

PROBLEMY NIEKONWENCJONALNYCH UKŁADÓW ŁOŻYSKOWYCH

Łódź, 15-16 maja 1997 r.

Stanisław Strzelecki*, Wojciech Litwicki**

*Instytut Konstrukcji Maszyn PŁ, **Elektrownia Bełchatów

CHARAKTERYSTYKI STATYCZNE HIPERBOLOIDALNEGO ŁOŻYSKA ŚLIZGOWEGO 2-POWIERZCHNIOWEGO

SŁOWA KLUCZOWE

Łożyska ślizgowe 2-powierzchniowe, smarowanie termohydrodynamiczne

STRESZCZENIE:

W pracy przedstawiono charakterystyki statyczne łożyska 2-powierzchniowego z zarysem hiperboloidalnym w przekroju osiowym. Dla założonych długości względnych łożyska, równoległego położenia osi czopa i panewki wyznaczono wartości minimalnej grubości filmu smarowego, maksymalne wartości ciśnienia i temperatury w filmie smarnym. Obliczenia przeprowadzono dla adiabatycznego filmu smarnego oraz statycznych położań równowagi czopa.

WSTĘP

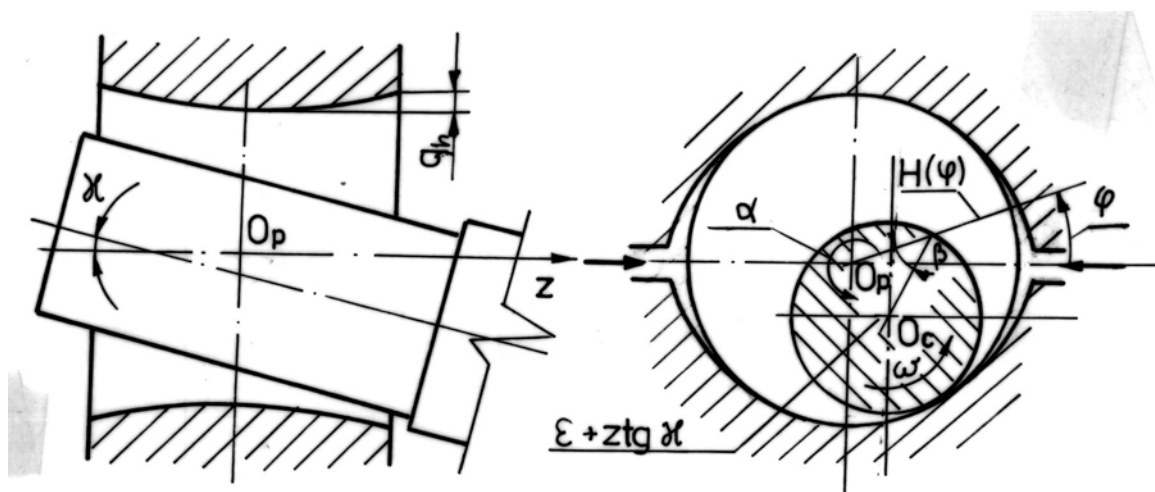
Łożyska 2-powierzchniowe stosowane są w łożyskowaniu wirników turbin i sprężarek. W porównaniu do łożysk z panewką cylindryczną charakteryzują się lepszą statecznością pracy w zakresie wyższych prędkości obrotowych i obciążeń zapewniając jednocześnie korzystniejsze warunki chłodzenia. Łożyska 2-powierzchniowe reprezentowane są przez łożyska cylindryczne [1] z promieniem segmentu równym promieniowi panewki, z hiperboloidalnym zarysem panewki w przekroju osiowym [2,3], łożyska 2-powierzchniowe klasyczne [1] oraz z perycykloidalnym zarysem panewki [4].

Niekorzystnym zjawiskiem w eksploatacji układów wirnikowych łożyskowanych ślizgowo jest praca układu w warunkach przekoszonych osi czopa i panewki co powoduje pracę łożyska w warunkach tarcia mieszanego, przejściową niestateczność oraz wystąpienie koncentracji naprężeń na krawędziach panewki prowadzącą do uszkodzenia stopu łożyskowego. Zakres pracy łożyska bez koncentracji naprężeń może być rozszerzony między innymi poprzez zastosowanie łożysk hiperboloidalnych [2] przenoszących znaczne obciążenia w warunkach

przekoszonych osi czopa i panewki bez konieczności stosowania samonastawnego podparcia panewki. Łożyska wielopowierzchniowe hiperboloidalne, w odróżnieniu od klasycznych łożysk wielopowierzchniowych, mają wypukły zarys panewki w przekroju osiowym. W literaturze brak jest informacji dotyczących charakterystyk statycznych i dynamicznych łożysk wielopowierzchniowych, których zarys w przekroju osiowym opisany jest hiperboloidą. Referat przedstawia obliczenia charakterystyk statycznych cylindrycznego łożyska 2powierzchniowego z hiperboloidalnym zarysem panewki. Wyznaczono charakterystyki statyczne w postaci wartości maksymalnego ciśnienia i temperatury oraz minimalnej grubości filmu smarowego. Porównano otrzymane charakterystyki statyczne z charakterystykami cylindrycznego łożyska 2-powierzchniowego turbogeneratora TG360. Obliczenia przeprowadzono dla adiabatyżnego filmu smarowego oraz statycznych położeń równowagi czopa w zakresie mimośrodowości względnych mniejszych od 0.9.

GEOMETRIA SZCZELINY SMARNEJ

Geometrię łożyska 2-powierzchniowego (rys.1) z zarysem hiperboloidalnym i przekoszonymi osiami czopa i panewki opisuje równanie (1). Łożysko zawiera 2 segmenty rozmieszczone równomiernie na obwodzie i oddzielone rowkami smarowymi.



Rys. 1. Geometria łożyska hiperboloidalnego

$$H(\varphi, z) = H_c + H(\varphi) + H_m(\varphi, z) + H_p, \quad (1)$$

gdzie: φ - współrzędna obwodowa, z - współrzędna w kierunku osiowym. Odpowiednie człony równania (1) mają następujące znaczenie:

$$H_c = 1 - \varepsilon \cdot \cos(\varphi - \alpha), \quad (2)$$

określa grubość filmu smarowego dla łożyska cylindrycznego,

$$H(\varphi) = 0.5 \cdot \psi_s \cdot \cos(\varphi - \gamma), \quad (3)$$

opisuje geometrię szczeliny smarowej dla współosiowego położenia czopa i panewki

$$H_m = q \cdot z \cdot \cos(\varphi - \alpha) \quad (4)$$

przedstawia zmianę geometrii filmu smarowego w wyniku nierównoległego położenia osi czopa i panewki.

Hiperboloidalny zarys panewki w przekroju osiowym przedstawia zależność (5); zmiana tego kształtu jest nieznaczną modyfikacją panewki cylindrycznej co pozwala na wykorzystanie równania Reynoldsa do analizy przepływu środka smarowego w szczelinie łożyska. Współczynnik kształtu c panewki hiperboloidalnej nie powinien przekraczać wartości 0.3 ze względu na duże upływy boczne środka smarowego i zmniejszenie nośności łożyska [2].

$$H_p = c \cdot z^2 \quad (5)$$

W równaniach (2), (3), (4) i (5) przyjęto: α - kąt położenia czopa, γ - kąt określający środek segmentu, ε - mimośrodowość względna, ψ_s - względny luz segmentu, q - współczynnik przekoszenia osi czopa i panewki. W referacie założono, że osie czopa i panewki są równoległe a przekrój poprzeczny prostopadły do tych osi opisuje panewkę dwupowierzchniową [4,5,6].

RÓWNANIA ROZKŁADU CIŚNIENIA I TEMPERATURY

Rozkłady ciśnienia, temperatury i lepkości w filmie smarowym wyznaczono na podstawie równań: Reynoldsa, energii i lepkości [3,6]. Równania otrzymano przy założeniu przepływu laminarnego nieściśliwej cieczy newtonowskiej o stałej przewodności cieplnej i ciepłe właściwym. Dla uproszczenia rozwiązania od strony matematycznej przyjęto stałość ciśnienia i lepkości na grubości warstwy smarowej co przy tych założeniach pozwala na uzyskanie równania rozkładu ciśnienia postaci:

$$\left(\frac{H^3}{\eta} p_\varphi \right)_\varphi + \left(\frac{D}{L} \right)^2 \left(\frac{H^3}{\eta} p_z \right)_z = 6 \cdot H_\varphi + \frac{12}{\omega} H_t, \quad (6)$$

gdzie: p - ciśnienie bezwymiarowe, H - bezwymiarowa grubość filmu smarowego, D - średnica łożyska, L - długość łożyska, η - lepkość dynamiczna środka smarowego, H_φ i H_t - pochodne cząstkowe H względem φ i t , t - czas, ω - prędkość kątowna.

Rozkład ciśnienia wyznaczony z równania (6) uwzględniany jest w równaniu energii (7).

$$\frac{12 \cdot H}{Pe} \left(T_{\varphi\varphi} + \left(\frac{D}{L} \right)^2 T_{zz} \right) + \left(\frac{H^3}{\eta} p_\varphi - 6 \cdot H \right) \cdot T_\varphi + \left(\frac{D}{L} \right)^2 \cdot \frac{H^3}{\eta} \cdot p_z \cdot T_z = - \frac{H^3}{\eta} \left(p_\varphi^2 + \left(\frac{D}{L} \right)^2 p_z^2 \right) - \frac{12 \cdot \eta}{H} \quad (7)$$

gdzie: T - temperatura bezwymiarowa, $\dots_{zz}, \dots_{\varphi\varphi}$ - pierwsze i drugie pochodne cząstkowe ciśnienia i temperatury względem z i φ , Pe - liczba Pecleta.

Równanie lepkości ma następującą postać

$$\eta = \exp(AT + BT^2) \quad (8)$$

W równaniu (8) A i B są bezwymiarowymi współczynnikami lepkości i temperatury. Warunki brzegowe ciśnienia i temperatury uwzględniają wartość ciśnienia zasilania i temperatury przy czym rozpatrywane są tylko wartości dodatnie ciśnienia i ciśnienie otoczenia na krawędziach panewki. Rozkłady ciśnienia, temperatury i lepkości otrzymano rozwiązując równania (1) do (6) razem z równaniami (7) i (8). Obliczenie temperatury na krawędziach panewki realizowanie jest przy założeniu aproksymacji parabolicznej.

Iteracyjne wyznaczenie statycznego położenia równowagi czopa [3,4,5] dla założonej mimośrodowości wymaga pewnej ilości czasu ponieważ dla każdego kroku iteracji należy obliczać rozkłady ciśnienia, temperatury i lepkości. Celem szybszej zbieżności procesu iteracji zastosowano procedurę Newtona [3]. Wyznaczenie maksymalnej wartości ciśnienia i temperatury [3] realizowano funkcją kwadratową interpolując odpowiednio rozkład ciśnienia i temperatury.

WYNIKI OBLICZEŃ CHARAKTERYSTYK STATYCZNYCH

Przeprowadzono obliczenie maksymalnych wartości ciśnienia i temperatury dla łożysk 2-powierzchniowych z cylindrycznym i hiperboloidalnym zarysem panewki zakładając różne długości względne $L/D=0.88$ (łożysko turbogeneratora TG360) i $L/D=1.0$, różne współczynniki kształtu hiperboloidy i przekoszenia oraz różne luzy łożyskowe. Celem porównania obliczono również przypadki przekoszonych osi czopa i panewki. Przykładowe wyniki obliczeń łożyska 2-powierzchniowego cylindrycznego z $L/D=1.0$ dla mimośrodowości względnej $\varepsilon=0.6$, luzu łożyskowego $\psi=1.5\%$ i $\psi_s=1.00$ podano w tabeli 1.

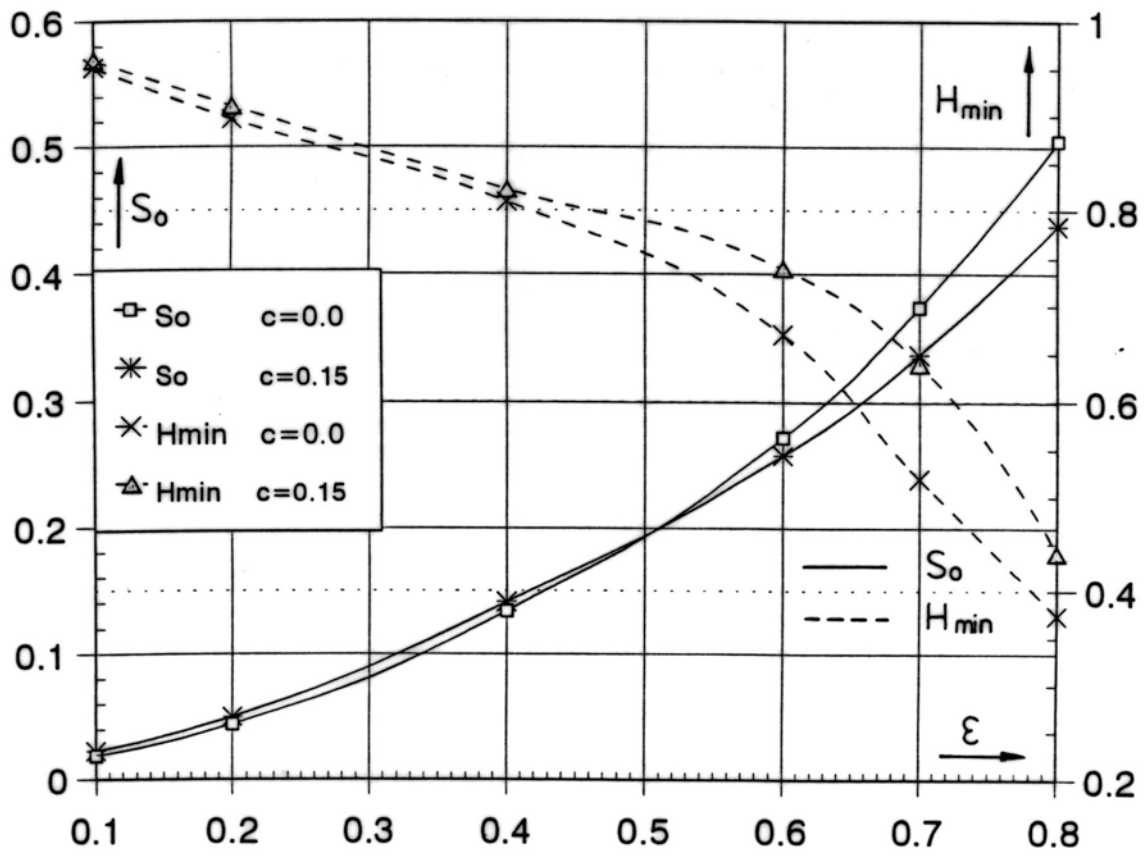
W tabelach 1, 2 i 3 przedstawiono obliczone podstawowe parametry pracy łożysk 2-powierzchniowych z zarysem hiperboloidalnym z $L/D=0.88$ oraz $L/D=1.0$. Wpływ przekoszenia osi czopa i panewki na parametry pracy łożyska dla mimośrodowości względnej $\varepsilon=0.6$ oraz łożysk z $L/D=0.88$ i 1.0 zamieszczono w tabelach 4 i 5. Na rys.2 i 3 pokazano wpływ współczynnika hiperboloidy na niektóre parametry pracy łożyska z $L/D=0.88$. W tabelach przyjęto oznaczenia: α_{eq} - kąt położenia równowagi, S_o - nośność, H_{min} - minimalna grubość filmu smarowego, p_{max} - maksymalna wartość ciśnienia, T_{max} - maksymalna wartość temperatury.

Tabela 1. Wyniki

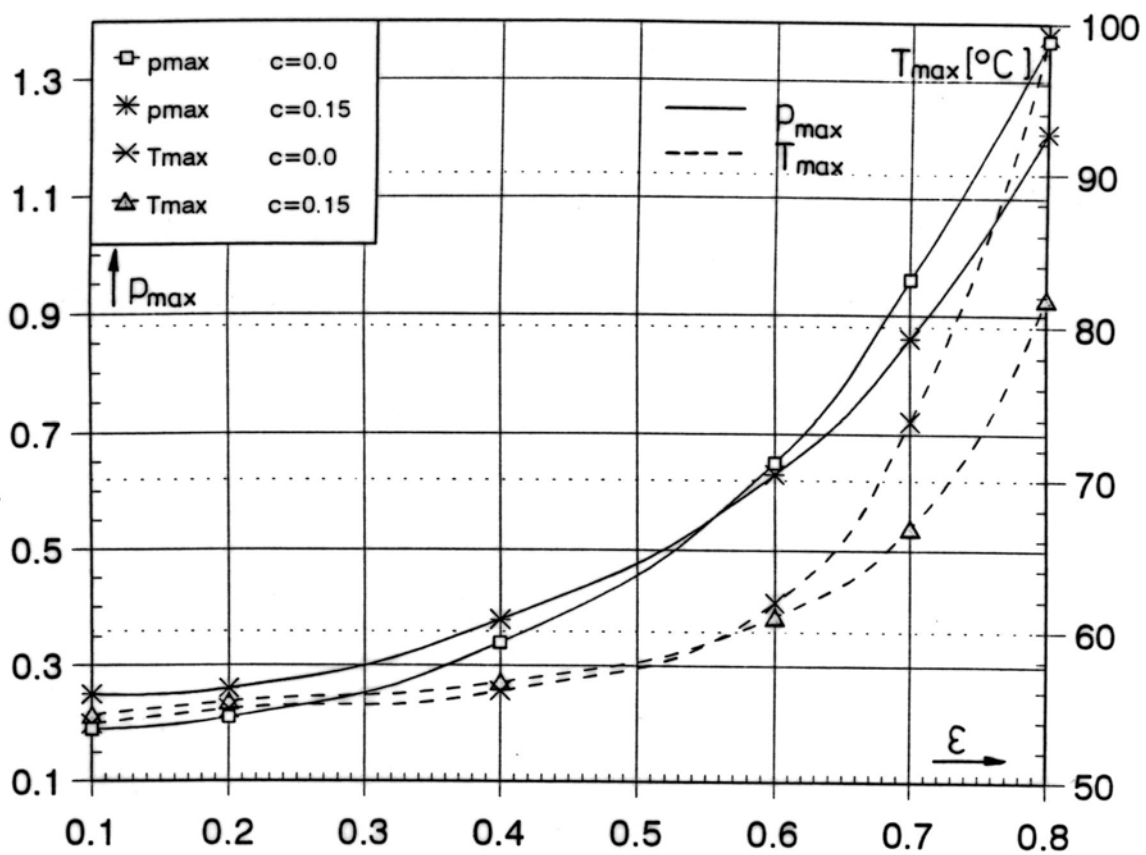
obliczeń dla: $L/D=0.88$ $q=0.0$ $c=0.1$ $\psi=1.5\%$ $\psi_s=1.00$

ε -	$\alpha_{eq} [^\circ]$	S_o -	H_{min} -	p_{max} -	$T_{max} [^\circ C]$
0.1	379.28	0.02322	0.959	0.246	54.35
0.2	376.94	0.05142	0.910	0.264	55.24
0.4	367.01	0.14380	0.823	0.381	56.57
0.6	356.83	0.26433	0.698	0.632	60.09
0.65	353.74	0.30272	0.638	0.733	63.03
0.7	350.38	0.34610	0.574	0.857	67.16
0.8	342.84	0.45254	0.437	1.208	82.66

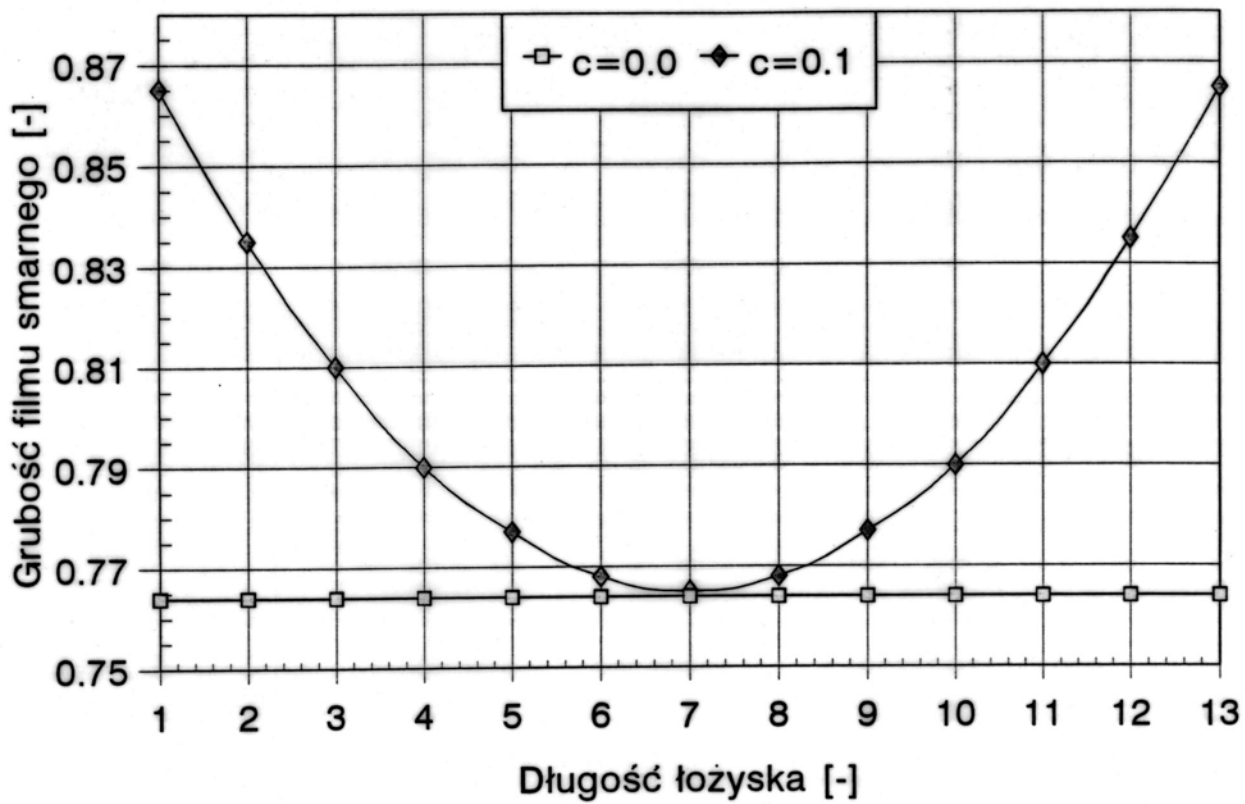
Na rys.4 i 5 przedstawiono przykładowo rozkłady grubości filmu smarowego, ciśnienia i temperatury w przekroju osiowym łożysk 2-powierzchniowych z panewką cylindryczną oraz z panewką o zarysie hiperboloidalnym; widoczne jest zmniejszenie wartości ciśnień i temperatury dla łożyska hiperboloidalnego (rys.5).



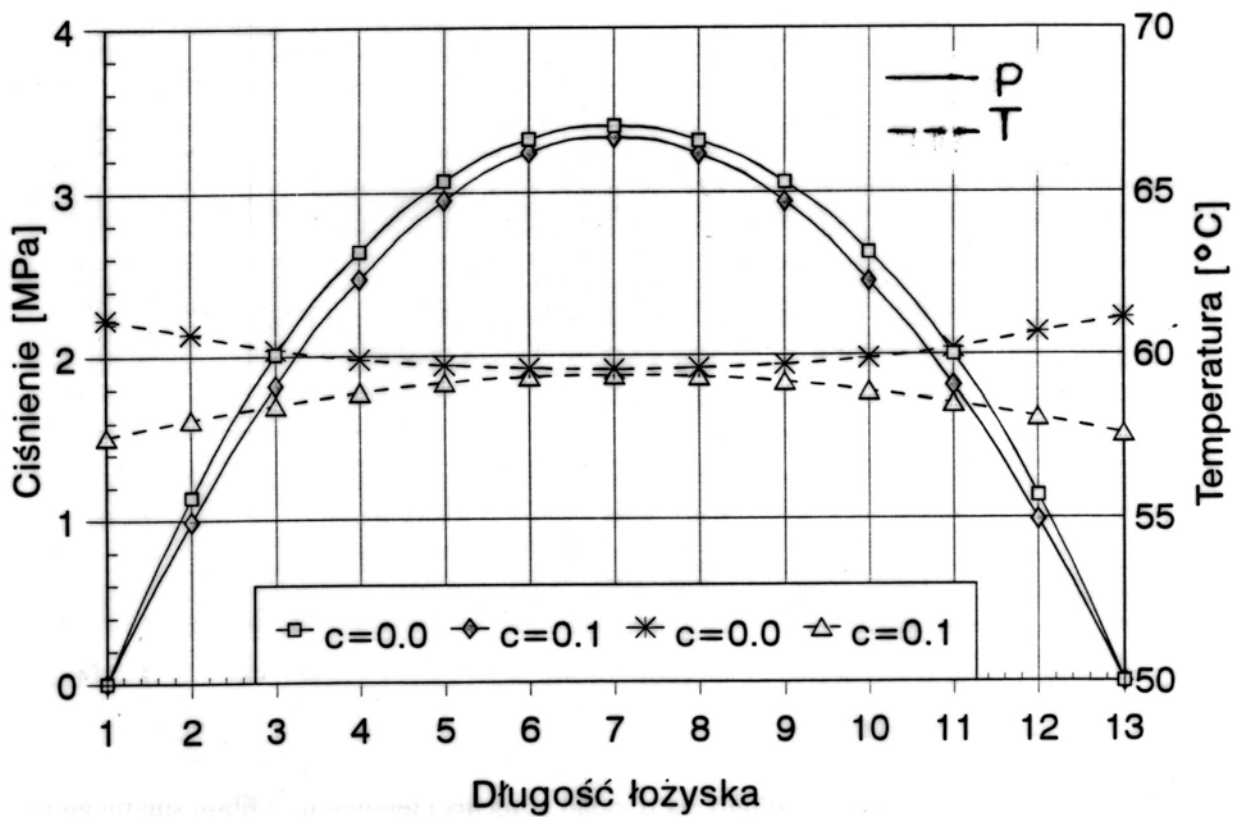
Rys. 2. Wpływ współczynnika hiperboloidy na nośność i minimalną grubość filmu smarowego



Rys. 3. Wpływ współczynnika hiperboloidy na maksymalne ciśnienie i temperaturę filmu smarowego



Rys. 4. Wpływ współczynnika hiperboloidy na grubość filmu smarowego w przekroju osiowym dla łożyska z $L/D=0.88$, $\psi=1.5\%$, $\psi_s=1.0$



Rys. 5. Wpływ współczynnika hiperboloidy na rozkład ciśnienia i temperaturę filmu smarowego w przekroju osiowym łożyska 2-powierzchniowego z $L/D=0.88$, $\psi=1.5\%$, $\psi_s=1.0$

Tabela 2.

Wyniki obliczeń dla: $L/D=0.88$ $q=0.0$ $c=0.15$ $\psi=1.5\%$ $\psi_s=1.00$

e-	α_{eq} [°]	S -	H -	pmax-	Tmax °C
0.1	379.49	0.02269	0.959	0.247	54.36
0.2	377.07	0.05046	0.910	0.263	55.25
0.4	367.11	0.14102	0.822	0.378	56.58
0.6	357.02	0.25841	0.739	0.626	60.01
0.65	353.93	0.29554	0.639	0.726	62.91
0.7	350.60	0.33730	0.709	0.849	66.99
0.8	343.84	0.43813	0.441	1.191	81.94

Tabela 3. Wyniki

obliczeń dla: $L/D=1.0$ $q=0.0$ $c=0.1$ $\psi=1.596^\circ$ $\psi_s=1.00$

s-	α_{eq} [°]	S -	H ~ -	pmax-	Tmax °C
0.1	380.40	0.02713	0.957	0.275	54.42
0.2	377.11	0.06282	0.909	0.300	55.28
0.4	366.92	0.17137	0.823	0.441	56.56
0.6	356.29	0.30684	0.695	0.722	60.64
0.65	353.10	0.34842	0.634	0.829	63.78
0.7	349.67	0.39418	0.570	0.959	68.23
	342.25	0.49818	0.436	1.294	84.18

Tabela 4.

Wyniki obliczeń dla: $L/D=0.88$ $\varepsilon=0.6$ $\psi=1.59\%$ $\psi_s=1.00$

c-	q-	α_{eq} [°]	So-	Hmin-	pmax-	Tmax °C
0.0	0.0	352.40	0.27178	0.670	0.657	61.95
0.0	0.1	337.45	0.42680	0.391	1.136	91.37
0.0	0.15	328.67	0.57538	0.240	1.681	150.34
0.1	0.0	356.83	0.26434	0.698	0.632	60.09
0.1	0.1	347.45	0.34842	0.523	0.974	71.99
0.1	0.15	340.28	0.48780	0.400	1.347	90.87

Tabela 5.

Wyniki obliczeń dla: $L/D=1.0$ $\varepsilon=0.6$ $\psi=1.59\%$ $\psi_s=1.00$

s-	q-	α_{eq} [°]	So-	Hmin-	pmax-	Tmax °C
0.0	0.0	355.88	0.32167	0.692	0.733	62.38
0.0	0.1	345.90	0.46328	0.444	1.120	83.45
0.0	0.15	338.26	0.58683	0.297	1.535	120.84
0.1	0.0	356.29	0.30684	0.695	0.722	60.64
0.1	0.1	367.65	0.43649	0.518	1.087	73.19
0.1 T	0.15	339.84	0.54057	0.397	1.458	92.53

WNIOSKI Wyniki badań 2-powierzchniowego łożyska z zarysem hiperboloidalnym pracującego w warunkach statycznego położenia równowagi umożliwiły sformułowanie podanych niżej wniosków.

1. Program obliczeń pozwala na wyznaczanie charakterystyk statycznych 2powierzchniowego łożyska z zarysem hiperboloidalnym w warunkach współosiowego i niewspółosiowego położenia czopa i panewki.
2. Rozkłady ciśnienia i temperatury ulegają zmianie zależnie od przyjętej wartości współczynnika hiperboloidy.
3. Maksymalna wartość ciśnienia wzrasta ze wzrostem wartości współczynnika kształtu hiperboloidy oraz przekoszenia osi czopa i panewki .
4. Maksymalne wartości temperatury wzrastają ze wzrostem względnej długości łożyska i współczynnika przekoszenia.

Następnym etapem badań tego typu łożyska powinno być uwzględnienie wpływu przekoszenia osi czopa i panewki na charakterystyki statyczne i dynamiczne.

LITERATURA

- [1] Ott H.H.: Radiale Mehrflächen-Gleitlager bei stationarem Betrieb. VDI-Berichte Nr. 141, 1970. [2] Burcan J.: Łożysko z panewką hiperboloidalną. Trybologia, Problemy Eksploatacji Maszyn, 3 (1973).
- [3] Strzelecki, S.: Operating Conditions of Hyperboloidal Journal Bearings with Non-Isothermal Oil Film, Proc. of the 4th Int. Trib. Conf., AUSTRIB'94, Perth, 2 (1994) 579-585.
- [4] Strzelecki S.: Dynamische Charakteristiken des Zweiflächenlagers mit perizykloidalem Profil. Proceedings of the 2nd Conference on Tribology, Budapest, (1977).
- [5] Strzelecki S.: Statische Gleichgewichtslinien der Zweiflächen-Gleitlager mit zylindrischer und perirykloidalear Spaltform. Proc. of the 3rd Conference on Tribology, Budapest, 1 (1983), 231-236. [6] Strzelecki S., Litwicki W.: Wzrost wartości współczynnika kształtu 2-powierzchniowego łożyska turbogenerators. Inżynieria Łożyskowania'96. Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna. Gdańsk, 4-5 czerwca 1996. Materiały. Gdańsk 1996. 461-468
- [7] Strzelecki S.: Einfluß des unsymmetrischen Zufahrungsdruckes auf die statischen Gleichgewichtslinien des perirykloidalen Gleitlagers. Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej, Nr 325, Mechanika, 5 (1979), 81-91.
- [8] Glaser H., Strzelecki S.: Two-lobe journal bearing operating under condition of misaligned axis of journal and sleeve. Proc. of the International Tribology Conference, ITC'96, Yokohama 1995.

STATIC CHARACTERISTICS OF 2-LOBE HYPERBOLOIDAL JOURNAL BEARING

Summary The paper introduces the static characteristics of 2-lobe hyperboloidal journal bearing. For an assumed relative length of the bearings, aligned orientation of journal and sleeve axes, the minimum values of oil film thickness, maximum values of pressure and temperature of oil film have been determined. The calculation were carried out for an adiabatic oil film and static equilibrium position of the journal.

Recenzent: Prof. dr inż. Zbigniew Lawrowski