisan v standardu. Volumen kapljevine v testnem sistemu mora biti v območju od 25 % do 50 % določenega volumenskega pretoka v eni minuti, vendar pa ne sme biti manjši od 5 l. Priporočeno je, da je za volumenske pretoke, manjše od 60 l/min, volumen testne hidravlične kapljevine enak 50 % testnega volumenskega pretoka v eni minuti. Če je testni volumenski pretok večji od 60 l/min, je priporočeno, da je volumen testne hidravlične kapljevine enak 25 % testnega volumenskega pretoka v eni minuti. Tako se je izkazala kot najbolj optimalna rešitev tudi za volumen testnega rezervoarja 54 l [1].

Z upoštevanjem, da morata oba rezervoarja imeti stožčasto obliko z nagibom med  $60^\circ$  in  $90^\circ$  in volumnom 54 l, je končna oblika rezervoarja prikazana na *sliki 2*.



**Slika 2** : Skica rezervoarja za dozirni sistem z dimenzijami.



**Slika 3** : Aluminijasta konstrukcija preizkuševališča (1500 mm x 1680 mm x 800 mm)

### Določitev dimenzij preizkuševališča

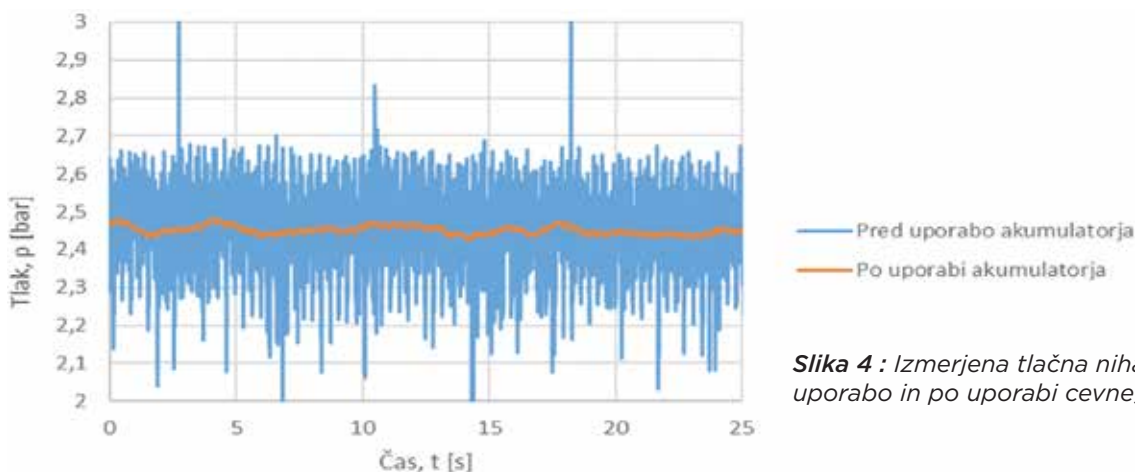
Z dimenzioniranjem rezervoarjev smo dobili prve dimenzije preizkuševališča. Upošteva se, da je največji premer rezervoarja 620 mm in da se na tem mestu pusti še nekaj prostora za hidravlične cevi, smo predvideli širino preizkuševališča 800 mm. Rezervoarja bosta v istem prostorskem ogrodju konstrukcije preizkuševališča postavljena drug za drugim, iz česar sledi vsaj 1240 mm potrebne dolžine. Ob upoštevanju, da bodo tu tudi črpalke, smo se odločili za ustrezno dolžino preizkuševališča 1500 mm. Višina prostora, namenjenega rezervoarjema in črpalkam, znaša 1000 mm ob upoštevanju, da je višina rezervoarja 500 mm. Pri tem je treba upoštevati še prostor za dolivanje olja v rezervoar in vi-

šino, potrebno za cevno priključitev rezervoarja na črpalke. Osnovni gradniki konstrukcije so aluminijasti profili dimenzij 60 mm x 60 mm. Poleg dimenzij prostora, namenjenega črpalkam in rezervoarjema, kar je že omenjeno, je bilo treba določiti še ostale mere konstrukcije. Prostor, namenjen testiranju, ima dimenzije 500 mm x 800 mm x 930 mm, prostor, namenjen elektronski opremi, pa ima dimenzije 500 mm x 800 mm x 390 mm. Pri načrtovanju smo bili omejeni tudi s prostorom v laboratoriju, zato je bilo treba nekatere mere prilagoditi. Skupna višina konstrukcije, upoštevaje še aluminijaste profile, znaša 1680 mm, končna višina preizkuševališča pa bo znašala 1850 mm, saj je treba prišteti še višino koles, ki bodo spodaj nameščena na konstrukcijo (slika 3).

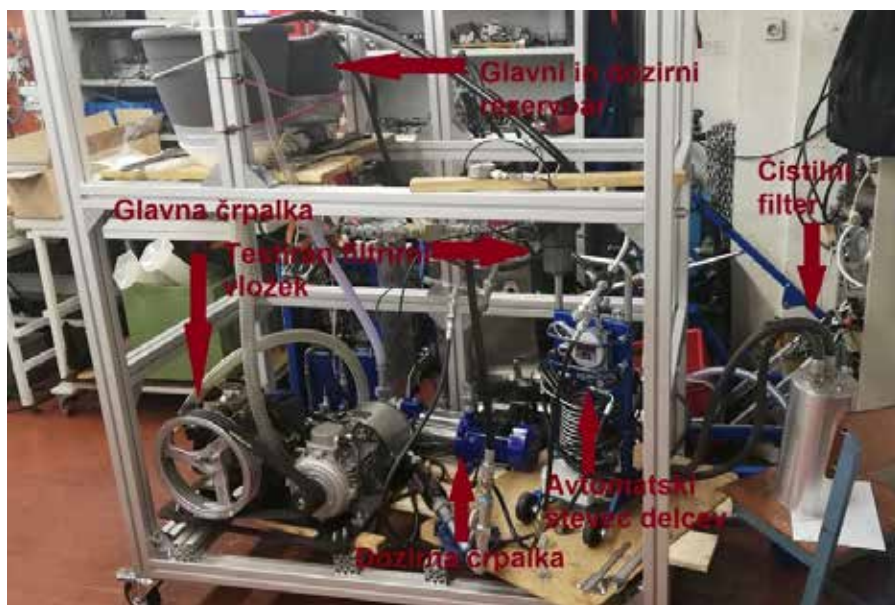
### Določitev črpalk

Standard priporoča, katere črpalke so primerne za uporabo v posameznem sistemu. Za sistem doziranja kontaminantov predpisuje uporabo centrifugalne črpalke, za testni sistem pa zobniško ali batno črpalke. V naših predhodnih raziskavah se je zobniška črpalke izkazala za neprimerno. Kljub navodilom standarda, ki priporoča zobniško črpalke za testni sistem, smo opazili, da po nekaj testih nastanejo večje abrazivne poškodbe ohišja, kar pomeni uničenje črpalke [3].

Priporočljiva je torej uporaba črpalke, ki ni občutljiva na raven kontaminacije oziroma je ta občutljivost zanemarljiva. V standardu ISO 16889:2008 je predpisana konfiguracija dozirnega in testnega sistema s črpalkami, ki obrabno niso občutljive na vsebnost testnega prahu v hidravlični kapljevini. Obraba črpalk torej ne sme vplivati na raven kontaminacije. Standard predpisuje tudi, naj glavna črpalke ne povzročata nihanja tlaka več od  $\pm 10\%$ , saj se lahko rezultati drastično razlikujejo od rezultatov pri testih, pri katerih ne prihaja do nihanja tlaka. Odločili smo se za uporabo membranske črpalke, ki je neobčutljiva na delce kontaminantov, torej testnega prahu, in zagotavlja pretoke do 105 l/min ter tlake do 20 bar.



**Slika 4** : Izmerjena tlačna nihanja pred uporabo in po uporabi cevnega akumulatorja



**Slika 5 :** Preizkuševališče po standardu ISO 16889:2008; večprehodni test

Standard dopušča periodo nihanja tlaka v višini  $\pm 10\%$  nazivnega tlaka, ki ga zagotavlja črpalka. Izbrana membranska črpalka tega pogoja ni izpolnjevala, zato smo za omejitev tlačnega nihanja vgradili cevni hidraulični akumulator.

Na *sliki 4* je prikazan graf nihanja tlaka v sistemu pred uporabo in po uporabi cevne akumulatorja.

Zaradi zamud dobave nekaterih sestavin, ki nam jih ponudniki niso uspeli priskrbeti pravočasno, preizkuševališče še ni popolnoma dokončano. Zgrajeno je do stopnje, primerne za poskusno testiranje, ki pokaže, ali smo se zadovoljivo približali napotkom, zapisanim v standardu. Trenutna oblika preizkuševališča je prikazana na *sliki 5*.

#### 4 Testiranje hidrauličnih filtrirnih vložkov

Po zagonu dozirne črpalke smo ugotovili, da imamo težave s penjenjem hidraulične kapljevine. Hidraulična kapljevina je bila že po nekaj sekundah motna in kalne rumene barve, kar je razvidno s *slike 6*.

Problem spenjene kapljevine se pojavi že pri validaciji dozirnega sistema, saj bi števec delcev zaznal drobne mehurčke zraka v kapljevini in jih vrednotil kot trdne delce nečistoč. Dobili bi nerealne izmerke, ki bi lahko potrdili proces validacije, čeprav dozirni sistem ne bi bil primeren za nadaljnje izvajanje testov, ali pa bi dobili rezultate, ki bi validacijo dozirnega sistema zavrnili, čeprav bi bil dozirni sistem povsem primeren za izvajanje večprehodnega testa. Problem je nastal tudi v tem, da je prišlo do velikega gretja hidraulične kapljevine.

Odločili smo se za črpalko, ki je bila na voljo v laboratoriju. To je lamelna črpalka s pretokom 20 l/min

in dopustnim tlakom do 200 bar. Med delovanjem te črpalke je bilo penjenje bistveno manjše, prav tako tudi segrevanje hidraulične kapljevine. Črpalka je zagotovila tudi ustrezen tlak in pretok skozi števec delcev, da je lahko nemoteno meril čistočo hidraulične kapljevine.

#### Validacija dozirnega sistema

Pri validaciji dozirnega sistema je števec delcev ves čas validacije kazal razred čistosti olja 25/24/20 po ISO 4406. Delce, večje od  $4\ \mu\text{m}$ , je zato problematično vrednotiti, saj je razred 25 najvišji razred, ki ga prikazuje uporabljeni števec delcev. To pomeni, da je lahko teh delcev bistveno več, kot jih predpisuje standard za 25-ti razred čistosti. Sklepamo, da so bili v hidraulični kapljevini še vedno zračni mehurčki, ki so posledica penjenja hidraulične kaplje-



**Slika 6 :** Spenjena hidraulična kapljevina po zagonu dozirne črpalke.

vine. Rezultati validacije so zbrani v *preglednici 2*. Odkloni vzorcev od povprečne vrednosti njihovega pretoka so bili v območju  $\pm 0,016$  l/min, kar pomeni, da smo izpolnili drugi pogoj za sprejetje validacije dozirnega sistema. Volumen, ki je ostal v sistemu po koncu validacije, je bil prav tako izmerjen ročno in je znašal 7,7 l. Začetni volumen je znašal 7,9 l, kar pomeni, da se je volumen hidravlične kapljevine med procesom validacije zmanjšal za manj kot 10 % začetnega volumna. Tako smo zadostili tretjemu pogoju za sprejetje validacije dozirnega sistema.

Kljub temu, da nismo uspešno opravili prvega pogoja ustreznosti dozirnega sistema, smo se odločili, da bomo s testi nadaljevali. Penjenje hidravlične kapljevine v dozirnem sistemu ne bi smelo vplivati na potek testiranja filtrirnih vložkov. Dozirni pretok bo znašal 0,25 l/min, kar je malo v primerjavi s testnim pretokom. Predvideli smo, da se bodo zračni mehurčki v glavnem rezervoarju porazgubili in izločili.

**Preglednica 2 :** Rezultati meritev pri validaciji dozirnega sistema

Vzorec	Čas [s]	Pretok [l/min]	Varianca [l/min]
1	285	0,31	0,0025
2	570	0,30	0,0125
3	855	0,32	0,0075
4	1140	0,32	0,0075
		$\bar{q} = 0,3125$	$\Sigma = 0,0083$

### Validacija testnega sistema

Pri validaciji testnega filtrirnega sistema, ki je trajala 60 minut, smo v 6-ih časovnih intervalih izmerili število delcev v sistemu. Med validacijo teče hidravlična kapljevina zgolj skozi ohišje filtra. Število delcev je ocenjeno iz standarda SAE AS 4059. Števila delcev smo nato povprečili v vsakem časovnem intervalu in izračunali odstopanja od povprečne vrednosti, kakor je prikazano v *preglednici 3*.

### 5 Testiranje filtrirnih elementov

Čeprav z validacijama obeh sistemov nismo popolnoma ugodili zahtevam standarda, smo izvedli

testiranje filtrirnih vložkov. Naš namen ni natančno vrednotiti filtrirnega vložka, ampak z začetnimi testiranjmi bolje spoznati zahteve standarda in odpraviti težave, ki se pojavljajo.

Najprej smo testirali filtrirni vložek 0060D020BH-4HC; trajalo je 19 minut in 44 sekund. Pri tem smo dosegli končni padec tlaka 2,57 bar. Meritve smo izvajali na vsakih 10 % predvidenega časa testiranja, vsak časovni interval je trajal 114 sekund. Po končanem testu je temperatura hidravlične kapljevine znašala 36,8°C.

Nato smo testirali še filtrirni element SE-014H20B/4; trajalo je 19 minut in 52 sekund, pri tem pa smo dosegli končni padec tlaka 3,55 bar. Meritve smo spet izvajali za vsakih 10 % predvidenega časa testiranja, vsak časovni interval je tudi v tem primeru trajal 114 sekund. Po končanem testu je temperatura hidravlične kapljevine znašala 36,4°C.

### 6 Rezultati testiranj

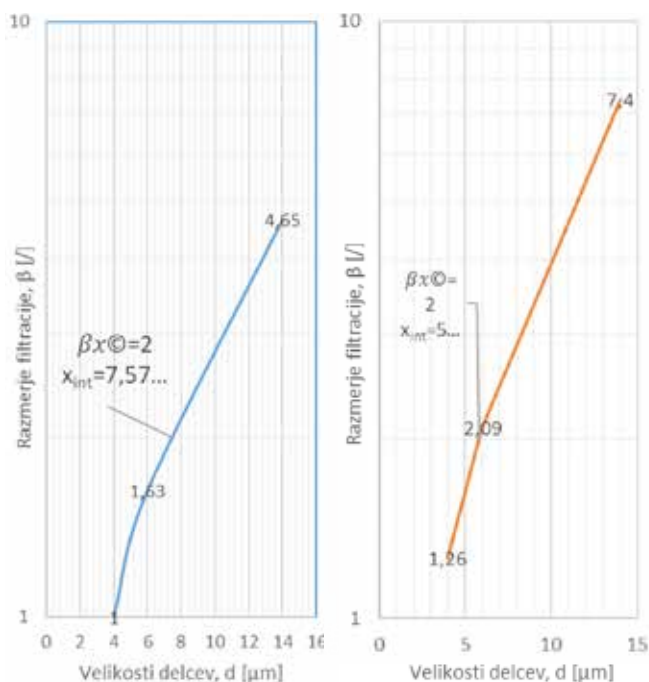
Izračunana masa kontaminanta ( $m_p$ ), ki jo je nase prevzel filtrirni element v času testiranja, je prikazana v *preglednici 4*. V njej je podana za primerjavo tudi izračunana masa. Grafa na *sliki 7 (a in b)* nam kažeta, koliko mase filter prevzame nase po določenem času testiranja. Na *sliki 7* sta prikaza grafa  $\Delta p$  v odvisnosti od prevzemne mase  $m_p$  za filtrirni vložek a) 0060D020BH4HC in b) vložek SE-014H20B/4.

*Slika 8a)* prikazuje  $\beta_{x_{\infty}}$  v odvisnosti od velikosti delca za filtrski vložek 0060D020BH4HC. Ravni segmenti krivulje predstavljajo povezave med točkami različnih velikosti delcev. Interpolirana vrednost za  $\beta_{x_{\infty}}=2$  je pri vrednosti  $x_{int}=7,57 \mu m_{\infty}$  in znaša  $\beta_{7,57_{\infty}}=2$ . Pri filtrirnem vložku SE-014H20B/4 pa je interpolirana vrednost za  $\beta_{x_{\infty}}=2$  pri vrednosti  $x_{int}=5,82 \mu m_{\infty}$  in znaša  $\beta_{5,82_{\infty}}=2$ . Ti podatki nam povedo, kako velike delce bo filtrirni vložek filtriral pri nekem specifičnem razmerju filtracije.

Za ostale  $\beta_{x_{\infty}}$  iz teh meritev žal ne moremo izračunati interpoliranih vrednosti velikosti delcev.

**Preglednica 3 :** Izmerjeno odstopanje števila delcev od povprečne vrednosti znotraj posameznega časovnega intervala

Velikost delcev [ $\mu m$ ]	Povprečno število delcev [/]	Dopustni odstopok od povprečne vrednosti [/]	Odstopanje od povprečnega števila delcev posamezne velikosti [/]					
			1	2	3	4	5	6
< 6 $\mu m$	10505	$\pm 1576$	899	741	95	349	165	123
< 14 $\mu m$	649	$\pm 97$	19	24	21	16	22	24



**Slika 8 :** Izmerjeno razmerje filtracije v odvisnosti od velikosti delcev za vložek: a) 0060D020BH4HC in b) SE-014H20B/4.

Po koncu testiranja smo počakali, da iz filtrirnih elementov odteče hidravlična kapljevina, in jih stehali. Enak postopek smo izvedli že pred filtracijo. Tako lahko konec testa primerjamo izračunano in izmerjeno maso kontaminanta, ki jo je filtrirni element zadržal. V preglednici 4 so prikazane mase filtrirnih elementov pred testiranjem in po njem.

Zaradi zelo velikega odstopanja med izmerjeno razliko v masi filtrirnega elementa pred testiranjem in po njem smo izvedli testiranje filtrirnega elementa SE-014H20B/4 še enkrat. Testiranje smo izvedli pri enakih pogojih in z enakimi parametri, le da nismo spremljali števila delcev med vhom in izhom v filtrirno enoto, saj nas je zanimala le masa filtrirnega elementa po končanem testu. S filtrirnim elementom smo ravnali bolj skrbno in pustili, da se je odcejal v isti legi enako dolgo kot prvič. Po tehtanju smo ugotovili, da je razlika med maso pred testiranjem in po njem 3,397 g, torej je razlika 29,9 %. Tako smo se približali manjšemu odstopanju primerjalnih mas za filtrirni element.

Odstopanje izmerjenih prevzemnosti od izračunanih pripisujemo neustreznemu ravnanju s filtrirnimi vložki

ki po koncu testiranja. Kakršno koli ogledovanje in spreminjanje lege filtrirnega elementa med odcejanjem lahko privede do dodatnega odtekanja olja in s tem kontaminanta, ki ga je filtrirni element zadržal. K odstopanju rezultatov pripomore še način transporta od preizkuševališča do mesta tehtanja. V prihodnje je treba zagotoviti tehtanje v istem prostoru, kot poteka testiranje večprehodnega testa.

## 7 Zaključek

S postopkom večprehodnega testa lahko učinkovito vrednotimo hidravlične filtrirne elemente. Test je primeren za testiranje vseh vrst in velikosti filtrirnih elementov in poda dovolj informacij za ustrezno izbiro hidravličnega filtrirnega elementa. Z ustrezno izvedenim testom dobimo boljšo predstavbo o učinkovitosti filtrirnih elementov, zato lažje izberemo ustreznega za zagotavljanje učinkovite filtracije hidravlične kapljevine. S tem bistveno pripomoremo k boljšemu delovanju hidravličnega sistema.

Kljub temu, da smo testiranje izvajali z nekaj pomanjkljivostmi v merilni opremi, kot je na primer merilnik pretoka z območjem 0,25 l/min in avtomatski števec delcev, ki prikazuje le tri velikostne razrede, smo pokazali, da je hidravlični del preizkuševališča primeren za izvajanje testiranja po standardu ISO 16889:2008. Po analizi rezultatov smo ugotovili, da smo se pri obeh testih približali parametrom, ki so za filtrirna elementa predpisani v katalogu. Zadržana masa kontaminanta odstopa od predpisane za 30 %, padci tlakov pa so prav tako narastli do predpisane vrednosti, ki jo narekuje proizvajalec. Približali smo se tudi predpisanim dopustnim padcem tlaka in vzdrževali konstanten dozorni pretok 0,25 l/min znotraj dopustnih meja, ki jih predpisuje standard.

## Viri

- [1] SIST ISO 16889:2008. Hydraulic fluid power – Filters – Multi-pass method for evaluating filtration performance of a filter element.
- [2] O+P Fluidtechnik; Filtration in hydraulischen systemen, Konstruktions-jahrbuch 2016, 2016.
- [3] A. Peterlin: Testiranje hidravličnih filtrov po standardu: diplomsko delo. Ljubljana, 2016.

**Preglednica 4 :** Primerjava med izračunano in izmerjeno maso kontaminanta, ki jo je zadržal filtrirni vložek

Filtrirni element	Masa pred testiranjem [g]	Masa po testiranju [g]	Razlika [g]	Izračunana masa, $m_R$ [g]	Odstopanje [%]
0060D020BH4HC	189,807	193,527	3,720	5,02	25,9
SE-014H20B/4	245,072	246,73	1,658	4,85	65,8

## Testing of hydraulic filters according to the standard

### Abstract:

Engineers in industry meet daily with various machines, their operation depends on hydraulic systems. In order to operate the machines smoothly it is necessary to pay special attention to the hydraulic liquid. By selecting the appropriate filter elements, we improve the filtration process and thus the condition of the hydraulic liquid, which in the long term helps to extend the useful life of hydraulic components and reliability of hydraulic systems. In order to select the most suitable filter cartridge, various methods of their evaluation and testing have been developed, including the Multiple Transition Test according to ISO 16889: 2008 standard.

### Keywords:

multi-pass test, filter element, hydraulic liquid, filtration ratio, cleanliness

### Zahvala

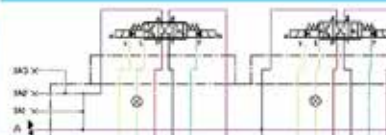
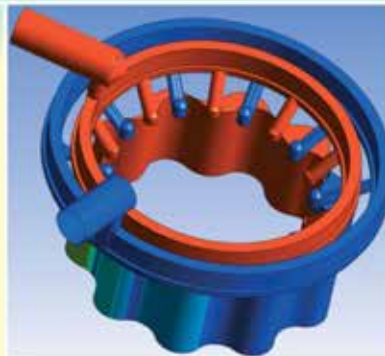
Podjetju TRM filtri d. o. o. in še posebej njihovemu predstavniku g. Mateju Tomšiču se zahvaljujemo za podporo.

# LABORATORIJ ZA FLUIDNO TEHNIKO

*Smo laboratorij z dolgoletno tradicijo na področju pogonsko-krmilne hidravlike. Ukvarjamo se z oljno in tudi ekološko prijazno vodno PK hidravliko, pri tem pa uporabljamo sofisticirano in sodobno merilno in programsko opremo. To se odraža v večjem številu uspešno zaključenih projektov in sodelovanju z uspešnimi slovenskimi podjetji.*

*Obrnite se na nas, če potrebujete:*

- razvoj in optimiranje hidravličnih sestavin in naprav
- izdelavo hidravličnih naprav
- izboljšave in popravilo hidravličnih naprav in strojev
- izdelavo sodobnega krmilja za hidravlične stroje
- izobraževanje na področju hidravlike
- ekološke hidravlične naprave za pitno vodo
- izdelavo ali izris hidravličnih shem
- itd.



Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za strojništvo  
Aškerčeva 6  
1000 Ljubljana  
T: 01/4771115, 01/4771411  
E: lft@fs.uni-lj.si  
<http://lab.fs.uni-lj.si/lft/>

