

Wojciech HORAK¹, Adrian KLUCZNY², Józef SALWIŃSKI³

STANOWISKO DYDAKTYCZNE DO ANALIZY ROZKŁADU CIŚNIENIA W HYDRODYNAMICZNYM FILMIE OLEJOWYM

Streszczenie. W artykule został zaprezentowany projekt koncepcyjny stanowiska dydaktycznego do badania i wizualizacji rozkładu ciśnienia w filmie olejowym poprzecznego łożyska ślizgowego. Przedstawione stanowisko może zostać użyte w toku zajęć dydaktycznych z przedmiotów o tematyce związanej z konstrukcją maszyn.

Praca zawiera propozycję rozwiązania konstrukcyjnego dla szczególnego przypadku, z wykorzystaniem asynchronicznego silnika elektrycznego z długim wałem, na którym mocowany jest zespół łożyska ślizgowego. Projekt dopuszcza jednak wiele metod modyfikacji konstrukcji, których przykłady podano w części podsumowującej. Zaproponowano również koncepcje dotyczące rozbudowy urządzenia w celu zwiększenia funkcjonalności stanowiska o możliwości dokonywania pomiarów dodatkowych wielkości fizycznych lub prezentacji szczególnych przypadków pracy łożysk ślizgowych.

Słowa kluczowe: hydrodynamiczne smarowanie, stanowisko dydaktyczne, ciśnienie, film olejowy, łożysko ślizgowe

RESEARCH RIG FOR EXAMINATION OF PRESSURE IN HYDRODYNAMIC OIL FILM

Summary. The paper presents a concept of a didactic research rig for investigation and visualization of pressure distribution in an oil film of a journal fluid friction slide bearing. The rig being presented may be used during classes on subjects associated machine design.

The paper presents an idea of a specific design, using an asynchronous motor with a long shaft, on which the slide bearing assembly is fixed. The design is elastic and allows many modifications of the construction. The possible modifications are presented in the summary part of the paper. The paper also presents ideas for development of the design, either to enable measurements of additional physical values, or presentation of specific cases of slide bearings operation.

Keywords: hydrodynamic lubrication, didactic research rig, pressure, oil film, slide bearing

¹ AGH University of Science and Technology, Department of Machine Design and Terotechnology, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: horak@agh.edu.pl

² AGH University of Science and Technology, Department of Machine Design and Terotechnology, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: akluczny@agh.edu.pl

³ AGH University of Science and Technology, Department of Machine Design and Terotechnology, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: jsalwin@agh.edu.pl

1. WPROWADZENIE

Zjawisko powstawania ciśnienia dynamicznego w wyniku względnego ruchu warstw cieczy zostało odkryte podczas badań prowadzonych przez Towera [1]. Opierając się na wynikach tych badań, Reynolds sformułował związek zjawiska hydrodynamicznego z lepkością oleju. Rozkład powstałego ciśnienia można wyznaczyć po rozwiązaniu cząstkowego równania różniczkowego.

Zagadnienie smarowania hydrodynamicznego jest szczegółowo analizowane i obszernie przedstawione w literaturze [2]. Znajduje szerokie zastosowanie w technice, np. w konstrukcji łożysk typu Mergoil [3]. Powstawanie ciśnienia w filmie smarnym jest opisane złożonym modelem matematycznym i może sprawiać trudności w zrozumieniu jego istoty.

W procesie dydaktycznym sam opis teoretyczny może być niewystarczający i dlatego zaistniała potrzeba zbudowania stanowiska dydaktycznego, które w toku zajęć laboratoryjnych ułatwiałoby zrozumienie procesu powstawania filmu hydrodynamicznego. Popularyzacja i pogłębienie wiedzy z tej tematyki jest wysoce istotne przy wzięciu pod uwagę wielu zastosowań łożysk płynnego tarcia, z którymi z dużym prawdopodobieństwem będzie miał styczność absolwent studiów o kierunku mechanicznym. Prezentowana w tym artykule koncepcja stanowiska zakłada czynny udział studenta w prowadzeniu pomiarów rozkładu ciśnienia w filmie olejowym podczas zajęć laboratoryjnych.

Celem budowy stanowiska jest dalsza rozbudowa bazy dydaktycznej „Podstaw konstrukcji maszyn” i stanowi to naturalną merytoryczną kontynuację zaprezentowanego na wcześniejszym sympozjone naukowo-dydaktycznego stanowiska do badań łożysk smarowanych hydrostatycznie [4]. Jego użytkowanie przyniosło wymierne korzyści naukowe i dydaktyczne.

2. KONCEPCJA STANOWISKA

Przy uwzględnieniu sensu dydaktycznego stanowisko powinno zapewniać możliwość pomiaru wielkości istotnych do opisanie pracy układu. Wielkościami wyznaczanymi w trakcie zajęć laboratoryjnych są:

- wartość i rozkład ciśnienia,
- temperatura,
- prędkość obrotowa,
- względne położenie osi panewki i czopa (pomiar ekscentryczności).

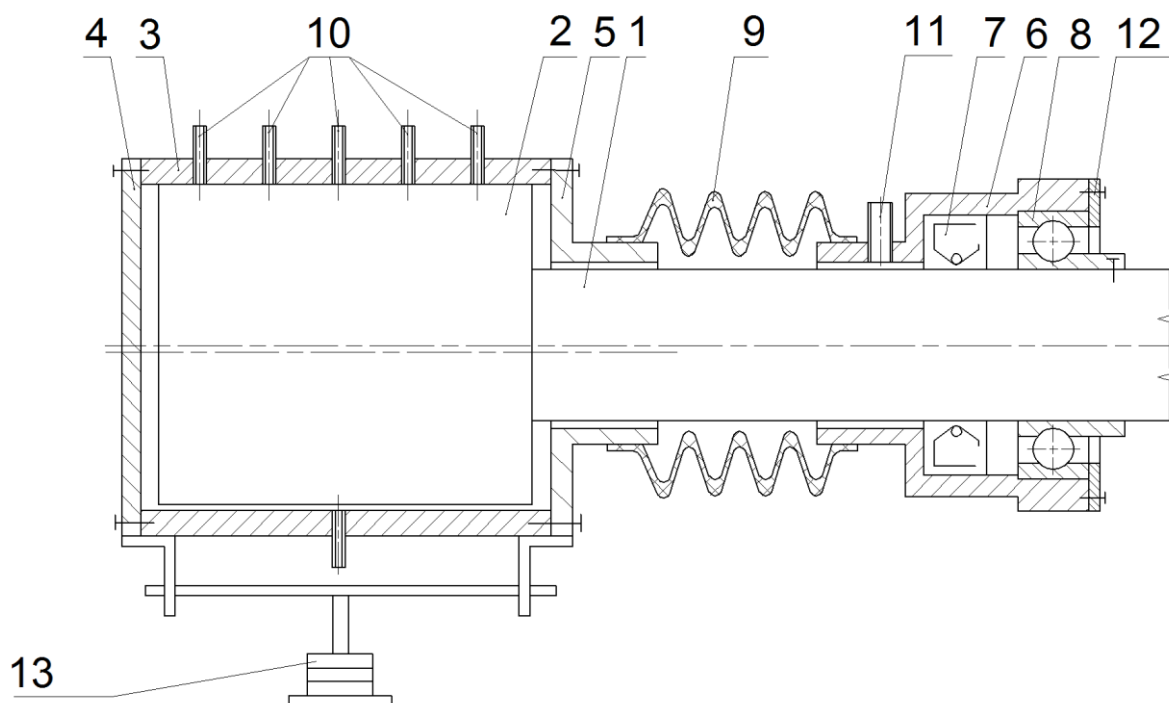
Stanowisko umożliwiające realizację takich pomiarów powinno składać się z następujących elementów:

- zespołu komory badawczej – łożysko ślizgowe,
- zespołu napędzającego wraz z układem sterującym,
- układu pomiarowego ww. wielkości,
- konstrukcji nośnej dla wymienionych zespołów.

2.1. Zespół łożyska

Założono, że komora badawcza łożyska znajduje się na wale długim silnika asynchronicznego i jest przedstawiona na rysunku 1.

Na czopie wału silnika za pomocą śruby metrycznej jest zamocowana tuleja, pełniąca funkcję czopa łożyska ślizgowego. Na pobocznicy tulei jest zawieszona mimośrodowo panewka. Do panewki za pomocą śrub przymocowane są pokrywy. Na wale jest zamocowane uszczelnione łożysko kulkowe. Przesuw łożyska oraz obrót jego wewnętrznej bieżni względem wału blokuje śruba. Na zewnętrznym pierścieniu łożyska jest umieszczona obudowa, a w niej pierścień uszczelniający Zimmera. Obudowa jest połączona z komorą łożyska ślizgowego elastycznym rękawem gumowym – mieszkiem. Dopływ środka smarnego jest realizowany w części obudowy. Umieszczone w panewce króćce służą do pomiaru ciśnienia wzdłuż osi panewki oraz w kierunku obwodowym. Na panewce łożyska jest zamocowany szalkowy układ obciążający, na którym zawieszono są odważniki.



Rys. 1. Zespół łożyska: 1 – wał silnika, 2 – czop wału, 3 – panewka, 4 – pokrywa czołowa, 5 – pokrywa tylna, 6 – obudowa 7 – uszczelnienie wargowe 8 – uszczelnione łożysko toczne, 9 – mieszek, 10 – króćce pomiaru ciśnienia, 11 – króciec dopływu środka smarnego, 12 – pokrywa łożyska, 13 – szalka z odważnikami

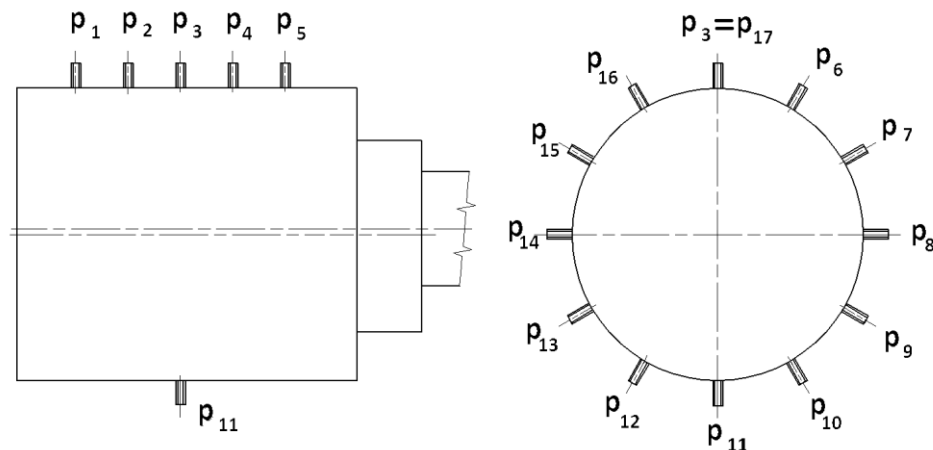
Fig. 1. Bearing unit: 1 – shaft, 2 – journal, 3 – bearing housing, 4 – front cover, 5 – back cover, 6 – casing, 7 – sealing, 8 – oil sealed ball (roller) bearing, 9 – bellows, 10 – measurement spouts, 11 – oil-supply spout, 12 – bearing cover, 13 – pan with weights

W rzeczywistych warunkach łożysko podlega obciążeniom, które są przenoszone na nie z zewnątrz przez czop wału. Obciążenie łożyska w przedstawionej koncepcji jest realizowane przez zawieszanie na szali danej liczby odważników. Szalka jest mocowana przesuwnie w uchwytach w ograniczonym zakresie. Umożliwia to centrowanie obciążenia panewki. Zawieszenie szalki można wykonać tak, aby przesuwanie obciążenia wprowadzało do układu symulację obciążenia łożyska momentem gnącym. Tym sposobem można pokazać zmiany rozkładu ciśnienia w kierunku osiowym panewki.

2.2. Układ pomiarowy

Pomiar ciśnienia

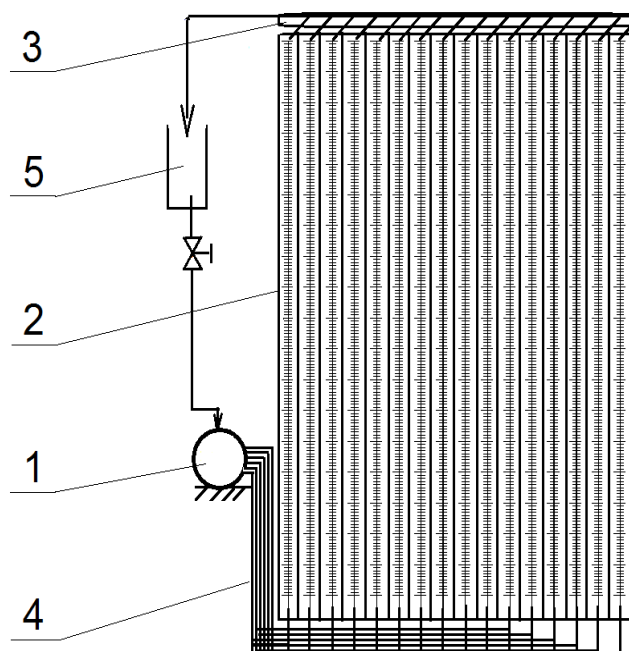
Rysunek 2 przedstawia rozkład punktów p_i pomiaru ciśnienia (otwory w panewce). Otwory od p_1 do p_5 służą do pomiaru ciśnienia w kierunku osiowym łożyska. Otwory od p_6 do p_{17} odpowiadają pomiarom ciśnienia w kierunku obwodowym, przy czym jeden z otworów jest wspólny dla obu pomiarów ($p_3=p_{17}$).



Rys. 2. Schemat rozmieszczenia otworów pomiarowych: p_i – ciśnienia

Fig. 2. Scheme: Measuring slots arrangement: p_i – pressure measurements

Do otworów pomiarowych widocznych na rysunku 2 podłączone są elastyczne przewody, które prowadzą medium smarujące do tablicy pomiarowej. Składa się ona z 16 przezroczystych rurek pomiarowych, umieszczonych na tle podziałki liniowej. Z tablicy odczytywane jest ciśnienie w milimetrach słupa cieczy smarującej. Aby zapobiec możliwości przelania się środka smarnego, górne końce rurek są połączone rynną, z której środek smarny może być odprowadzony do zbiornika przelewowego. Zbiornik ten odgrywa również rolę zasobnika środka smarnego. Suwliwe zamocowanie w kierunku pionowym umożliwia ustawienie poziomu zerowego cieczy w układzie pomiarowym.



Rys. 3. Tablica pomiarowa ciśnienia: 1 – łożysko, 2 – układ rurek, 3 – rynna przelewowa, 4 – przewody pomiarowe, 5 – naczynie zbiorcze

Fig. 3. Pressure measuring table: 1 – bearing, 2 – pipes array, 3 – overflow chute, 4 – measuring lines, 5 – expansion tank

Pomiar temperatury

Ze względu na kluczowe znaczenie temperatury dla pracy węzłów łożyskowych tarcia płynnego w omawianym stanowisku przewidziano możliwość jej pomiaru. Można do tego wykorzystać termoparę znajdującą się w panewce komory badawczej lub termometr przepływowy umieszczony na przewodach pomiarowych ciśnienia.

Pomiar ekscentryczności

Istotnym parametrem charakteryzującym stan pracy łożyska ślizgowego smarowanego hydrodynamicznie jest ekscentryczność. Można ją przykładowo mierzyć za pomocą dwóch potencjometrycznych czujników przemieszczenia umieszczonych na pokrywie przedniej obudowy łożyska. Sygnał z czujników po wzmacnieniu i odpowiedniej obróbce może posłużyć do wizualizacji zmiany względnego położenia panewki i czopa.

Pomiar prędkości obrotowej

Istnieje możliwość pomiaru prędkości obrotowej przez umieszczenie wskaźnika impulsowego na odsłoniętej części wału i zliczanie impulsów w danym przedziale czasowym, tak jak to odbywa się przy użyciu popularnych tachometrów. Można również określić prędkość obrotową wału silnika na podstawie zadanych parametrów pracy falownika zasilającego układ.

2.3. Konstrukcja nośna

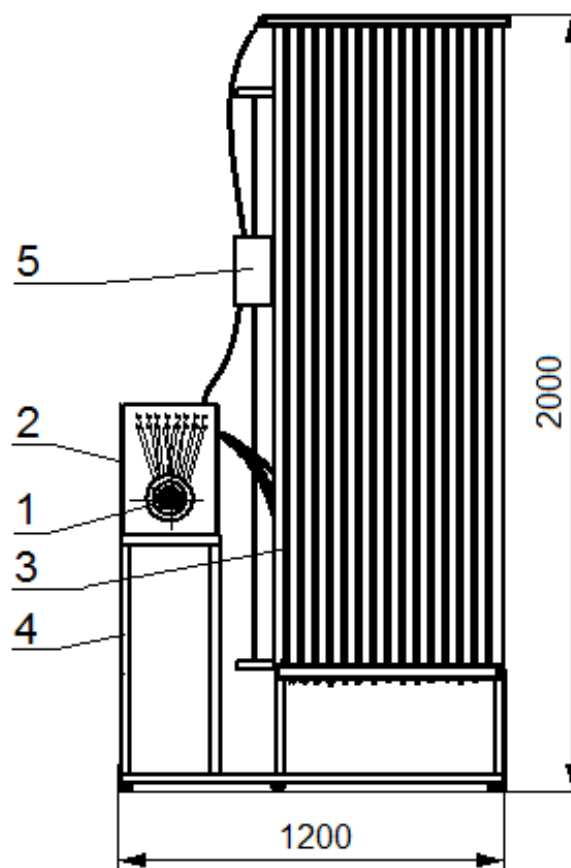
Stanowisko powinno być ergonomiczne i łatwo przemieszczalne oraz stabilne statycznie. W celu łatwego przemieszczenia można wyposażyć ramę w układ jezdny z możliwością jego blokowania. Stateczność konstrukcji można zapewnić przez utwierdzenie jej do podłoża bądź ścian pomieszczenia lub odpowiednie dociążenie podstawy. Rama stanowiska jest zbudowana z profili stalowych. Ze względu na pełnione funkcje można wyodrębnić z niej dwa podukłady:

- ramę silnika,
- ramę układu pomiarowego i sterowania.

Zespół łożyska jest mocowany na wale długim silnika przykręcanego na łapach dolnych do ramy stalowej. Należy umieścić go na odpowiedniej wysokości, tak aby zapewnić łatwy dostęp do układu obciążania łożyska. Dla tej ramy istotna jest możliwość jej poziomowania z uwagi na elementy zamocowane na wale silnika.

Ze względu na rozmiary tablicy pomiarowej istnieje zagrożenie utraty stateczności maszyny, co stanowi niebezpieczeństwo dla użytkownika. W związku z powyższym rama układu pomiarowego musi być odpowiednio usztywniona i utwierdzona.

Koncepcja zakłada, że gabaryty całego stanowiska nie powinny przekraczać 2 m wysokości, 1,2 m szerokości i 0,6 m głębokości. Przykładowe rozmieszczenie omawianych elementów funkcjonalnych przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Stanowisko dydaktyczne – koncepcja; 1 – łożysko ślizgowe, 2 silnik, 3 – tablica pomiarowa, 4 – rama, 5 – zbiornik oleju

Fig. 4. Experimental rig – conception; 1 – bearing, 2 – motor, 3 – measuring table, 4 – frame, 5 – oil tank

3. PODSUMOWANIE

Przedstawiona koncepcja stanowiska dydaktycznego pozwala na ukazanie zasady działania poprzecznych łożysk ślizgowych tarcia płynnego. Istnieje możliwość wprowadzenia wielu zmian oraz usprawnień zwiększających funkcjonalność tego urządzenia, jak np.:

- wykonanie panewki łożyska z materiału przezroczystego (np. poliwęglan). Taka zmiana taka umożliwiłaby obserwację zjawiska powstawania hydrodynamicznego filmu smarnego,
- wykonanie kilku czopów współpracujących z panewką łożyska, dzięki czemu można realizować badania przy różnych wartościach luzu średnicowego,
- zastąpienie układu pomiarowego ciśnienia (rurki pomiarowe) układem czujników manometrycznych,
- uzupełnienie wyposażenia stanowiska o układ pomiaru kąta wychylenia panewki, na podstawie którego można ocenić opory tarcia w łożysku.

Bibliografia

1. Hebda M., Wachal A.: Trybologia. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1980.
2. Kiciński J.: Teoria i badania hydrodynamicznych poprzecznych łożysk ślizgowych. Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wydawnictwo Polskiej Akademii Nauk, Wrocław 1994.
3. Morgoil Backup Roll Bearings for Flat Rolling Mills. Morgan Construction Co., Worcester 1995.
4. Grądkowski P.: Dydaktyczne zastosowanie stanowiska do badania segmentów łożysk hydrostatycznych. XXIII Sympozjon PKM, t. 3, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 2007, s. 297-305.