

## ANALIZA WPŁYWU MODYFIKACJI GEOMETRII KRAWĘDZI ELEMENTU OPOROWEGO PŁYTKI WAHLIWEJ NA WŁAŚCIWOŚCI STREFY KONTAKTU

## ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF GEOMETRY MODIFICATION OF EDGE SUPPORT ELEMENT OF SELF ALIGNING PAD ON CONTACT ZONE PRO- PERTIES

*W ślizgowym łożysku wzdłużnym z płytkami wahlowymi istotne jest zapewnienie samoczynnego obracania się płytek względem jednej (podparcie wzdłuż krawędzi) lub większej liczby osi (teoretyczne podparcie punktowe). Proces obrotu płytek w trakcie pracy łożyska wynika ze zmieniających się warunków eksploatacyjnych takich jak obciążenie, prędkość obrotowa wału, temperatura oleju zasilającego szczelinę smarną, przy czym powinien on przebiegać bez zakłóceń. W artykule przedmiotem badań jest segment wahlowy oparty na krawędzi elementu oporowego przebiegającej w kierunku promieniowym łożyska na całej szerokości płytki wahlowej. Przeprowadzona analiza uwzględnia zjawisko deformacji sprężystej segmentu wynikające z tworzonego w szczelinie smarnej pola ciśnienia hydrodynamicznego. Przyjęty model dyskretny segmentu umożliwia również wyznaczenie deformacji termosprężystych w następstwie występowania nierównomiernego pola temperatury w materiale płytek wahlowych wywołanego procesem wymiany ciepła między filmem olejowym a otoczeniem. Wielowariantowe badania symulacyjne z zastosowaniem metody elementów skończonych miały na celu określenie właściwości obszaru strefy kontaktu elementów współpracujących (położenie stref kontaktu, wartości naprężeń kontaktowych oraz naprężeń w strefie styku) w zależności od zmian geometrii krawędzi oparcia elementu oporowego.*

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

*Abstract: In a longitudinal slide bearing with self-aligning pads it is important to guarantee self-acting rotation of pads relatively to one axis (support along the edge) or to a larger number of axis (theoretical point support). The process of pads rotation during the bearing work results from changeable operating conditions such as: load, rotary velocity of shaft, temperature of oil supplying the bearing interface. However, this process should be without any disturbance. In this paper, the self-aligning element supported on edge of support element positioned in bearing radial direction on the whole width of self-aligning pad is analyzed. This analysis takes into consideration the elastic deformations of the segment resulting from the appearance in the bearing interface of hydrodynamic pressure field. The assumed segment discrete model allows for determining of thermo-elastic deformations due to presence of uneven temperature distribution in the self-aligning pads material caused by the process of heat exchange between the oil film and the environment. Multi-variants numerical simulation research with the use of finite element method (FEM) aimed at determining the contact zone properties of co-working parts (contact zones position, contact stresses values and stresses in the contact zone) depending on changes of geometry of supporting edge of support element.*

**Keywords:** slide bearing, numerical simulation, finite element method, contact problems

### 1. Wstęp

Zjawisko samoczynnego obracania się segmentów wahlowych łożyska wzdłużnego w trakcie jego eksploatacji umożliwia uzyskiwanie optymalnych charakterystyk łożyska, takich jak: wzrost grubości minimalnej

### 1. Introduction

The phenomenon of automatic rotation of self-aligning segments of axial bearing during operating (exploitation) allows for obtaining optimal characteristics of the bearing, such as: the increase of the

filmu olejowego, spadek momentu tarcia, obniżenie się przyrostu temperatury w szczelinie smarnej [4,5]. Proces wahań płytek wahliwych winien przebiegać łatwo i bez zakłóceń. Czynniki, które temu sprzyjają to możliwie równomierny rozkład nacisków kontaktowych oraz spadek ich maksymalnych wartości. Wyniki wcześniejszych badań autorów [2] dały podstawę do przeprowadzenia dalszych analiz symulacyjnych, głównie w kierunku uzyskania pożądanych właściwości strefy styku segmentu wahliwego i elementu oporowego na drodze modyfikacji geometrii krawędzi oparcia. Należy podkreślić, że uzyskiwane wyniki badań strefy kontaktu zależą w dużym stopniu od dokładności opracowanego modelu dyskretnego segmentu wahliwego w odniesieniu do problemu wyznaczania jego deformacji sprężystych i termosprężystych. W celu uzyskania możliwie dokładnych wyników analizy wykorzystano metodę elementów skończonych z zastosowaniem systemu I-DEAS.

## 2. Model dyskretny

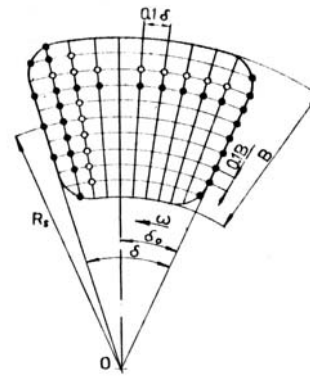
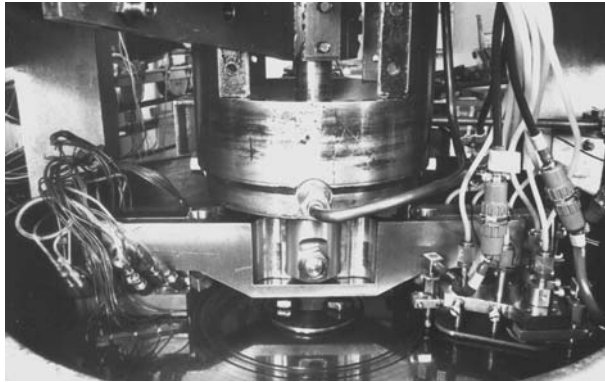
Model geometryczny segmentu wahliwego oraz elementu oporowego został przygotowany przy wykorzystaniu systemu I-DEAS zgodnie z dokumentacją techniczną segmentu przygotowanego do badań doświadczalnych [1, 3]. Uwzględniono obciążenie segmentu rozkładem ciśnienia hydrodynamicznego generowanego w szczelinie smarnej oraz rozkładem temperatury na powierzchni roboczej segmentu. Wartości tych obciążeń uzyskane zostały na podstawie badań doświadczalnych [1]. Stanowisko badawcze do badań eksploatacyjnych ślizgowych łożysk wzdłużnych przedstawiono na rys.1. Obok na schemacie pokazano rozmieszczenie czujników do pomiaru ciśnienia w szczelinie smarnej łożyska oraz czujników do pomiaru temperatury oleju w pobliżu powierzchni ślizgowej. Pomiarów wartości ciśnienia oraz temperatury dokonywano po uzyskaniu przez układ trybologiczny stanu ustalonego, gdy rejestrowane wartości temperatury, ciśnienia oraz momentu tarcia w założonym okresie nie zmieniały się. Czas osiągnięcia stanu ustalonego przez badany układ wynosił w zależności od założonych parametrów eksploatacyjnych, głównie prędkości obrotowej wału oraz obciążenia od kilkunastu do kilkudziesięciu minut.

Model dyskretny uwzględniał wymianę ciepła pomiędzy powierzchniami swobodnymi segmentu a otoczeniem na drodze przejmowania ciepła, przy czym założono współczynnik przejmowania ciepła  $\alpha = 500 \text{ W/m}^2\text{K}$  oraz temperaturę otoczenia  $T_o = 25^\circ\text{C}$ . Kształt płytki wahliwej będącej wycinkiem pierścienia określają następujące parametry (Rys.1): promień średni  $R_s = 159 \text{ mm}$ , szerokość segmentu  $B = 100 \text{ mm}$ , kąt rozwarcia  $\delta = 40^\circ$ , grubość płytki  $H = 5 \text{ mm}$ , pro-

minimal thickness of oil film, decrease of friction moment, decrease of temperature rise in the bearing interface [4, 5]. The process of self aligning of self aligned pads should be easy and with no disturbances. Factors which are favorable in reaching this conditions include: proportional distributions of contact pressures and decrease of their maximal value. The results of the authors [2] former research provided the basis for conducting the further simulation analyses, mainly, in order to obtain the desired properties of the contact zone of self aligning segment and supporting element by means of support edge geometry modification. It should be noted that he obtained results of contact zone analysis depend to a large extent on the precision of the worked out self aligning segment discrete model in relation to the issue of determining its elastic and thermo-elastic deformities. In order to obtain as precise results of the analysis as possible, the finite element method with the application of system I-DEAS was applied.

## 2. Discrete model

The geometrical model of self aligning segment and supporting element was made using the I-DEAS system according to the technical data of the segment prepared for experimental research [1, 3]. The segment loading by distribution of hydrodynamic pressure generated in the bearing interface and by temperature distribution on the segment working surface was taken into consideration. These loads values were obtained on the basis of experiments [1]. The test stand for exploitation research of axial slide bearings is shown in Fig. 1. Next to Fig. 1, on the schema are presented positions of sensors for measuring of pressure in the bearings interface and positions of sensors for measuring of oil temperature near the slide surface. The measurement of pressure and temperature values was done after the tribologic system reached the stable state and when the registered temperature, pressure and friction moment values did not change. The time of reaching the stable state by the analyzed system was several minutes, depending on the assumed operating parameters, mainly the shaft rotary velocity and load. The discrete model took into consideration the heat exchange between the segment free surfaces and the environment on the way heat transfer, yet, it was assumed that heat transfer coefficient  $\alpha = 500 \text{ W/m}^2\text{K}$  and the environment temperature  $T_o = 25^\circ\text{C}$ . The shape of the self aligning pad, which is part of ring-shaped section is determined by the following parameters (Fig. 1): mean radius  $R_s = 159 \text{ mm}$ , segment width  $B = 100 \text{ mm}$ , spreading angle  $\delta = 40^\circ$ , pad thickness  $H = 5 \text{ mm}$ , corner radius of bottom support edge in segment  $r_{seg} = 2.5 \text{ mm}$  and corner radius of support edge of supporting element  $r_{pod} = 2 \text{ mm}$ . The load on



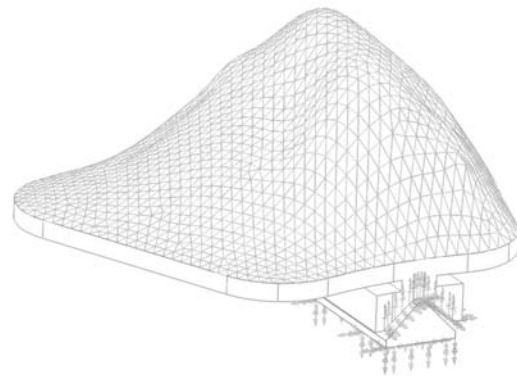
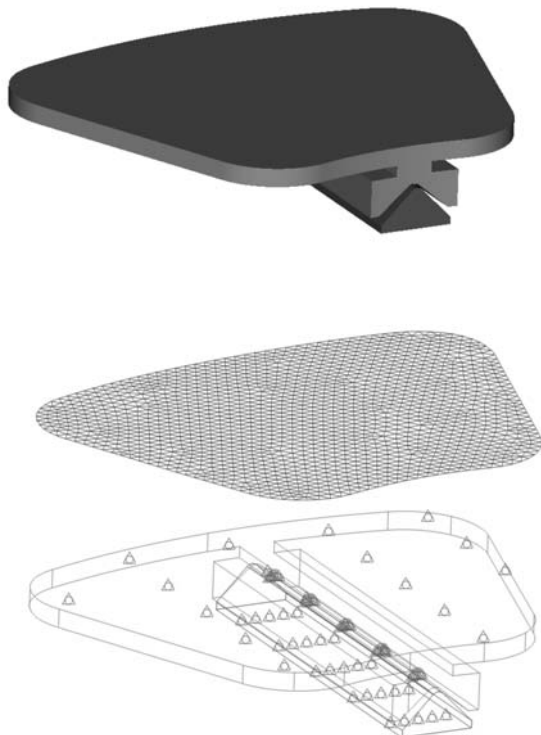
Rys.1. Stanowisko badawcze oraz geometria powierzchni roboczej segmentu wraz z rozmieszczeniem punktów pomiarowych (○ – ciśnienie; ● – temperatura)  
 Fig. 1. Research stand and geometry of segment working surface with placing of measuring points (pressure, temperature)

mień zaokrąglenia dna krawędzi oparcia w segmencie  $r_{seg} = 2,5$  mm oraz promień zaokrąglenia krawędzi oparcia elementu oporowego  $r_{pod} = 2$  mm. Obciążenie przypadające na pojedynczy segment wahliwy wynosi 9000 N (opowiadające tej wartości średnie naciski na powierzchni ślizgowej płytki wynoszą 0,84 MPa), natomiast prędkość obrotowa wału  $n = 500$  obr/min.

Modyfikacja geometrii krawędzi oparcia elementu oporowego polega na wprowadzeniu dodatkowej krzywizny w kierunku promieniowym, która wywołuje pojawienie się zmiennego luzu między powierzchnią oporową segmentu a elementem opo-

one self aligning segment is 9000 N (relevant to that value mean stresses on the pad slide surface are 0.84 MPa), however, the shaft rotary velocity is  $n = 500$  rpm.

The modification of supporting edge of support element geometry is based on implementation of additional curvature in the radial direction. This curvature causes the appearance of changeable clearance between the segment supporting surface and support element, yet, the assumed support edges profile is symmetrical to the mean radius of the segment. Simulations were made for the chosen clearance



Rys.2. Model dyskretny segmentu wahliwego oraz modele obciążenia ciśnieniem hydrodynamicznym oraz obciążenia termicznego  
 Fig. 2. Discrete model of self aligning segment and models of hydrodynamic pressure load and thermal load

rowym, przy czym założony profil krawędzi oparcia jest symetryczny względem promienia średniego segmentu. Przeprowadzono badania symulacyjne dla wybranych wartości luzów, które wynosiły: 0,01; 0,02; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,30 mm. Odpowiadają one odpowiednio wartościom promienia krzywizny krawędzi oparcia zmieniającego się w zakresie od 125000 mm do 4167 mm. Przypadek szczególnie stanowił wariant, w którym profil krawędzi stanowi odcinek prostej (wartości luzów na całej długości krawędzi oparcia są równe 0).

### 3. Wyniki badań

Rysunek 3 prezentuje uzyskane wartości nacisków kontaktowych w postaci map dla wszystkich wariantów modyfikacji geometrii oparcia elementu oporowego. Przy założeniu braku luzów powierzchni oparcia segmentu i elementu oporowego kontakt występuje na całej szerokości segmentu  $B$ , przy czym obszary maksymalnych nacisków koncentrują się w pobliżu zewnętrznego oraz wewnętrznego promienia segmentu. W miarę zwiększania wartości luzów (co odpowiada zmniejszaniu się promienia krzywizny krawędzi elementu oporowego) stwierdzono jakościowe oraz ilościowe zmiany właściwości strefy kontaktu. Widoczny jest proces przemieszczania się strefy maksymalnych nacisków z obszarów skrajnych krawędzi kontaktu w kierunku środka krawędzi oparcia. Kolejne spostrzeżenie dotyczy zmniejszania długości obszaru styku przy jednoczesnym wzroście wartości maksymalnych nacisków. Należy zauważyć, że w przypadku dwóch najmniejszych luzów (0,01 mm oraz 0,02 mm) stwierdzono znacznie bardziej równomierny rozkład nacisków kontaktowych przy jednoczesnym spadku wartości maksymalnych.

Zmiany wartości maksymalnych nacisków kontaktowych oraz zredukowanych naprężeń kontaktowych wg hipotezy Hubera przedstawiono na rysunku 4.

### 4. Wnioski

- Zmiana geometrii krawędzi oparcia elementu oporowego w kierunku promieniowym przeprowadzona w niewielkim stopniu wpływa korzystnie na zwiększenie równomierności rozkładu nacisków kontaktowych oraz zmniejszanie się ich wartości maksymalnych.
- Modyfikacja zarysu krawędzi oparcia elementu oporowego opisana w niniejszym artykule umożliwia wprowadzenie dodatkowego stopnia swobody w postaci możliwości obrotu segmentu względem osi prostopadłej krawędzi oparcia. Stan taki może sprzyjać poprawie charakterystyk eksploatacyjnych łożyska np. zmniejszeniu momentu tarcia, zwiększaniu grubości filmu olejowego.

values, which were as follow: 0.01; 0.02; 0.05; 0.10; 0.15; 0.20; 0.30 mm. They are relevant to the values of curvature radius of support edges varying within the range of 125000 mm to 4167 mm. A special case was a variant in which the edge profile was the line segment (clearance values on the whole length of supporting edge are equal 0).

### 3. Results of analysis

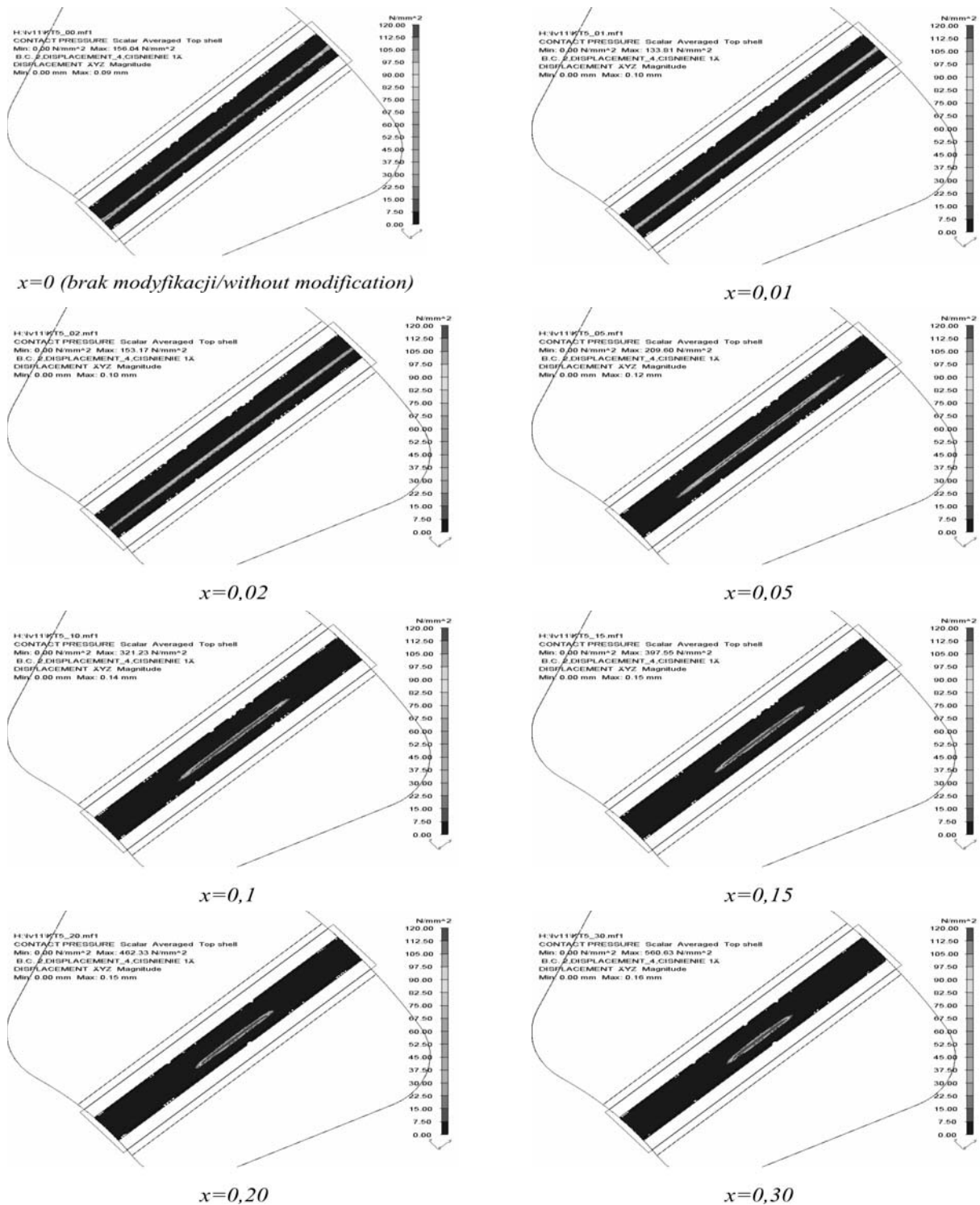
The Fig. 3 shows the obtained values of contact pressures in the form of diagrams for all variants of the supporting element geometry modifications. Assuming that there was no clearance between segment supporting surface and support element, the contact was on the whole width of the segment  $B$ ; however, the zones of maximal pressures were near the external and internal segment radius. While enlarging the clearance values (which is relevant to decreasing of curvature radius of support element edge) it was stated that quantity and quality changes of contact zone properties.

The process of displacement of maximal pressures zone from external parts of edge contact zone into the center of support edge can be seen. Another observation concerns the decreasing of length of contact zone with the increasing of maximal pressures values at the same time. It should be noted that in the case of the two smallest clearances (0.01 and 0.02 mm), more proportional distribution of contact pressures with the decrease of maximal values at the same time was observed.

Changes of values of maximal contact pressures and equivalent contact stresses according to Huber hypothesis are shown in Fig. 4.

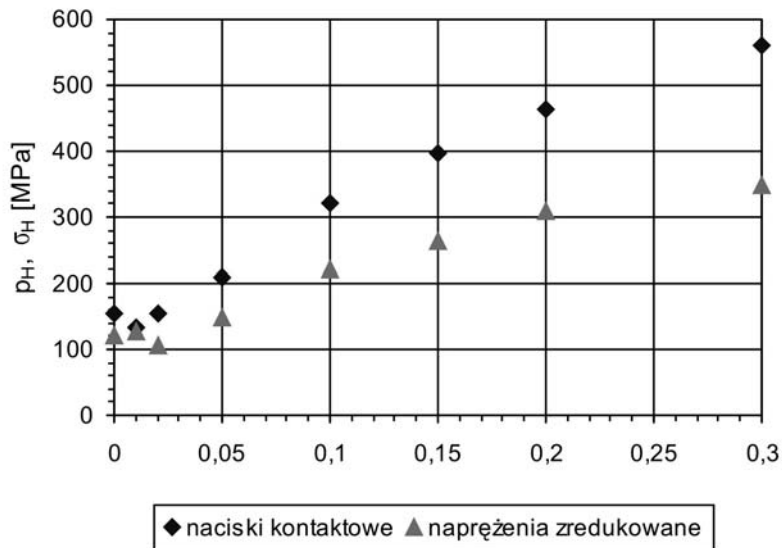
### 4. Conclusions

- The change of geometry of the supporting edge of support element in the radial direction conducted to a small extent, positively influences the increase of uniformity of contact pressures distribution and the decrease of their maximal values.
- The modification of the outline of the supporting edge of support element described in this paper allows for implementation of additional degree of freedom in the form of possibility of segment movement in relation to the perpendicular axis of supporting edge. This state can be favorable for improving the bearing operating characteristics e.g. decreasing of friction moment, increasing of oil film thickness.



Rys.3 Rozkłady nacisków kontaktowych w zależności od założonych wartości luzów  $x$  [MPa]  
 Fig. 3. Distributions of contact pressures depending on assumed clearance values  $x$  [MPa]

- Stwierdza się potrzebę prowadzenia dalszych badań w różnych warunkach eksploatacyjnych łożyska głównie w odniesieniu obciążeń siłowych oraz cieplnych segmentu łożyska z uwzględnieniem modyfikacji geometrii oparcia elementu oporowego.
- Further research are needed in various bearing operating conditions mainly in aspect of force loads and heat loads of bearing segment with taking into consideration the modification of the geometry of support element.



Rys. 4. Zależność maksymalnej wartości nacisków kontaktowych oraz zredukowanych naprężeń kontaktowych od wartości luzu  $x$   
 Fig. 4. Dependency of maximal value of contact pressures and equivalent contact stresses versus clearance values  $x$

## 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] Huebner K.H.: *A Three-Dimensional Thermohydrodynamic Analysis of Sector Thrust Bearings.* ASLE Transactions, vol. 17, 1974
- [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**  
 Politechnika Lubelska  
 Wydział Mechaniczny  
 Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn  
 ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin  
 l.kusmierz@pollub.pl  
 g.poniewaz@pollub.pl

---