

ROZKŁAD OBCIĄŻENIA WEWNĘTRZNEGO W DWURZĘDOWYM KULKOWYM ŁOŻYSKU WIĘNCOWYM

Eugeniusz MAZANEK*, Marek KRYNKE*

*Instytut Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki,
Politechnika Częstochowska, ul. J.H. Dąbrowskiego 69, 42-200 Częstochowa

mazanek@imipkm.pcz.czest.pl, krynke@imipkm.pcz.czest.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono numeryczną metodę wyznaczania rozkładu obciążenia wewnętrznego w rzędach obliczeniowych łożyska, a także dystrybucji sił w śrubach mocujących łożysko do struktur zabudowy. W rozważaniach uwzględniono różne podatności dźwigara pierścieniowego otwartego z lokalnymi usztywnieniami wynikającymi z jego posadowienia na wiotkich konstrukcjach wsporczych.

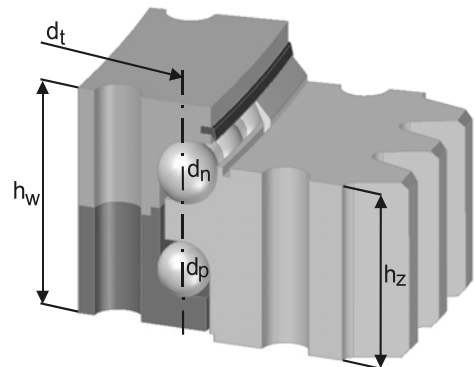
1. WSTĘP

Łożyska wieńcowe, stosowane w maszynach roboczych jako węzły obrotu maszyny, służą do przenoszenia obciążenia pochodzącego od nadwozia na podwozie. W strefie styku między elementami tocznymi a bieżniami powstają wysokie naprężenia naprzemienne, które mogą prowadzić do zmian wymiarów i kształtu łożyska. Niejednokrotnie są posadowione na wiotkich dźwigarach pierścieniowych. W wyniku tego dystrybucja obciążenia wzdłuż bieżni łożyska jest nierównomierna. Rozkłady te zależą od typu łożyska, jego parametrów geometrycznych, sztywności konstrukcji wsporczych w miejscach osadzenia łożyska, ich położenia względem siebie oraz imperfekcji wynikających z błędów wykonania i zużycia. Bez znajomości rozkładu obciążenia wewnętrznego łożyska nie jest możliwe poprawne obliczenie jego rzeczywistej nośności oraz poprawne oszacowanie trwałości łożyska. Zatem należy dążyć do wyznaczenia rzeczywistego rozkładu obciążenia wewnętrznego w łożysku, uwzględniając jego geometrię, sposób mocowania, rodzaj obciążenia zewnętrznego a także sztywność konstrukcji wsporczych z uwzględnieniem nieliniowych warunków kontaktu elementów składowych łożyska i jego zabudowy. Łożyska kulkowe dwurzędowe posiadają jeden pierścień dzielony. Taka konstrukcja powoduje większą podatność łożyska, a tym samym wpływa na dystrybucję obciążenia poszczególnych części tocznych i obciążenie śrub mocujących. Zmiana kąta działania elementów tocznych, który podczas ekstremalnych obciążeń sięga nawet kilkudziesięciu stopni, również w dużym stopniu wpływa na rozkład sił wewnętrznych w łożysku. Opracowanie modeli określających rozkład nacisków na styku poszczególnych elementów tocznych i bieżni łożyska dla różnych obciążeń oraz różnych usztywnień struktur wsporczych, pozwala na bardziej świadomy dobór łożyska.

W artykule zostanie zaprezentowany taki model oraz sposoby realizacji niektórych jego elementów.

2. MODEL DYSKRETNY ŁOŻYSKA KULKOWEGO DWURZĘDOWEGO

Zbudowano model łożyska wieńcowego wraz z konstrukcjami wsporczymi w postaci dźwigarów pierścieniowych posadowionych na sprężynach o różnej sztywności. Poprzez zmianę sztywności wybranych sprężyn, można symulować wpływ sztywności konstrukcji wsporczych na rozkład obciążenia wewnętrznego w łożysku. Sztywność sprężyn dobierano tak, by przy maksymalnym obciążeniu łożyska nie przekroczyć dopuszczalnych wartości ugięcia powierzchni przyłączeniowej. Dla analizowanego łożyska przedstawionego na rysunku 1 dopuszcza się ugięcie powierzchni mocowania łożyska na poziomie 0,8 mm.



Rys. 1. Parametry analizowanego łożyska kulkowego dwurzędowego, $d_t=1400$ mm, $d_n=30$ mm, $d_p=25$ mm, $h_w=11$ mm, $h_z=91$ mm, liczba elementów tocznych: 128/150; śruby mocujące: 32 śruby M24 w każdym pierścieniu; twardość bieżni: 54 HRC, nominalny kąt działania: 45°

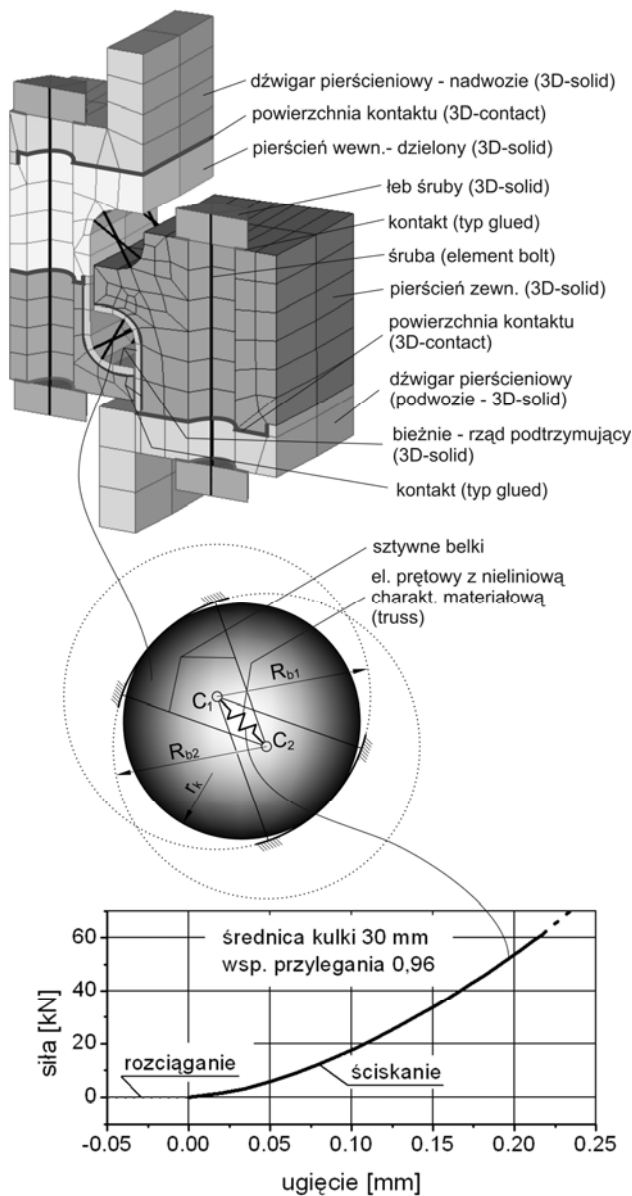
Elementy toczne zostały zamodelowane przez superelementy *bieżnia – element toczny – bieżnia* (Smolnicki, 2002), a śruby przez specjalne elementy belkowe (Bolt) z napięciem wstępnym. Charakterystyka zastępcza elementów tocznych została skorygowana przez uwzględnienie

podatności elementów skończonych w modelu bieżni (Kania, 2005), mając na uwadze, by sztywność superelementu odpowiadała zależności pomiędzy obciążeniem kulki a jej odkształceniem, a właściwie wzajemnym zbliżeniem bieżni łożyska (wykres na rysunku 2).

Wykorzystując zależności empiryczne (Eschmann i inni, 1978) pozwalające na dopuszczanie niewielkich odkształceń plastycznych w miejscach styku elementów toczyń i bieżni (przyjmowane 0,0002) oraz współczynnik twardości f_H (Kania, 2005) przyjęto, że wywierane na kulkę maksymalne obciążenie może wynosić:

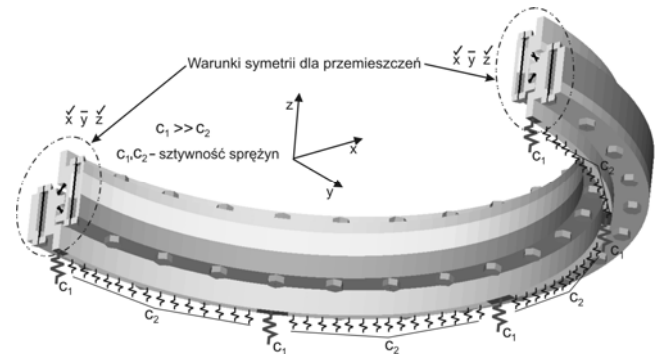
$$P_{dop} = \frac{9,9626 \cdot 10^7 f_H d^2}{c_p^2} \text{ [N]} \quad (1)$$

gdzie: d [mm] – średnica kulki, c_p [MPa^{2/3}] – stała nacisku w strefie styku punktowego.



Rys. 2. Siatka MES połowy sektora elementarnego łożyska z wyodrębnionym superelementem i jego nieliniową charakterystyką

Model dyskretny łożyska jest zredukowany do połowy łożyska zgodnie z geometryczną symetrią. Dlatego warunki symetrii są określone przez ograniczenie powierzchni (rysunek 3). Definicja nieliniowych elementów prętowych jest zgodna ze wszystkimi zasadami MES – prawo zachowania elementów prętowych jest zdefiniowane zgodnie z kierunkiem przez tabelę *odkształcenie – naprężenie*. W celu zabezpieczenia zbieżności analiz zaleca się zdefiniować większy margines punktów funkcjonalnych.

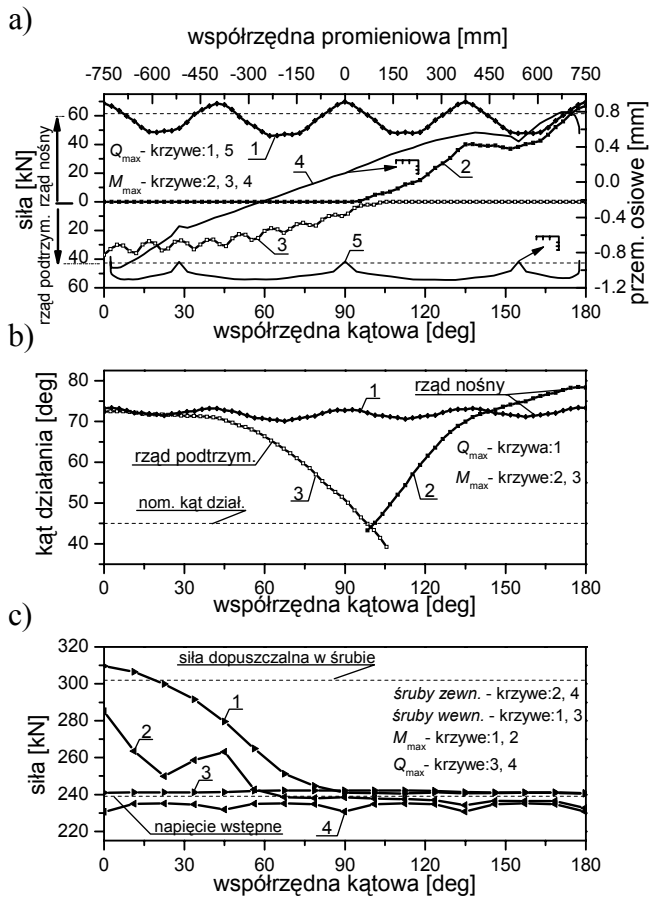


Rys. 3. Warunki brzegowe

Ponadto, w celu zachowania pewnych cech sprężystych bieżni łożyska zależnych od gęstości siatki w przestrzeniach styku, pierścienie muszą być podzielone wzdłuż obwodu zgodnie z podziałką rozmieszczenia elementów toczyń. Dyskretyzując pierścienie łożyska dwurzędowego, w którym występuje różna liczba części toczyń w obu rzędach, a także uwzględniając otwory w pierścieniach na śruby mocujące, trudno otrzymać regularną siatkę MES w poszczególnych segmentach pierścieni po obwodzie łożyska. W niniejszej pracy zaproponowano, by pierścienie łożyska wzdłuż obwodu podzielić zgodnie z podziałką rozmieszczenia części toczyń rzędu nośnego. W celu połączenia superelementów z pierścieniami łożyska w rzędzie podtrzymującym, wydzielono z obu pierścieni bieżnie o niewielkiej grubości. Bieżnie te wzdłuż obwodu zostały podzielone zgodnie z kryterium rozmieszczenia elementów toczyń w rzędzie podtrzymującym. Na powierzchniach składowych tych brył wykorzystano mechanizm sklejanie siatki (*mesh glueing*) dostępny w zaawansowanych programach MES. Umożliwia on generowanie siatki o różnej gęstości w poszczególnych segmentach modelowanej bryły (lub użycie do ich dyskretyzacji elementów o różnej liczbie węzłów). W podobny sposób zostały połączone węzły na powierzchniach składowych łebów śrub z pierścieniami łożyska i kołnierzami dźwigarów pierścieniowych zabudowy. Ostatecznie należy zaznaczyć, że ustalenie modelu MES jest trudnym zadaniem zależnym od wpływu kilku parametrów, m.in. takich jak: liczba elementów toczyń, rozmiary pierścieni z uwzględnieniem otworów pod śruby mocujące, definicji superelementów oraz nieliniowej charakterystyki elementów prętowych. Optymalnym rozwiązaniem dla uniknięcia błędów jest meszowanie jednego sektora elementarnego, tworząc pierścieniowe wzorce równej liczbie śrub mocujących pierścieni łożyska jak przedstawiono na rysunku 2, oraz połączenie pokrywających się węzłów.

3. IDENTYFIKACJA ROZKŁADU OBCIĄŻENIA WEWNĘTRZNEGO

Za pomocą zbudowanego modelu przeprowadzono analizę rozkładu sił na elementy toczone dla łożyska wieńcowego obciążonego maksymalnym momentem wywrotnym $M_{\max}=2000\text{kNm}$ i maksymalną siłą osiową $Q_{\max}=7000\text{kN}$. Na rysunku 4 pokazano przykładowe rozkłady sił na poszczególne kulki wzdłuż obwodu łożyska (krzywe 1, 2, 3 – rysunek 4a).



Rys. 4. Rozkład obciążenia wewnętrznego w łożysku z naniesionymi charakterystykami przemieszczeń poosiowych dolnej powierzchni dźwigara pierścieniowego (a), zmiana kątów działania poszczególnych elementów toczone (b) i dystrybucja sił w śrubach mocujących pierścienie łożyska (c)

Na wykresy zostały naniesione dodatkowo krzywe obrazujące rozkład sił na poszczególnych śrubach mocujących (krzywe 1, 2, 3, 4 – rysunek 4c), a także przemieszczenie poosiowe dolnej powierzchni dźwigara pierścieniowego (krzywe 4, 5 – rysunek 4a) i zmiana kąta działania elementów toczone (krzywe 1, 2, 3 – rysunek 4b). Analizując otrzymane wyniki stwierdzono istotny wpływ sposobu podparcia dźwigara pierścieniowego na rozdział obciążenia na elementy toczone, a także istotny wpływ zacisku wstępnego śrub na rozkład obciążenia w rzędzie podtrzymującym. Dla rzędu nośnego oddziaływanie śrub jest niewielkie. Wynika to z rozplywu siły od łba śruby, która oddziałuje na rząd dolny poprzez kołnierz o mniejszej grubości niż w rzędzie górnym, gdzie łby śrub umieszczone są na kołnierzu dźwigara pierścieniowego.

4. UWAGI KOŃCOWE

Przeprowadzona analiza łożyska kulkowego dwurzędowego, dzięki zastosowaniu metody elementów skończonych i modeli opartych na superelemencie tocznym pozwoliła określić, które elementy toczone i w jakim stopniu uczestniczą w przenoszeniu obciążeń. Posadowienie dźwigara pierścieniowego na sprężystym podłożu z możliwością zmiany jego sztywności pozwala określić wpływ odkształcalności konstrukcji wsporczych i nierównomierności ich podatności na obciążenie elementów toczone w łożysku.

LITERATURA

1. Eschmann P., Hasbergen L., Weigand K. (1978), *Die Wälzlagerpraxis*, Oldenburg Verlag, München.
2. Kania L. (2005), *Analiza obciążenia wewnętrznego w łożyskach toczone wieńcowych w aspekcie ich nośności statycznej*, Monografie, nr 111, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa.
3. Smolnicki T. (2002), *Fizyczne aspekty koherencji wielkogabarytowych łożysk toczone i odkształcalnych konstrukcji wsporczych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.

DISTRIBUTION OF INTERNAL LOAD IN THE DOUBLE-ROW BALL BEARING SLEWING RINGS

Abstract: The article describes the numerical method to define distribution of internal bearing load. It also presents forces distribution of the bolts used to mount the bearing to support components. In this solution various flexibility of the open ring girder with local stiffening which result from its fixing on flexible support structure were taken into consideration.