Grzegorz ROTTA*, Michał WASILCZUK*, Michał WODTKE*

BADANIA DOŚWIADCZALNE RÓŻNYCH SPOSOBÓW SMAROWANIA WZDŁUŻNYCH ŁOŻYSK ŚLIZGOWYCH

EXPERIMENTAL STUDY OF DIFFERENT SUPPLY DESIGNS IN HYDRODYNAMIC THRUST BEARINGS

Słowa kluczowe:

smarowanie hydrodynamiczne, łożyska wzdłużne, systemy smarowania, badania doświadczalne

Key words:

hydrodynamic lubrication, thrust bearings, supply design, experimental study

Streszczenie

Hydrodynamiczne łożyska wzdłużne charakteryzują się znacznymi stratami tarcia, które przyczyniają się do wzrostu temperatury łożyska i obniżenia jego nośności. Obecnie olej smarujący jest zazwyczaj chłodzony w zewnętrznych układach chłodzenia. Po schłodzeniu olej jest dostarczany z powrotem do korpusu łożyska, z reguły do przestrzeni między kloc-

* Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk.

kami łożyska. Skuteczność dostarczania schłodzonego oleju w pobliże wlotu do szczeliny smarowej ma wpływ na temperaturę łożyska i jego obciążalność. W pracy przedstawiono wyniki badań doświadczalnych trzech systemów dostarczania oleju na właściwości małego łożyska szybkoobrotowego.

SMAROWANIE BEZPOŚRDNIE W ŁOŻYSKACH ŚLIZGOWYCH WZDŁUŻNYCH

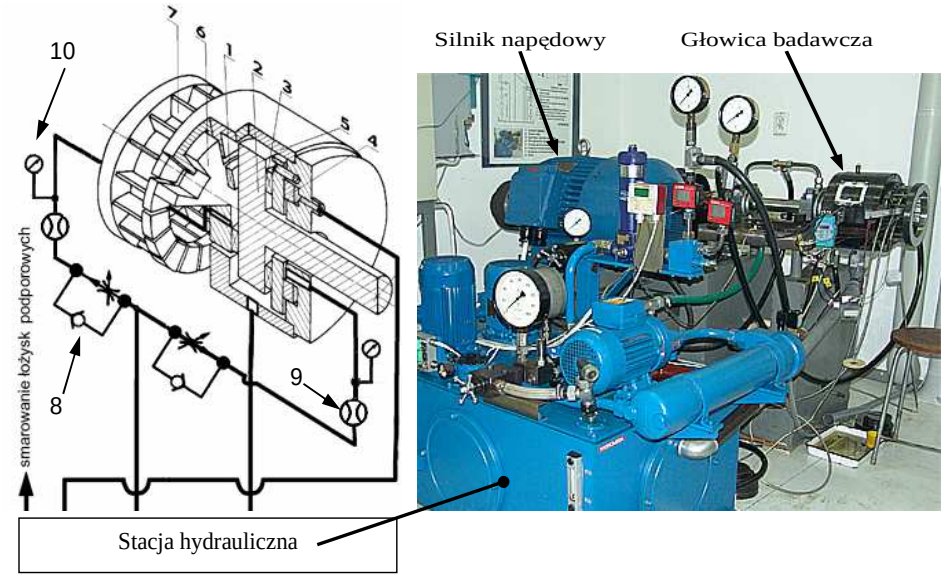
Smarowanie bezpośrednie (smarowanie natryskowe, smarowanie poprzez rowki smarowe) jest jednym ze sposobów poprawy warunków pracy hydrodynamicznych łożysk wzdłużnych. Skuteczność tych metod zależy od rozmiarów i warunków pracy łożyska (a zwłaszcza od prędkości ślizgania). Najczęściej spotykane są dwie koncepcje zastosowania smarowania bezpośredniego. Pierwsza z nich zakłada, że łożysko wraz z elementami dostarczającymi olej zanurzone jest w oleju znajdującym się w obudowie łożyska. Rozwiązanie to jest spotykane w dużych łożyskach, jak np. w hydrogeneratorach. W drugim przypadku stwarza się warunki do tego, aby korpus łożyska był opróżniony z oleju, a niezbędna dla poprawnej pracy łożyska ilość oleju dostarczana jest za pomocą elementów układu smarowania bezpośredniego. W tym przypadku strumień oleju kierowany jest w pobliże wlotu do szczeliny smarowej. Najczęściej jest to spotykane w małych łożyska szybkoobrotowych [**L. 1**]. Wykonanie badań doświadczalnych dla określonych warunków pracy może pomóc w ocenie skuteczności danego systemu smarowania w tych warunkach.

OPIS STANOWISKA BADAWCZEGO

Na **Rys. 1** przedstawiono schemat układu hydraulicznego stanowiska badawczego SON znajdującego się w laboratorium Wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej [**L. 2**].

Układ ten pozwala na uzyskanie różnych warunków smarowania i obciążenia łożyska. Dzięki temu warunki pracy badanego łożyska są zbliżone do tych spotykanych w praktyce, realizowane sposoby dostarczania zimnego oleju mają zastosowanie w praktyce, istnieje możliwości różnicowania stopnia wypełnienia korpusu łożyska olejem. Ponadto w stanowisku tym pomiarom i rejestracji podlega wiele parametrów.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 1. Stanowisku badawcze wzdłużnych łożysk ślizgowych SON: a) głowica badawcza: 1 – łożysko badane, 2 – tarcza oporowa, 3 – łożysko oporowe, 4 – tłok obciążający, 5 – korpus głowicy badawczej, 6 – pokrywa głowicy badawczej, 7 – momentomierz, 8 – regulator przepływu, 9 – przepływomierz, 10 – manometr; b) widok ogólny

Fig. 1. Thrust bearing test rig SON: a) test head: 1 – test thrust bearing, 2 – runner, 3 – auxiliary thrust bearing, 4 – load piston, 5 – bearing housing, 6 – housings cover, 7 – torque meter, 8 – flow control valve, 9 – flow meter, 10 – manometer; b) general view

Stanowisko składa się z głowicy badawczej, układu napędowego oraz hydraulicznego układu smarowania i obciążania łożysk. Łożysko napędzane jest silnikiem o mocy 30 kW, a jego prędkość regulowana jest w sposób płynny za pomocą falownika do 7000 obr./min. Badane łożysko smarowane jest za pomocą pompy zębatej olejem o maksymalnej ilości 45 l/min i maksymalnym ciśnieniu do 2,9 MPa. Wartość przepływu ustawiana jest regulatorami natężenia przepływu oraz przepływomierzy. Obciążenie łożyska wzdłużnego (do 90 kN) i smarowanie łożysk podporowych realizowane jest za pomocą dwusekcyjnej pompy zębatej. Olej filtrowany jest z dokładnością 3 μm.

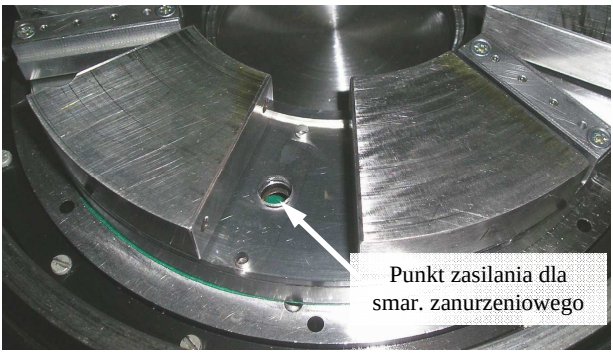
OPIS ŁOŻYSKA BADAWCZEGO

W badaniach wykorzystano sześcioklockowe łożysko badawcze (Dz = 180 mm, Dw = 90 mm), w którym stalowe klocki o grubości

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

12 mm współpracowały z tarczą oporową wykonaną z brązu ołowiowego B030 (czyli w tzw. odwróconej parze ciernej). Klocki podparte były punktowo. Olej smarujący dostarczano do łożyska bezpośrednio pomiędzy klocki łożyskowe. Łożysko to umożliwia realizację trzech różnych sposobów zasilania łożyska olejem:

– smarowanie zanurzeniowe (**Rys. 2**) – olej dostarczany jest poprzez otwory w spodzie przestrzeni międzyklockowej (tymi samymi otworami dostarczany jest olej do kostek smarowania natryskowego i do rowków smarowych za krawędzią wlotową);



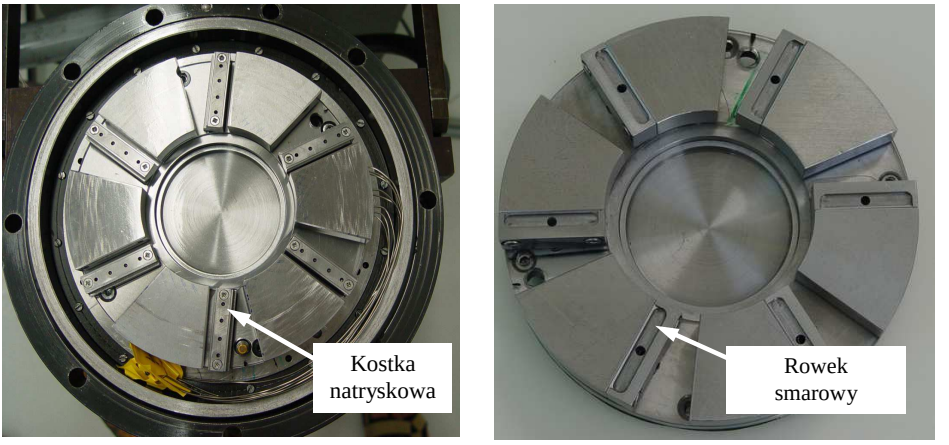
Rys. 2. Widok fragmentu łożyska badawczego smarowanego zanurzeniowo
Fig. 2. View of the fragment of the test bearing in flood lubricated case

– smarowanie natryskowe (**Rys. 3a**) – olej dostarczany jest poprzez kostki natryskowe z czterema otworami o średnicy 1 mm, przykręcaną do podstawy łożyska;
– smarowanie poprzez rowek za krawędzią wlotową (**Rys. 3b**) – do każdego klocka przykręcona jest przystawka z rowkiem smarowym (wykonana w dwóch wariantach: z upustem oleju i bez upustu).

W wykonanych badaniach smarowanie bezpośrednie (**Rys. 3**) realizowane było przy założeniu opróżnionej obudowy, czyli teoretycznie łożysko nie było otoczone olejem (w praktyce otoczone było mieszaniną olejowo-powietrzną).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

a) b)



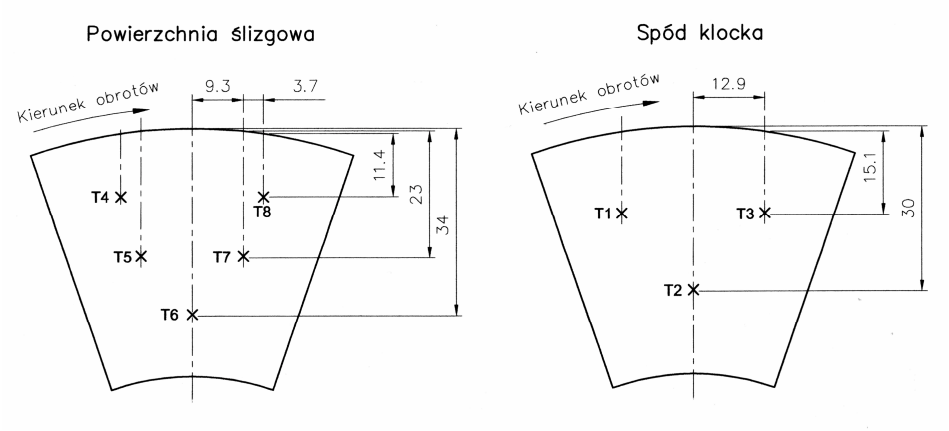
Rys. 3. Łożysko badawcze: a) smarowane natryskowo, b) smarowane poprzez rowek za krawędzią wlotową

Fig. 3. Test bearing: a) spray lubricated, b) leading edge groove lubricated

PRZEBIEG BADAŃ I WIELKOŚCI MIERZONE

W badaniach porównano trzy sposoby smarowania łożyska przy różnych warunkach działania. Zmienne warunki pracy uzyskiwane były poprzez zmianę prędkości obrotowej, obciążenia i natężenia przepływu oleju smarującego. Temperatura oleju zasilającego we wszystkich badaniach była utrzymywana na poziomie 40±0,5°C, natomiast jako czynnika smarującego użyto oleju turbinowego ISO VG32. Zastosowane w badaniach natężenia przepływu przyjęte zostały na podstawie katalogu firmy Kingsbury [**L. 3**], co było jednocześnie odwzorowaniem przemysłowych warunków smarowania łożysk. Wielkościami mierzonymi i zapisywanymi przez układ rejestrujący podczas badań były: temperatura łożyska, grubość filmu olejowego, moment tarcia, natężenie przepływu oleju zasilającego, temperatura i ciśnienie oleju zasilającego, siła wzdłużna obciążająca łożysko, prędkość obrotowa wału. Parametrem porównawczym testowanych systemów była temperatura w klocku łożyskowym, gdyż jest to najczęściej stosowane kryterium oceny stanu łożyska. Najbardziej miarodajne jest umieszczenie czujnika temperatury w miejscu położonym w 75% od krawędzi natarcia obwodowo i w 75% od krawędzi wewnętrznej promieniowo ([**L. 1, 4**]), tzw. punkt C75%/R75%. W badanym łożysku jeden z klocków został wyposażony w 7 termopar. W punkcie „C75%/R75%” umieszczono termoparę oznaczoną jako T8 (**Rys. 4**).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 4. Schemat rozmieszczenia termopar w klocku badawczym
Fig. 4. Thermocouples location on testing pad

WYNIKI BADAŃ

Poniżej przedstawiono wyniki następujących badań łożyska:

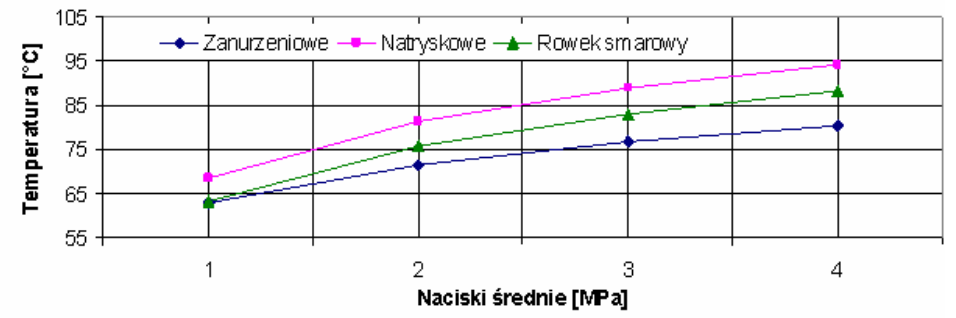
- Zależność temperatury od siły obciążającej łożysko (n = 3000 i 4000 obr./min, czas = 13 i 16 l/min, $p_{śr}$ = 1; 2; 3; 4 MPa, czyli F = 12; 24; 36; 48 kN),
- Zależność temperatury od natężenia przepływu oleju smarującego (n = 3000 obr./min, $p_{śr}$ = 2 MPa, czyli F = 24 kN, czas = 8, 10, 13, 16, 22 l/min).

Analiza pełnego programu badań obejmującego prędkości obrotowe 2000, 3000 i 4000 obr./min została przedstawiona w [**L. 5**]. Dla danych parametrów pracy łożyska (n, Q_{zas}, P) i po ustabilizowaniu wszystkich temperatur utrzymywano ten stan przez około 5 minut w celu rejestracji wyników dla określenia średnich wartości parametrów w stanie ustabilizowanym. Szczegółowy opis przebiegu badań znaleźć można w pracach [**L. 5** i **6]**.

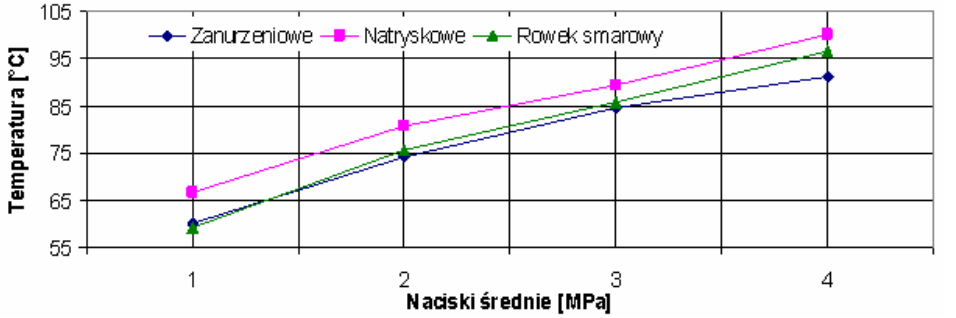
Zależność temperatury od siły obciążającej łożysko

Na **Rys. 5** przedstawiono temperatury zarejestrowane w termoparze T8. W wykonanych badaniach temperatura w tym punkcie była zazwyczaj maksymalną zarejestrowaną temperaturą (w bardzo nielicznych wypadkach nieznacznie wyższa temperatura maksymalna rejestrowana przez sąsiednią termoparę T7).

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rys. 5. Temperatura w punkcie 75%/75% (n = 3000 obr./min, czas = 13 l/min)
Fig. 5. Temperature at C75%/R75% point (n = 3000 rpm, Qsupply = 13 l/min, pav = 1–4 MPa)



Rys. 6. Temperatura w punkcie 75%/75% (n = 4000 obr./min, czas = 16 l/min)
Fig. 6. Temperature at C75%/R75% point (n = 4000 rpm, Qsupply = 16 l/min, pav = 1÷4 MPa)

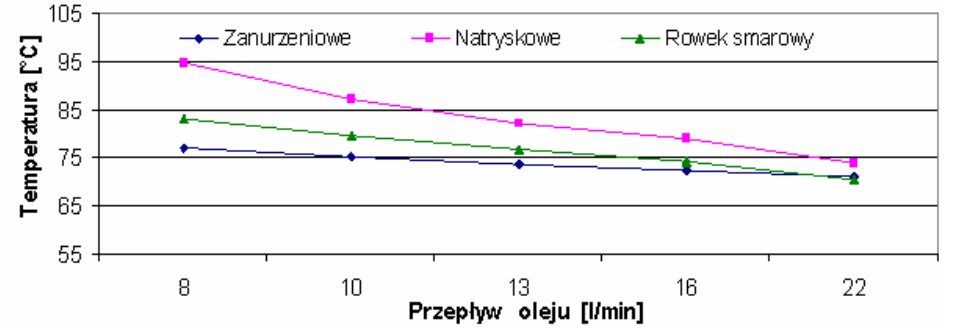
Przebiegi temperatur w punkcie C75%/R75% wskazują, że spośród zbadanych konstrukcji dostarczających olej, w badanych zakresach pracy łożyska smarowanie zanurzeniowe wykazuje najwyższą skuteczność w chłodzeniu łożyska. Najniższą skuteczność chłodzenia zanotowano dla smarowania natryskowego.

Zależność temperatury od natężenia przepływu oleju smarującego

Badania polegające na zmianie natężenia przepływu oleju zasilającego, wykazały wzrost temperatury wraz ze zmniejszaniem przepływu oleju. Przy maksymalnym możliwym natężeniu przepływu, czyli 22 l/min, różnice temperatur pomiędzy badanymi sposobami smarowania wynosiły ok. 4°C. Przy minimalnym przewidzianym w tym badaniu natężeniu prze-

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

pływu różnica temperatur pomiędzy najlepszym (zanurzeniowym) a najgorszym (natryskowym) sposobem smarowania wyniosła aż 23°C.



Rys. 7. Temperatury w zależności od przepływu oleju (n = 3000 obr./min, $p_{śr}$ = 2 MPa)
Fig. 7. Temperature at C75%/R75% point (n = 3000 rpm, pav = 2 MPa, Qsupply = var)

WNIOSKI

1. Największą skuteczność w obniżaniu temperatury łożyska wykazało smarowanie zanurzeniowe a najniższą smarowanie natryskowe. Smarowanie poprzez rowek smarowy zazwyczaj wykazywało pośrednie skuteczności w obniżaniu temperatury łożyska.
2. Dla wyższej prędkości obrotowej skuteczność obniżania temperatury za pomocą smarowania natryskowego zwiększyła się, a skuteczność wszystkich systemów zbliżyła się do siebie.
3. Dla większych przepływów oleju smarującego skuteczność poszczególnych systemów staje się zbliżona. Spowodowane to było większym wypełnieniem obudowy łożyska olejem, co zbliżało łożysko do stanu podobnego do smarowania zanurzeniowego i mogło przyczyniać do lepszej wymiany ciepła między klockiem a olejem otaczającym klocek.
4. Wbrew temu, co pokazywały wyniki badań doświadczalnych prezentowanych w literaturze [**L. 1**], smarowanie bezpośrednie nie daje gwarancji skuteczniejszego obniżania temperatury łożyska we wszystkich zakresach jego pracy. W zbadanym zakresie pracy łożyska kluczową rolę odgrywa skuteczne odprowadzanie ciepła poprzez ścianki klocka, co uzyskiwane jest poprzez omywanie ścianek klocka całkowicie zanurzonego w oleju.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

LITERATURA

1. Mikula A.M., Gregory R.S.: „A Comparison of Tilting Pad Thrust Bearing Lubricant Supply Methods", Transactions of the ASME, Journal of Lubrication Technology, Vol. 105, No.1, 1983, s. 39–47.
2. Olszewski O., Dąbrowski L., Wasilczuk M.: „Poszukiwanie optymalnego kształtu powierzchni odkształconej przez hydrodynamiczny film smarowy", raport z projektu badawczego KBN (Umowa nr 916217), Gdańsk 1991.
3. www.kingsbury.com/on-line_catalogs.shtml, katalog "LEG Thrust & Journal Bearings".
4. Capitao J.W.: „Performance Characteristics of Tilting Pad Thrust Bearings at High Operating Speeds", Transactions of the ASME, Journal of Lubrication Technology, Vol. 98, No. 1, 1976, s. 81–89.
5. Wodtke M., Rotta G., Wasilczuk M., Dąbrowski L.: „Badanie zjawisk w przestrzeni międzyklockowej i ich wpływu na właściwości łożyska", raport z projektu badawczego KBN (Umowa nr 4 T07C 017 29), Gdańsk 2008.
6. Rotta G.: „Wpływ konstrukcji przestrzeni międzyklockowej na charakterystyki wzdłużnego łożyska ślizgowego", rozprawa doktorska, Gdańsk, 2009.

Recenzent:
Janusz JANECKI

Summary

Hydrodynamic thrust bearings have considerable power losses, and in modern designs lubricated oil is cooled in external systems. After the cooling, oil is pumped back to the bearing housing, most frequently to the space between pads. Effectiveness of supplying of cold oil to the vicinity of the inlet to the fluid film has a strong influence on bearing temperature and load capacity. In practice there is a lot of different supply methods used in thrust bearings, but there is a lack of descriptions of their efficiency in literature. In this paper some experimental results of influence of selected supplying methods on bearing characteristics have been presented.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl