

## BADANIA NUMERYCZNE WPLYWU OBCIĄŻENIA ORAZ GEOMETRII KRAWĘDZI ELEMENTU OPOROWEGO SEGMENTU WAHLIWEGO NA WŁAŚCIWOŚCI STREFY KONTAKTU

### NUMERICAL RESEARCH OF THE INFLUENCE OF LOADING AND EDGE SUPPORT ELEMENT OF SELF ALIGNING PAD ON CONTACT ZONE PROPERTIES

*Przedmiotem badań symulacyjnych jest ślizgowe łożysko wzdłużne z płytkami wahliwymi. Wśród łożysk tego typu wyróżnia się możliwością osiągania najkorzystniejszych charakterystyk eksploatacyjnych. W zastosowaniach technicznych łożyska te stosowane są w bardzo szerokim zakresie średnic od kilkudziesięciu do ponad 3000 mm [5]. Przeniesienie obciążenia w zmieniających się warunkach pracy łożyska (zmienna prędkość obrotowa, zmiana lepkości oleju zasilającego szczelinę smarną) przy zachowaniu dostatecznych grubości filmu olejowego możliwe jest dzięki procesowi samoczynnego obracania się segmentów wahliwych względem jednej lub większej liczby osi w zależności od sposobu oparcia segmentu wahliwego o element oporowy. W artykule rozważono przypadek, gdy płytka wahliwa opiera się o element wzdłuż krawędzi przebiegającej w kierunku promieniowym. Zbadano wpływ obciążenia segmentu z uwzględnieniem modyfikacji kształtu krawędzi oparcia płytki na wartości oraz charakter rozkładu nacisków kontaktowych.*

**Słowa kluczowe:** ślizgowe łożyska wzdłużne, symulacja komputerowa, metoda elementów skończonych, naciski kontaktowe

*Numerical research deal with thrust slide bearing with self aligning pads. Among this type of bearings, thrust slide bearing has the possibility of obtaining the most preferable operating characteristics. In the case of technical application, these bearings are used within a wide scope of diameters-from tens to over 3000 mm[1]. Loading transition in changeable conditions of bearing work (changeable rotary velocity, change of adhesiveness of oil driving the bearing interspace), with preserving satisfactory thicknesses of oil film, is possible due to the process of automatic relation of self aligning pads in relation to one axis or to a larger number of axes, depending on the way the self aligning pad rests on the support element. In this paper the case when the self aligning pad rests on the element along the edge running in axial direction is presented. The influence of segment loading, with taking into consideration shape modification of edge support element, on values and character of contact zone distribution was analyzed.*

**Keywords:** thrust slide bearings, numerical simulation, finite element method, contact stresses

#### 1. Wstęp

Ślizgowe łożysko wzdłużne z płytkami wahliwymi przewyższa swoimi osiągnięciami eksploatacyjnymi inne rozwiązania konstrukcyjne w grupie tego typu łożysk np. łożyska z segmentami stałymi nieodkształcalnymi lub ulegającymi deformacjom sprężystym podczas pracy. Uzyskiwanie optymalnych charakterystyk łożyska z płytkami wahliwymi takich jak: wzrost grubości minimalnej filmu olejowego, spadek momentu

#### 1. Introduction

Thrust slide bearing with self aligning pads is much better in the case of operating achievements than other construction solutions in the group of this type of bearings eg: bearings with firm non-deformable segments or bearings with segments undergoing elastic deformation during work. Obtaining optimal characteristics of the bearing with self aligning pads, such as: increase of minimal thickness of oil film,

tarcia, obniżenie się przyrostu temperatury w szczelinie smarnej umożliwia proces samoczynnego obracania się segmentów wahliwych łożyska wzdłużnego w trakcie jego eksploatacji, co w konsekwencji prowadzi do uzyskania optymalnego w danych warunkach pracy kształtu szczeliny smarnej. Pożądanym staje się osiągnięcie odpowiednich właściwości strefy kontaktu segmentu wahliwego z elementem oporowym związanych z obniżaniem wartości nacisków kontaktowych przy jednoczesnym uzyskaniu równomiernego ich rozkładu. Należy podkreślić, że na proces tworzenia się rozkładu nacisków w strefie kontaktu oraz jej kształtu mają wpływ deformacje sprężyste oraz termosprężyste segmentów wahliwych wynikające z obciążenia powierzchni ślizgowych polem ciśnienia hydrodynamicznego oraz występowaniem zmiennego rozkładu temperatury w materiale segmentu [3]. Badania symulacyjne prowadzono z wykorzystaniem metody elementów skończonych oraz systemu I-DEAS.

## 2. Opis obiektu badań

Model geometryczny płytki wahliwej oraz elementu oporowego opracowano w systemie I-DEAS w oparciu o dokumentację techniczną badanego w warunkach laboratoryjnych łożyska z płytkami wahliwymi. Teoretyczna krawędź styku płytki oraz elementu oporowego przebiega wzdłuż odcinka prostej poprowadzonej w kierunku promieniowym (Rys.1).

Kształt powierzchni tarcia płytki wahliwej stanowi wycinek pierścienia, którego promień średni  $R_s=159$  mm, kąt rozwarcia  $\delta=40^\circ$  oraz szerokość segmentu  $B=100$  mm. Rozważono płytkę o grubości  $H=5$  mm, co sprzyja uzyskiwaniu znacznych deformacji segmentu. Założono wartość promienia zaokrąglenia profilu wycięcia w segmencie  $r_{seg}=2,5$  mm oraz promienia zaokrąglenia krawędzi oparcia elementu oporowego  $r_{seg}=2$  mm.

Model obciążenia powierzchni nośnej płytki wahliwej został opracowany w oparciu o dane eksperymentalne uzyskane w wyniku badań przeprowadzonych na stanowisku do badań ślizgowych łożysk wzdłużnych [1, 4] – rys.2.

Wypadkowa przyjętego rozkładu modelu obciążenia ciśnieniem hydrodynamicznym wynosiła w wariancie podstawowym badań  $F_o=9000$  N (odpowiadające tej wartości średnie naciski na powierzchni ślizgowej płytki wynoszą 0,84 MPa), natomiast prędkość obrotowa wału  $n=500$  obr/min. Przyjęty model dyskretny układu płytka wahliwa – element oporowy uwzględniał wymianę ciepła między powierzchniami swobodnymi segmentu a otoczeniem przy założeniu, że wymiana odbywa się na drodze przejmowania ciepła, przy czym założono współczynnik przejmowania ciepła  $\alpha=500$  W/m<sup>2</sup>K oraz wartość temperatury otoczenia  $T_o=25^\circ\text{C}$ .

decrease of friction moment, decrease of temperature rise in bearing interspace, is possible due to the automatic rotation of self aligning pads of thrust bearing during its exploitation, which, in consequence, leads to obtaining optimal shape of bearing interspace in given working conditions. It is desired to obtain appropriate contact zone properties of self aligning pad with support element. These properties are connected with decreasing of contact stresses values and obtaining their equal distribution at the same time. It should be noted that the process of stresses distribution presence in the contact zone and the contact zone shape are influenced by elastic and thermoelastic deformations of self aligning pads resulting from the slide surfaces loading with hydrodynamic pressure and the presence of changeable distribution of temperature in segment material[4]. Simulation research were made allying the finite element method and I-DEAS system.

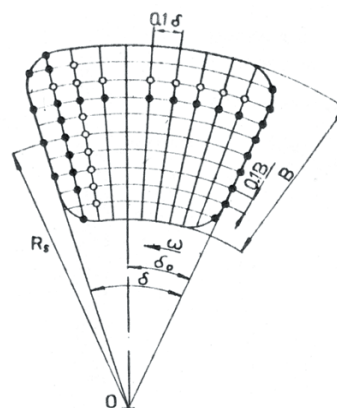
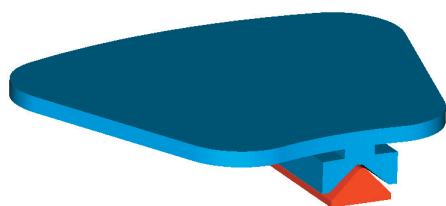
## 2. Description of research object

The geometrical model of self aligning segment and support element was made using the I-DEAS system, according to the technical data of the bearing with self aligning pads analyzed in laboratory conditions. The theoretical edge of pad and support element contact zone runs along the line segment in the axial direction.(Fig.1)

The shape of friction surface of self aligning pad constitutes ring sector which medium radius is  $R_s=159$  mm, spreading angle  $\delta=40^\circ$  and segment width  $B=100$ mm. The pad with thickness  $H=5$ mm was considered. This allowed for obtaining a considerable deformation of segment. It was assumed that the value of rounding radius of ring sector profile in segment was  $r_{seg}=2.5$ mm and the value of rounding radius of edge support element was  $r_{seg}=2$  mm.

The model of loading of supporting surface of self aligning pad was worked out on the basis of experimental data obtained during research made in test stand for longitudinal slide bearings [2,3]-Fig.2.

The resultant of the assumed distribution of model of hydrodynamic pressure loading was in the basic variant of research  $F_o=9000$ N (corresponding to that value mean stresses on the slide surface of the pad are 0.84 MPa), however, shaft rotary velocity was  $n=500$  rot/min. The assumed discrete model of pad-support element took into consideration the heat exchange between the segment free surfaces and the environment on the way of heat transfer, yet it was assumed that heat transfer coefficient was  $\alpha=500$ W/m<sup>2</sup>K and the environment temperature  $T_o=25^\circ\text{C}$ .



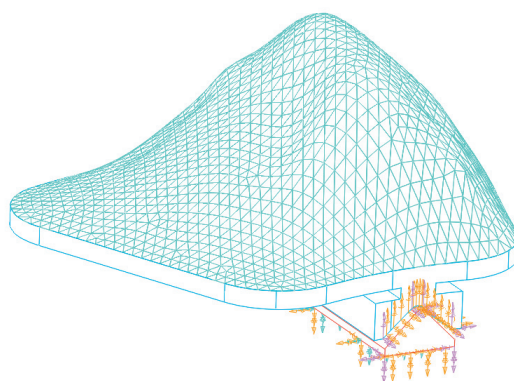
Rys. 1. Model segmentu wahliwego  
Fig. 1. Model of self aligning segment

Obliczenia numeryczne rozszerzono w stosunku do wariantu podstawowego o inne wartości obciążeń stanowiące odpowiednio: 0,33, 0,5, 2, 3, wartości obciążenia podstawowego (9000 N).

Zasadniczym elementem badań symulacyjnych było określenie wpływu modyfikacji geometrii krawędzi oparcia elementu oporowego. Modyfikacja polegała na zastąpieniu zarysu prostego w przekroju promieniowym krawędzi oparcia zarysem zmodyfikowanym w postaci odcinka łuku, którego promień krzywizny zmieniał się w zakresie od 125000 mm do 4167mm. Efektem takiej modyfikacji było uzyskanie określonych wartości luzów  $x$  zmieniających się w przekroju promieniowym [4]. W punktach położonych na brzegach strefy kontaktu wynosiły one odpowiednio:  $x = 0,01; 0,02; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,30$  mm.

### 3. Wyniki badań

Wpływ obciążenia względnego  $F/F_0$  na wartości maksymalne nacisków kontaktowych  $p_H$  w przypadku zmieniających się wartości luzu  $x$  przedstawiono na rysunkach 3 oraz 4. Widoczny jest wyraźny wpływ zmian obciążenia na wartości nacisków  $p_H$ , przy czym zależność nie przebiega liniowo. Można stwierdzić, że w przypadku najmniejszych luzów ( $x = 0,01$ mm) wzrost obciążenia w przedziale wartości  $F/F_0 = 0,33$  do 1 nie wpływa na zmiany wartości maksymalnej nacisków kontaktowych.



Rys. 2. Model obciążeń segmentu wahliwego  
Fig.2 Model of loads of self aligning segment

Numerical calculations were widened in comparison with the basic variant of different loading values which are as follow: 0.33, 0.5, 2.0, 3.0 of basic loading value (9000N).

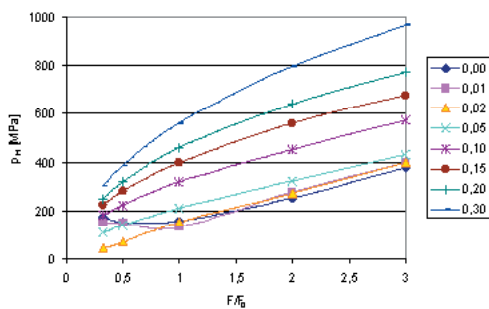
The main aim of simulation research was determining the influence of modification of edge support element geometry. The modification was based on replacing of normal outline in radial section of the edge support by modified outline in the form of arc section with curvature

radius changing within the range of 125000mm to 4167mm. This modification allowed for obtaining certain values of clearance  $x$  changing in the radial section [2]. At points on the edges of contact zone they were as follow:  $x=0.01, 0.02, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.30$  mm.

### 3. Results of analysis

The influence of relative loading  $F/F_0$  on maximal values of contact stresses  $p_H$  in the case of changing values of clearance  $x$  is shown in Figures 3 and 4. The influence of loading changes on stresses  $p_H$  is well visible; yet, this dependency is of non-linear character. It can be stated that in the case of smallest clearance ( $x = 0.01$ mm) the increase of loading within the range of  $F/F_0$  from 0.33 to 1 does not influence the changes of maximal value of contact stresses.

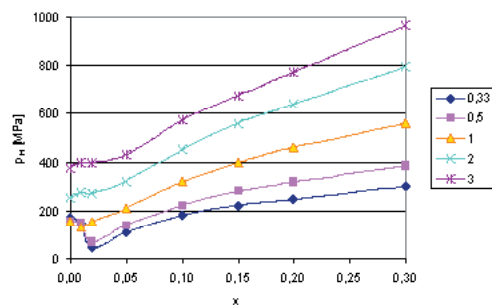
Na rysunkach 5 do 7 przedstawiono zmiany wartości nacisków kontaktowych  $p_H$  wzdłuż krawędzi oparcia segmentu - położenie punktu wykresu wyznacza współrzędna promieniowa  $r^* = (r - R_s)/B$ . Wyraźnie widać zmiany charakteru krzywych zarówno w zależności od wartości luzu  $x$  jak i obciążenia względnego  $F/F_0$ . W przypadku najmniejszych wartości luzów oraz obciążeń względnych ekstremalne wartości nacisków kontaktowych  $p_H$  występują okolicach promienia wewnętrznego oraz zewnętrznego segmentu. Wzrost obciążenia prowadzi do wyraźnego przemieszczania się obszaru maksymalnych wartości nacisków kontaktowych do strefy położonej w okolicy promienia średniego.



Rys. 3. Wartości maksymalne nacisków kontaktowych w zależności od obciążenia względnego dla założonych wartości luzów  $x$

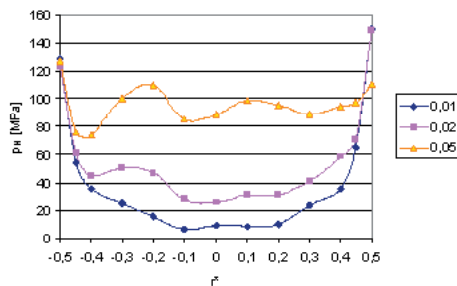
Fig. 3. Maximal values of contact stresses depending on relative loading for the assumed values of clearance  $x$

In Figures 5 to 7 changes of values of contact stresses  $p_H$  along segment support edge are presented-the position of diagram point is determined by radial coordinate  $r^* = (r - R_s)/B$ . It is well visible that the character of curves changes depending on the clearance values and relative stress  $F/F_0$ . In the case of the smallest values of clearance and relative stresses the extreme values of contact stresses  $p_H$  are present in the area of internal radius and external segment. The increase of loading leads to considerable transition of the area of contact stresses maximal values to the area near the mean radius.



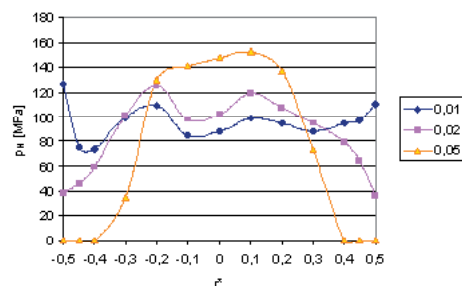
Rys. 4. Wartości maksymalne nacisków kontaktowych w funkcji wartości luzu  $x$  oraz obciążenia względnego  $F/F_0$

Fig. 4. Maximal values of contact stresses in function of clearance  $x$  value and relative loading  $F/F_0$



Rys. 5. Wartości nacisków kontaktowych wzdłuż krawędzi oparcia w przypadku obciążenia względnego  $F/F_0 = 0,33$

Fig. 5. Contact stresses values along support edge in the case of relative loading  $F/F_0 = 0.33$



Rys. 6. Wartości nacisków kontaktowych wzdłuż krawędzi oparcia w przypadku obciążenia względnego  $F/F_0 = 1$

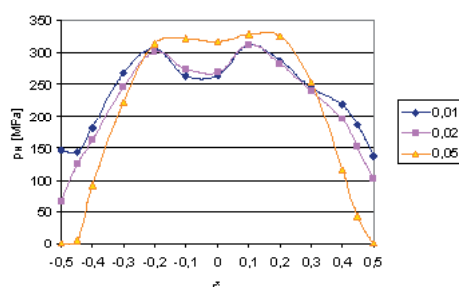
Fig. 6. Contact stresses values along support edge in the case of relative loading  $F/F_0 = 1$

#### 4. Wnioski

- Przeprowadzone badania symulacyjne wykazały istotny wpływ obciążenia płytki wahliwej ślizgowego łożyska wzdłużnego na zmiany wartości nacisków kontaktowych, jak również charakter tych zmian wzdłuż krawędzi oparcia.
- W przypadku małych wartości luzu  $x$  zdefiniowanego w artykule i towarzyszącym jemu niższemu obciążeniu łożyska nie stwierdzono wyraźnych

#### 4. Conclusions

- Simulations showed important influence of loading of self aligning pad of longitudinal slide bearing on contact stresses values, as well as character of these changes along support edge
- In the case of small values of clearance  $x$ , defined in this paper and connected with that smallest loading of bearing, considerable changes of



Rys.7 Wartości nacisków kontaktowych wzdłuż krawędzi oparcia w przypadku obciążenia względnego  $F/F_0 = 3$   
 Fig. 7. Contact stresses values along support edge in the case of relative loading  $F/F_0 = 3$

zmian maksymalnych wartości nacisków kontaktowych.

- Wzrost obciążenia wpływa na zmianę właściwości strefy styku polegającą na koncentracji maksymalnych wartości nacisków kontaktowych w centralnej części segmentu
- Przyjęcie zbyt małej wartości luzu  $x$  nie daje spodziewanych korzyści w postaci minimalizacji wartości nacisków kontaktowych w zakresie niższych obciążeń.

maximal values of contact stresses were not observed.

- Increase of loading influences the change of contact zone properties. The change is based on concentration of maximal values of contact stresses in segment central part.
- Assuming too small values of clearance  $x$  does not provide expected profits in the form of minimization of contact stresses values within the scope of smaller loading.

## 5. References

- [1] Kuśmierz L., Ponieważ G., Jonak J.: *Termosprężyste deformacje segmentu wahliwego ślizgowego łożyska wzdłużnego – porównanie wyników eksperymentu oraz badań modelowych.* - XXII Sympozjon Podstaw Konstrukcji Maszyn, Tom3, Akademia Morska w Gdyni, Gdynia-Jurata 2005
- [2] Ponieważ G., Kuśmierz L.: *Badania symulacyjne właściwości strefy styku segmentu wahliwego z elementem oporowym.* – XXII Sympozjon Podstaw Konstrukcji Maszyn, Tom 4, Akademia Morska w Gdyni, Gdynia-Jurata 2005
- [3] Kuśmierz L., Ponieważ G., Jonak J.: *Wpływ nierównomiernego pola temperatury w płycie wahliwej ślizgowego łożyska wzdłużnego na proces jej deformacji.* - XV Konferencja: Metody i środki projektowania wspomaganego komputerowo. Politechnika Warszawska, Kazimierz Dolny 2005
- [4] Kuśmierz L., Ponieważ G.: *Analiza wpływu modyfikacji geometrii krawędzi elementu oporowego płytki wahliwej na właściwości strefy kontaktu.* – Eksploatacja i Niezawodność nr 1/2007 Polskie Towarzystwo Naukowo-Techniczne Eksploatacyjne, Warszawa 2007
- [5] Brockett T. S., Barrett I., E., Allaire P., E.: *Thermoelastohydrodynamic Lubrication in Thrust Bearings*, ROMAC Report #378, Department of Mechanical, Aerospace and Nuclear Engineering, University of Virginia, 1994.
- [6] System I-DEAS NX Series.

---

**Dr inż. Leszek Kuśmierz**  
**Dr inż. Grzegorz Ponieważ**

Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn  
 Wydział Mechaniczny  
 Politechnika Lubelska  
 ul. Nadbystrzycka 36  
 20-618 Lublin  
 l.kusmierz@pollub.pl  
 g.poniewaz@pollub.pl

---