



## **PORÓWNANIE DZIAŁANIA POPRZECZNYCH ŁOŻYSK ŚLIZGOWYCH NA ZMODERNIZOWANYM STANOWISKU DYDAKTYCZNYM**

**Piotr Bzura  
Jakub Kowalski**

*Politechnika Gdańska,  
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa,  
Zakład Siłowni Okrętowych  
ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, tel.: +48 58 3472763  
e-mail: pbzura@pg.edu.pl*

### **Streszczenie**

*W artykule przedstawiono autorską metodę porównania działania poprzecznych łożysk ślizgowych na podstawie wyników badań wykonanych na zmodernizowanym stanowisku laboratoryjnym. Modernizacja stanowiska składającego się ze źródła mocy w postaci silnika elektrycznego napędzającego dwa wały połączone sprzęgłem i zakończone łożyskiem wzdłużnym przekazującym siłę naporu. Podłączenie przetwornika częstotliwości umożliwiło pracę silnika elektrycznego przy różnych prędkościach obrotowych i stałym momencie obrotowym. Na podstawie analizy przeprowadzonych badań został przedstawiony algorytm, według którego porównano ze względu na kierunek i prędkość obrotów oraz sposób smarowania poprzeczne łożyska ślizgowe posadowione na pierwszym wale między silnikiem a łożyskiem oporowym.*

**Słowa kluczowe:** działanie wału, poprzeczne łożyska ślizgowe

### **1. Wstęp**

W poprzednich artykułach [1, 2] analizowane było działania łożysk tocznych i ślizgowych na podstawie badań na stanowisku laboratoryjnym. Stanowisko laboratoryjne zostało w dużym stopniu zmodyfikowane.

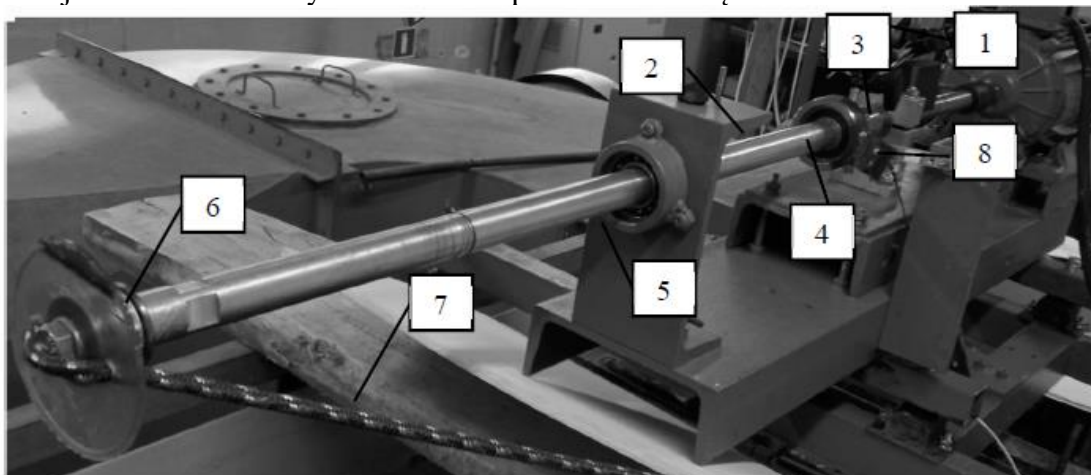
### **2. Opis stanowiska pomiarowego**

Zmodernizowane stanowisko laboratoryjne zaprezentowane zostało na rysunku 1. Na rysunkach 2, 3 przedstawiono możliwość sterowania ilością energii elektrycznej dostarczonej do silnika i sposób pomiaru siły naporu.

Badania działania poprzecznych łożysk ślizgowych na stanowisku laboratoryjnym były wykonywane po uruchomieniu trójfazowego silnika elektrycznego SZJe firmy ATB Tamel S.A., którego prędkość obrotowa była regulowana za pomocą przetwornika częstotliwości MD200. Siła naporu generowana była przez napięcie liny 7 (rys.1), dzięki czemu porównano działanie łożysk ze względu na kierunek obrotu i sposób smarowania.

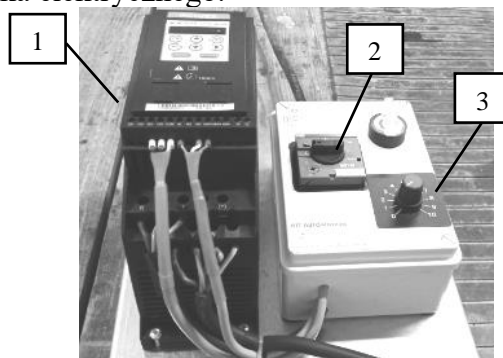
Stanowisko pomiarowe jest wyposażone w trójfazowy silnik elektryczny (1), zasilany energią elektryczną. W czasie badań moment obrotowy silnika, generowany przy różnych prędkościach obrotowych, przekazywany przez łożysko oporowe (4) powoduje obracanie się wału obciążonego

liną ustalającą. Sterowanie pracą silnika jest realizowane za pomocą trójfazowego licznika energii elektrycznej OR-WE-505 firmy ORNO S.A. i przetwornika częstotliwości MD200W.



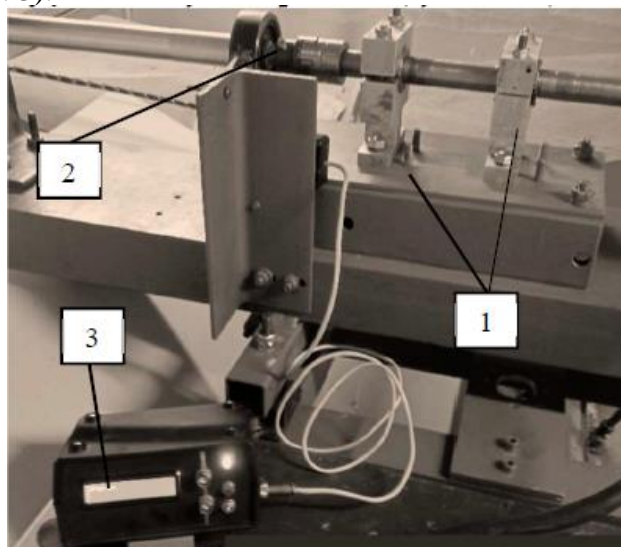
Rys. 1. Widok stanowiska pomiarowego wału pośredniego z łożyskami, gdzie:  
1- trójfazowy silnik elektryczny, 2 – wał pośredni, 3– łożysko poprzeczne, 4 – łożysko oporowe, 5 –łożysko wahliwe, 6 – płyta z łożyskiem wzdłużnym, 7- lina ustalająca siłę naporu, 8 – czujnik do pomiaru siły naporu śruby napędowej.

Za pomocą przetwornika częstotliwości [3] (rysunek 2) było możliwe ustawianie różnych prędkości obrotowych silnika elektrycznego.



Rys. 2. Widok przetwornika częstotliwości gdzie:  
1 – przetwornik częstotliwości MD200, 2 – włącznik, 3 – potencjometr

Jako siłę naporu generowaną przez element 6 i 7 (rys.1) została przyjęta siła osiowa działająca na łożysko oporowe (rys. 3).



Rys. 3. Zobrazowanie sposobu pomiaru siły naporu gdzie:  
1 – poprzeczne łożyska ślizgowe, 2 – łożysko oporowe, 3 – czujnik siły naporu

Podczas badań mierzone były wartości następujących wielkości:

- energia  $E_D$  [N·m/h], dostarczona z sieci do silnika elektrycznego napędzającego wał m.in. z posadowionymi łożyskami ślizgowymi, która charakteryzuje działanie układu,
- siła napory  $T$  [N]
- czas trwania jednego impulsu elektrycznego  $\tau$  [s].

Działanie łożysk poprzecznych było analizowane na podstawie współczynnika określającego ile energii jest traconej na jedną godzinę działania siły napory:

$$\zeta_n = \frac{E_T}{T} \quad (1)$$

gdzie:

$E_T$  – energia tracona [N·m/h],

$T$  – siła napory [N].

Ponieważ analiza dotyczy porównania działania różnych łożysk powyższy wzór (1) można przekształcić i zapisać jako:

$$\zeta_P = \frac{\zeta_{ni}}{\zeta_{nmax}} = \frac{\frac{E_{Di}}{T_i}}{\frac{E_{Db}}{T_b}} \quad (2)$$

gdzie:

$E_{Db}$  – energia dostarczona do silnika napędzającego wał z posadowionymi poprzecznymi łożyskami, wybranymi jako bazowe,

$T_b$  – napór bazowych łożysk poprzecznych,

$E_{Di}$  – energia dostarczona do silnika napędzającego wał z posadowionymi poprzecznymi łożyskami porównywanymi z bazowymi.

$T_i$  – napór porównywanych łożysk poprzecznych.

### 3. Metoda wyznaczania wadliwości działania poprzecznych łożysk ślizgowych

Przedstawiono wyniki czterech wariantów badań poprzecznych łożysk ślizgowych:

1. Obroty lewostronne łożyska niesmarowane różne prędkości,
2. Obroty lewostronne łożyska smarowane olejem Gulf 10W-40 - różne prędkości obrotowe,
3. Obroty prawostronne łożyska niesmarowane różne prędkości,
4. Obroty prawostronne łożyska smarowane olejem Gulf 10W-40 - różne prędkości obrotowe.

Ponieważ prezentowana metoda dotyczy porównania kierunku obrotów oraz różnych prędkości obrotowych i sposobu smarowanie dwóch poprzecznych łożysk ślizgowych zastosowano równość momentu obrotowego wału i momentu obrotowego silnika wynoszącego ok. 8,2 Nm.

Badania zostały wykonane wg procedury zgodnie, z którą należało:

1. Przygotować układ napędowy z dwoma poprzecznymi łożyskami ślizgowymi,
2. Ustawić przetwornik częstotliwości na dany kierunek obrotów silnika,
3. Ustawić przetwornik częstotliwości na częstotliwość  $f_1$ ,
4. Uruchomić silnik elektryczny i odczytać; siły napory płyty z łożyskiem głównym,
5. wyznaczyć czas trwania jednego impulsu elektrycznego,
6. Ustawić przetwornik częstotliwości na częstotliwość  $f_2$ ,
7. Wykonać wszystkie pomiary wg punktu 4.,
8. Zmienić kierunek obrotów silnika,
9. Wykonać wszystkie pomiary wg punktów 3-7
10. Przygotować układ napędowy z dwoma łożyskami ślizgowymi smarowanymi olejem i przeprowadzić pomiary analogicznie jak wyżej.

W tabelach 1÷4 przedstawiono wyniki pomiarów przeprowadzonych na stanowisku w laboratorium.

Tab.1. Wyniki badań w przypadku lewostronnego ruchu obrotowego dla niesmarowanych łożysk poprzecznych

Prędkość obrotowa [obr/s]	Czas trwanie impulsu elektrycznego [s]	Godzinowe zużycie energii elektrycznej [Nm/h]	Siła naporu na łożyska [N]	Natężenie przepływu oleju smarowego $10^{-9}$ [m <sup>3</sup> /s]
1,05	51,25	0,0070	0,1529	0
1,05	51,81	0,0069	0,1733	0
1,05	51,39	0,0070	0,1631	0
2,80	22,45	0,0160	0,2243	0
2,80	22,35	0,0161	0,2039	0
2,80	22,84	0,0158	0,1835	0

Tab.2. Wyniki badań w przypadku lewostronnego ruchu obrotowego dla smarowanych łożysk poprzecznych

Prędkość obrotowa [obr/s]	Czas trwanie impulsu elektrycznego [s]	Godzinowe zużycie energii elektrycznej [Nm/h]	Siła naporu na łożyska [N]	Natężenie przepływu oleju smarowego $10^{-9}$ [m <sup>3</sup> /s]
1,05	51,91	0,0069	0,1529	0,10
1,05	51,27	0,0070	0,1733	0,10
1,05	52,27	0,0069	0,1631	0,10
2,80	23,86	0,0151	0,0917	0,21
2,80	23,69	0,0152	0,0714	0,21
2,80	23,64	0,0152	0,0612	0,21

Tab.3. Wyniki badań w przypadku prawostronnego ruchu obrotowego dla niesmarowanych łożysk poprzecznych

Prędkość obrotowa [obr/s]	Czas trwanie impulsu elektrycznego [s]	Godzinowe zużycie energii elektrycznej [Nm/h]	Siła naporu na łożyska [N]	Natężenie przepływu oleju smarowego $10^{-9}$ [m <sup>3</sup> /s]
1,05	51,83	0,0069	0,2671	0
1,05	51,4	0,0070	0,2854	0
1,05	51,86	0,0069	0,2589	0
2,80	22,27	0,0162	0,1529	0
2,80	22,64	0,0159	0,2345	0
2,80	22,53	0,0160	0,2039	0

Tab.4. Wyniki badań w przypadku prawostronnego ruchu obrotowego dla smarowanych łożysk poprzecznych

Prędkość obrotowa [obr/s]	Czas trwanie impulsu elektrycznego [s]	Godzinowe zużycie energii elektrycznej [Nm/h]	Siła naporu na łożyska [N]	Natężenie przepływu oleju smarowego $10^{-9}$ [m <sup>3</sup> /s]
1,05	51,51	0,0070	0,2650	0,10
1,05	51,44	0,0070	0,1937	0,10
1,05	51,55	0,0070	0,1835	0,10
2,80	23,94	0,0150	0,1937	0,21
2,80	23,97	0,0150	0,1631	0,21
2,80	23,82	0,0151	0,1529	0,21

W tabeli 5. przedstawiono porównano działania łożysk poprzecznych na podstawie wzoru (2), jako bazowy wybrano model prawostronnego ruchu obrotowego dla  $n=1,05\text{obr/s}$  i niesmarowanych łożysk poprzecznych.

Tab.5. Wyniki będące rezultatem porównania działania łożysk poprzecznych

Warianty badań łożysk ślizgowych poprzecznych	$\xi_p$
Przy lewostronnym ruchu obrotowym z prędkością $n=1,05\text{ obr/s}$ dla niesmarowanych łożysk poprzecznych	1,6652
Przy lewostronnym ruchu obrotowym z prędkością $n=2,80\text{ obr/s}$ dla niesmarowanych łożysk poprzecznych	3,0421
Przy lewostronnym ruchu obrotowym z prędkością $n=1,05\text{obr/s}$ dla smarowanych łożysk poprzecznych	1,6546
Przy lewostronnym ruchu obrotowym z prędkością $n=2,08\text{obr/s}$ dla smarowanych łożysk poprzecznych	7,8823
Przy prawostronnym ruchu obrotowym z prędkością $n=1,05\text{obr/s}$ dla niesmarowanych łożysk poprzecznych	1,0000
Przy prawostronnym ruchu obrotowym z prędkością $n=2,08\text{obr/s}$ dla niesmarowanych łożysk poprzecznych	3,1562
Przy prawostronnym ruchu obrotowym z prędkością $n=1,05\text{obr/s}$ dla smarowanych łożysk poprzecznych	1,2683
Przy prawostronnym ruchu obrotowym z prędkością $n=2,08\text{obr/s}$ dla niesmarowanych łożysk poprzecznych	3,4421

Na podstawie przedstawionych wyników badań umożliwiających określenie współczynnika  $\xi_p$  można stwierdzić, że panwie poprzeczne każdego badanego łożyska ślizgowego najefektywniej działają przy ruchu lewostronnym, obfitym smarowaniu i przy większej prędkości obrotowej. Dodatkowo można stwierdzić, że łożyska poprzeczne lepiej pracują dla ruchu lewostronnego.

#### 4. Uwagi końcowe i wnioski

Przedstawione stanowisko laboratoryjne zostało zbudowane tylko dla celów dydaktycznych. Umożliwia ono dodatkowo analizę innych łożysk, np. łożysk wzdłużnych. Warto również zwrócić uwagę na możliwość wykorzystania programów Autodesk Inventor i Autodesk CFD do dalszej analizy działania łożysk poprzecznych i wzdłużnych posadowionych na wale napędzanym silnikiem elektrycznym.

#### Literatura

- [1] Bzura, P, Analiza i ocena poprawności działania węzła tarcia w aspekcie II zasady termodynamiki, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, Kwartalnik grudzień 2018.
- [2] Bzura, P, Analiza i ocena wadliwości działania węzła tarcia w aspekcie II zasady termodynamiki, Journal of Polish CIMEEAC, Vol. 13, No 1, Gdańsk 2018.
- [3] Bzura P. Porównanie sprawności śrub napędowych jachtu motorowego na stanowisku dydaktycznym. Journal of Polish Cimeeac, vol15, No1, Gdańsk 2021.