

# **METODY WYZNACZANIA CHARAKTERYSTYK PRZEPLYWOWYCH DŁAWIKÓW HYDRAULICZNYCH**

Małgorzata SIKORA<sup>1</sup>

## **1. WPROWADZENIE**

Łożyska oraz prowadnice hydrostatyczne jako układy hydrauliczne zasilane olejem o stałym ciśnieniu wymagają stosowania dławików umieszczonych na dopływie każdej z komór. Odgrywają one szczególnie istotny wpływ na właściwości układów w przypadku zespołów wrzecionowych i prowadnicowych precyzyjnych obrabiarek. Należy nadmienić iż w chwili obecnej zespoły hydrostatyczne znajdują zastosowanie w takich przypadkach, w których inne typowe rozwiązania nie są w stanie sprostać stawianym ekstremalnym wymaganiom. Tym samym niezmiernie istotna jest kompleksowa znajomość właściwości i zależności obowiązujących dla elementów składowych tych zespołów, do których należą dławiki.

## **2. OBIEKT ANALIZY**

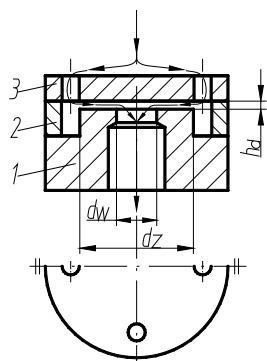
Stosowane dławiki mogą być stałe lub sterowane automatycznie. Dławiki sterowane automatycznie pozwalają na uzyskiwanie bardzo dużej sztywności zespołów jednak wykazują gorsze właściwości dynamiczne oraz są mniej pewne w działaniu i droższe [2]. Dlatego też w większości przypadków zastosowanie znajdują dławiki stałe zapewniające wystarczająco dobre cechy statyczne i dynamiczne zespołów.

W niniejszym opracowaniu rozważaniom poddano dławik stały z przepływem laminarnym, który pozwala na uniezależnienie właściwości łożysk lub prowadnic hydrostatycznych od lepkości oleju, zmieniającej się w czasie pracy. Ponadto dławik ten powinien posiadać następujące cechy: zwarta konstrukcja, łatwość wykonania, odporność na obliterację oraz nagłą utratę drożności.

---

<sup>1</sup> Politechnika Łódzka, Instytut Obrabiarek i TBM, ul. Stefanowskiego 1/15, Łódź 90-924

Wszystkie wymienione cechy jakimi powinny charakteryzować się dławiki posiada dławik szczelinowy przedstawiony na rysunku 1. Dławiki szczelinowe głównie są stosowane w konstrukcjach opracowywanych w Instytucie Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn Politechniki Łódzkiej prowadnic szlifierek do wałków i zespołów wrzecionowych szlifierek, poddanych analizie między innymi w [1, 4].



Rys. 1. Konstrukcja dławika szczelinowego:  
1 – korpus, 2 – tulejka, 3 – płytka

Dodatkowo zaletą tej konstrukcji jest możliwość precyzyjnego ustalenia szczeliny dławiącej  $h_d$  (tzw. dostrojenie dławika). Czynność tę w sposób nieskomplikowany wykonuje się podczas montażu przez docieranie czoła korpusu dławika 1, albo tulejki dystansowej 2.

### 3. METODY WYZNACZANIA CHARAKTERYSTYK

Strumień objętości oleju przepływającego przez dławik szczelinowy  $Q_d$  w zależności od spadku ciśnienia  $\Delta p$  można wyznaczyć na trzy sposoby. Na drodze eksperymentalnej albo teoretycznej wykorzystując zależności analityczne lub metody numeryczne.

#### 3.1. METODY ANALITYCZNE

Strumień objętości oleju przepływającego przez dławik szczelinowy  $Q_d$  można obliczyć z wzoru (1), słusznego dla przepływu laminarnego [5]:

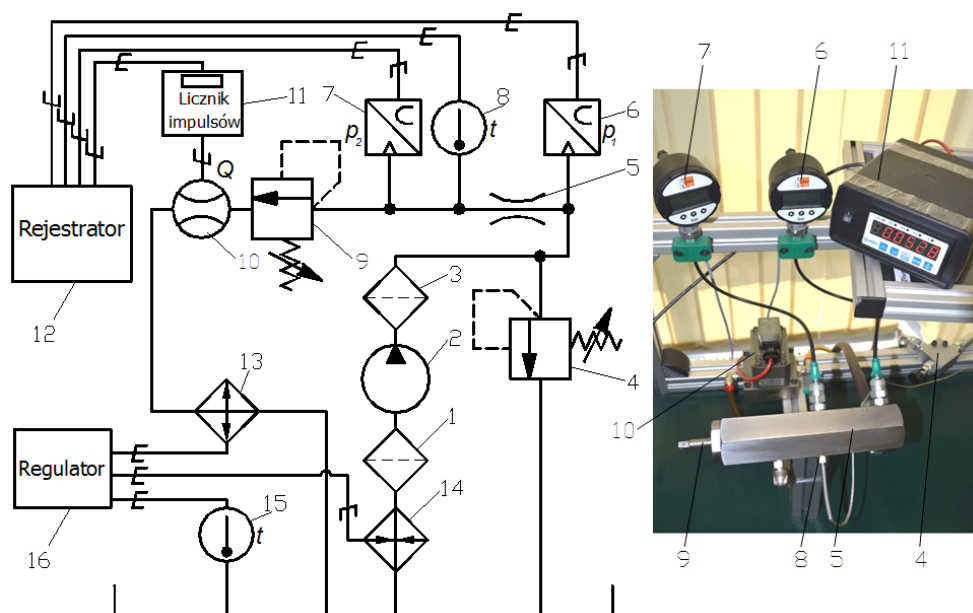
$$Q_d = \frac{\pi \cdot h_d^3}{6 \cdot \eta \cdot \ln \frac{d_z}{d_w}} \Delta p \quad (1)$$

w którym:  $d_z$  – średnica zewnętrzna dławika,  $d_w$  – średnica wewnętrzna dławika,  $\eta$  – lepkość dynamiczna oleju.

Drugą możliwością teoretycznego wyznaczenia charakterystyk jest przeprowadzenie symulacji numerycznych przy wykorzystaniu aktualnie dostępnych programów symulacyjnych, do których zaliczyć można moduł Simulation CFD programu Autodesk Inventor [6]. Przy czym w tym wariancie obliczeń analizie poddany został kompletny dławik w przeciwieństwie do wzoru (1) gdzie przyjęto założenie iż straty występują tylko głównej szczeliny dławiącej  $h_d$ .

### 3.2. BADANIA EKSPERYMENTALNE

W celu przeprowadzenia badań eksperymentalnych zbudowano stanowisko do badania zależności strumienia objętości  $Q_d$  oleju przepływającego przez dławik od spadku ciśnienia  $\Delta p$ . Schemat oraz widok niniejszego stanowiska przedstawiono na rysunku 2. Olej podawano na stanowisko przez filtry: wstępny 1 i dokładny 3, pompą zębatą 2. Ciśnienie  $p_1$ , panujące przed badanym dławikiem 5, nastawiano za pomocą zaworu przelewowego 4, zaś ciśnienie  $p_2$  za dławikiem – za pośrednictwem zaworu progowego 9. Wartości ciśnień  $p_1$  i  $p_2$  odczytywano na rejestratorze 12 na podstawie sygnału z przetworników ciśnienia 6 i 7 o klasie dokładności 0,25%. Tym samym spadek ciśnienia na dławiku  $\Delta p$  był równy  $\Delta p = p_1 - p_2$ .



Rys. 2. Schemat oraz widok stanowiska do badania dławików: 1 – filtr wstępny, 2 – pompa zębata, 3 – filtr dokładny, 4 – zawór przelewowy, 5 – badany dławik, 6,7 – przetworniki ciśnienia, 8 – termopara, 9 – zawór progowy, 10 – przepływomierz zębatkowy, 11 – licznik impulsów, 12 – rejestrator, 13 – chłodnica, 14 – grzałka, 15 – termopara, 16 – regulator

Do pomiaru chwilowego strumienia objętości przepływającego przez dławik wykorzystano przepływomierz zębatkowy 10 o zakresie 0,0012–0,24 m<sup>3</sup>/s i klasie dokładności 0,3%.

Pomiar temperatury oleju za dławikiem realizowano za pomocą termopary Pt100 8 o zakresie pomiarowym 0–100°C.

Sygnały pomiarowe z przetworników ciśnienia 6, 7, przepływomierza 10 oraz czujnika temperatury zbierano przy wykorzystaniu rejestratora danych 12 połączonego z komputerem.

Dodatkowo stanowisko zostało wyposażone w układ automatycznej stabilizacji temperatury, którego układem sterującym był regulator 16, elementem pomiarowym temperatury oleju w zbiorniku termopara 15, natomiast zespołami wykonawczymi chłodnica 13 oraz grzałka 14.

Zależność lepkości oleju  $\eta$  od temperatury  $\tau$  wyznaczono doświadczalnie przy wykorzystaniu lepkościomierza Hoepplera. Dla oleju L-HL 46 użytego w badaniach zależność ta jest następująca:  $\eta = 23,4 \tau^{-1,73}$ .

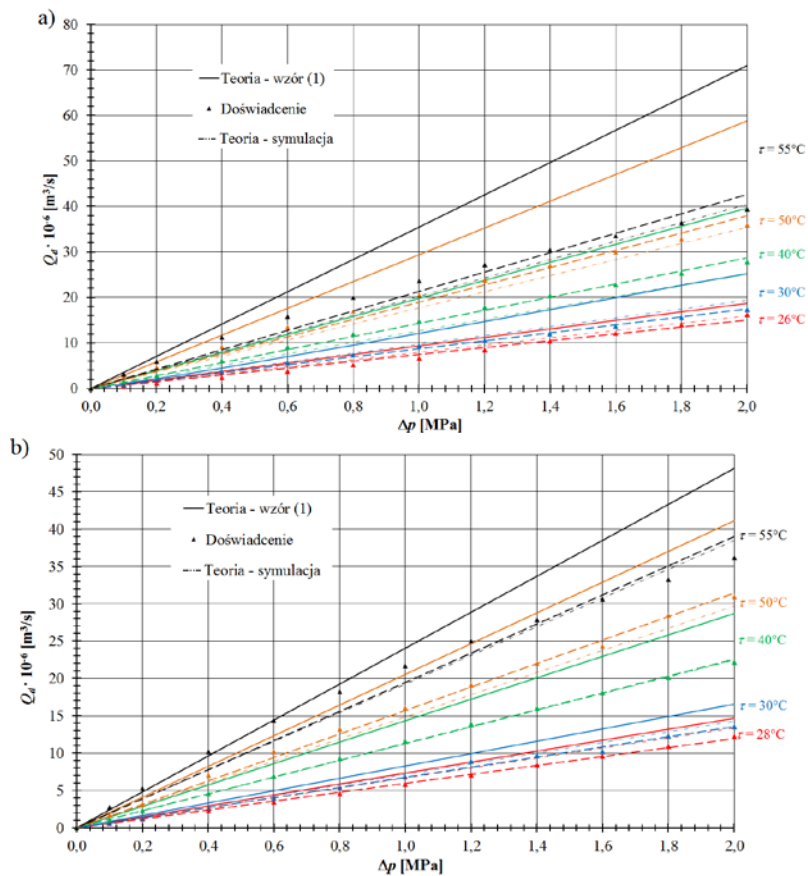
### 3.3. WYNIKI BADAŃ

Celem określenia zgodności wyników uzyskanych na drodze analizy teoretycznej dławików szczelinowych z rzeczywistymi charakterystykami przepływowymi, rozważaniom poddano dwa dławiki charakteryzujące się średnicą wewnętrzną  $d_w = 1,95$  mm i średnicą zewnętrzną  $d_z = 6,5$  mm, natomiast różniące się wielkością szczeliny  $h_d = 105 \mu\text{m}$  oraz  $h_d = 120 \mu\text{m}$ .

Badania dławików wykonano w zakresie temperatur 26–55°C. Otrzymane charakterystyki przepływowe  $Q_d = f(\Delta p)$  dla przebadanych dławików przedstawiono na rys. 3. Przebiegi teoretyczne uzyskane na podstawie zależności analitycznej (1) naniesiono liniami ciągłymi, wyniki z symulacji – linią dwupunktową a doświadczalne – punktami i linią przerywaną.

Do punktów uzyskanych z badań eksperymentalnych dopasowano linie trendów, posługując się metodą najmniejszych kwadratów przy wykorzystaniu programu Microsoft Excel. Zgodnie z zależnością teoretyczną opisującą badany dławik, linie trendów były liniami prostymi. O dobrym dopasowaniu prostych do wyników doświadczeń świadczyły wartości współczynników korelacji, które w większości przypadków były nie mniejsze niż 0,995. Jedynie dla temperatury 55°C współczynnik ten wynosił 0,975. Wartości uzyskanych współczynników korelacji pozwalają uznać, iż zależności dla temperatur do 50°C  $Q_d = f(\Delta p)$  są liniowe.

Należy zauważyć, że w temperaturze 55°C punkty z badań dławików odchylają się od charakterystyki liniowej w podobny sposób: przyrosty natężeń przepływu są coraz to mniejsze od odpowiadających im przyrostów spadków ciśnień. Odchylenia te są niewielkie, ale wyraźne i systematyczne. Może to świadczyć o tendencji do przechodzenia przepływu laminarnego w pośredni, co potwierdza [4].



Rys. 3. Zależność natężenia przepływu  $Q$  od spadku  $\Delta p$  dla dławika o szczelinie: a)  $h_d = 120 \mu\text{m}$ , b)  $h_d = 105 \mu\text{m}$

Aby ocenić zgodność wyników uzyskanych drogą eksperymentalną z wynikami obliczeń teoretycznych, określono różnice względne  $\delta_Q$  natężeń przepływu:

$$\delta_Q = \frac{(Q_d)_e - (Q_d)_t}{(Q_d)_t} \cdot 100\% \quad (2)$$

gdzie  $(Q_d)_t$  oznacza teoretyczną, a  $(Q_d)_e$  doświadczalną wartość natężenia przepływu.

Otrzymane wyniki obliczeń dla przebiegów funkcji  $Q_d = f(\Delta p)$  zestawiono w tab. 1.

Na podstawie zestawienia przedstawionego w tabeli 1 można uznać, że rozbieżności między wynikami teoretycznymi uzyskanymi na podstawie zależności analitycznej a doświadczeniem są większe od wyników otrzymanych w wyniku obliczeń numerycznych. Należy zauważyć iż we wszystkich przypadkach wartości uzyskane na podstawie wzoru analitycznego są większe od rzeczywistych, natomiast

w przypadku wyników symulacyjnych sytuacja w 75% przypadków jest odmienna, jest to zapewne spowodowane przyjętymi założeniami co do strat ciśnienia.

TABELA 1. Różnice względne  $\delta_o$  natężeń przepływu

Lp.	Dławik	Teoria	Temperatura oleju $\tau$ [°C]			
			30	40	50	55
			Lepkość oleju $\eta$ [Pa·s]			
			0,0608	0,0351	0,0245	0,0209
Różnica względna $\delta_o$ [%]						
1.	$h_d=105$	wzór (1)	-18,17	-21,32	-23,58	-18,95
		symulacja	-5,35	0,70	5,92	1,38
2.	$h_d=120$	wzór (1)	-30,70	-27,66	-35,41	-39,85
		symulacja	-10,00	12,97	7,39	5,26

#### 4. PODSUMOWANIE

Można przyjąć, że w zakresie badanych parametrów zależność natężania przepływu od spadku ciśnienia jest funkcją liniową dla temperatur oleju poniżej 50°C.

Należy jednak pamiętać, że przedstawione wyniki odnoszą się do dławików o określonych wymiarach geometrycznych. Jeśli zatem dławik znacznie odbiega wymiarami od opisywanych, to konieczne są jeszcze badania doświadczalne.

Dzięki możliwościom jakie daje oprogramowanie symulacyjne już na etapie projektowania można przeprowadzić optymalizację poszczególnych podzespołów jak i całego opracowywanego układu, oszczędzając tym samym czas i obniżając koszty.

Przedstawione wyniki badań mają przede wszystkim znaczenie praktyczne, co oznacza, że mogą okazać się przydatne w doborze optymalnej szczeliny dławiącej.

#### LITERATURA

- [1] FRONCKI W., *Optymalizacja przewodnic hydrostatycznych zamkniętych*. W: *Hydraulika i Pneumatyka*, nr 5, 2010, 10-13.
- [2] KALENIK G., LEWANDOWSKI D., *Podwyższenie sztywności poprzecznych łożysk hydrostatycznych drogą automatycznej regulacji dławienia*. W: *Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej 2000 Nr 860 Ciepne Maszyny Przepływowe Nr 118*, 33-52
- [3] PRZYBYŁ R., *Charakterystyki przepływowe dławików*. W: *Hydraulika i Pneumatyka*, nr 6, 1997, 8-11.
- [4] PRZYBYŁ R., *Przykłady współczesnych zastosowań łożysk hydrostatycznych*. W: *Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej 2000 nr 860 Ciep. Masz. Przepł.* nr 118, 9-22
- [5] SIKORA M., *Badania dławików stosowanych w łożyskach hydrostatycznych*. W: *Hydraulika i Pneumatyka*, nr 6, 2007, 5-8.
- [6] STOJEK J., *Wykorzystanie techniki CFD do modelowania zjawisk przepływowych w hydraulicznych zaworach wzniosowych*. W: *Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji*, 2008, vol. 28 nr 4, 89-97.