

XIII MIĘDZYNARODOWE KOŁOKWIUM
"MODELE W PROJEKTOWANIU I KONSTRUOWANIU MASZYN"
13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON
"MODELS IN DESIGNING AND CONSTRUCTIONS OF MACHINES"
25-28.04.1989 ZAKOPANE

Teresa GIBczyńska
Adam MARCINIEC
Instytut Budowy Maszyn
Politechnika Rzeszowska

SYMULACJA WPŁYWU RÓŻNYCH CZYNNIKÓW NA ROZKŁAD OBCIĄŻENIA
W KULKOWYM DWURZĘDOWYM ŁOŻYSKU WIENCOWYM

Streszczenie

W pracy przedstawiono przykłady symulacji rozkładu obciążenia na obwodzie bieżni łożyska wielkogabarytowego. Przeprowadzono analizę wpływu luzu i sztywności ustroju nośnego na wartości maksymalnych sił działających w łożysku.

1. Wprowadzenie

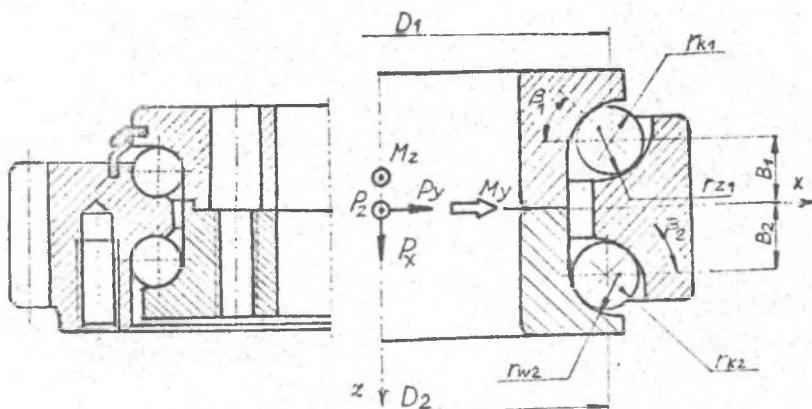
W pracy podano przykłady symulacji numerycznej obciążenia w kulkowym dwurzędowym łożysku wielkogabarytowym, przedstawionym na rysunku 1.

Znajomość rozkładu sił w łożysku wielkogabarytowym oraz znajomość ich maksymalnych wartości jest potrzebna do stwierdzenia, czy dane łożysko może przenieść zadane obciążenie zewnętrzne, względnie jakie parametry łożyska lub jego obudowy należy zmienić, aby uzyskać korzystniejszy rozkład obciążenia, a tym samym większą nośność.

Dla łożyska przedstawionego na rys. 1, w pracy [1] podano model matematyczny i program komputerowy pozwalający na wyznaczanie sił działających na każdy element toczny łożyska, przy zadanym przestrzennym stanie obciążenia złożonym z siły osiowej P_o , dwóch sił promieniowych P i $|P|$ oraz dwóch momentów M_x i M_y działających w płaszczyznach wzajemnie prostopadłych (rys. 1).

W opracowanym modelu uwzględniono luz, zmianę kąta działania oraz ugięcie konstrukcji wsporczych wraz z pierścieniami. Sformułowano warunki równowagi pierścienia wewnętrznego łożyska. Siły działające na elementy toczne wyznaczono ze wzoru Hertza. Odkształcenie bieżni i i-tej części tocznej przedstawiono jako funkcję parametrów geometrycznych łożyska, pięciu uogólnionych przemieszczeń pierścienia wewnętrznego x, y, z, η_v, η_z , luzu l , a ponadto każdemu elementowi tocznemu przyporządkowano trzy składowe x_i, y_i, z_i ugięcia u ustroju nośnego wraz z pierścieniami.

Praca została wykonana w ramach problemu CPBP 02.05.



Rys.1. Model łożyska
Fig.1. Bearing model

Równania równowagi w liczbie pięciu rozwiązano numerycznie. Opracowany program komputerowy pozwala na wyznaczanie poszukiwanych uogólnionych przemieszczeń, sił działających na każdą kulkę i odpowiadających im naprężeń stykowych dla zadanego obciążenia zewnętrznego łożyska. Jako przykład zastosowania opracowanej metody przedstawimy symulację rozkładu obciążenia na obwodzie bieżni dla określonego łożyska.

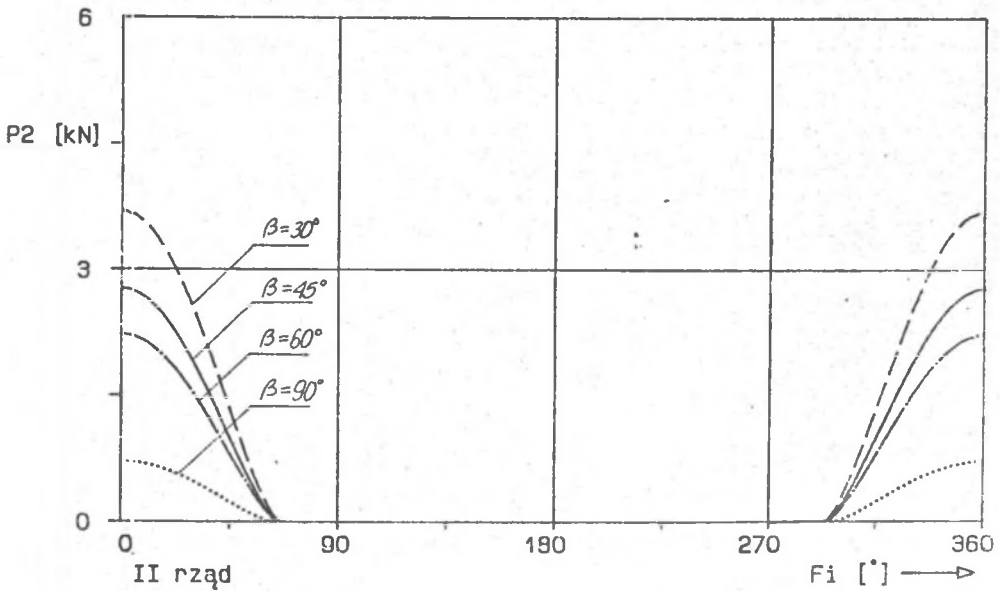
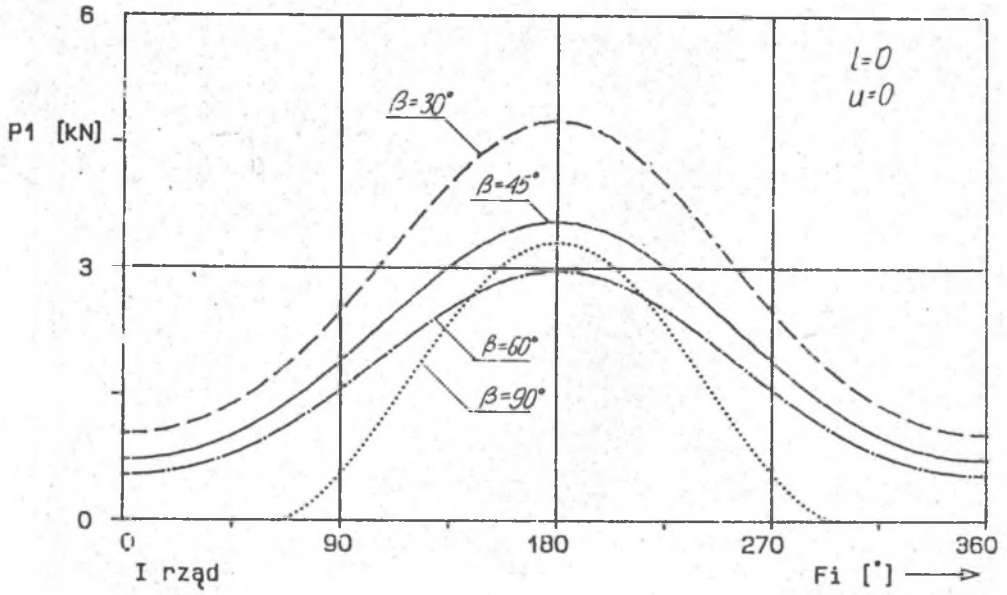
2. Przykłady symulacji rozkładu obciążenia

Symulację rozkładu obciążenia na obwodzie bieżni przeprowadzimy dla łożyska o następujących wymiarach: średnica łożyska $D = 2570$ mm, średnica kulki i liczba kulek odpowiednio $d_k = 41,27$ mm, $n_1 = 157$ w rzędzie pierwszym, $d_{k2} = 30,16$ mm, $n_2 = 192$ w rzędzie drugim. Jako obciążenie przyjęto siłę osiową $P_z = 150000$ N i moment $M_z = 200000$ Nm.

Symulacja ma na celu zbadanie wpływu poszczególnych czynników, takich jak luz, ugięcie konstrukcji wsporczej, kąt działania oraz kombinacja tych czynników na rozkład obciążenia i jego maksymalne wartości.

Aby móc dokonać porównania wpływu wymienionych czynników, obliczenia przeprowadzono najpierw przy założeniu braku luzu, idealnych kształtów bieżni i kulek oraz całkowitej sztywności konstrukcji nośnej pierścieni. Wyniki obliczeń w postaci wykresów wyznaczonych dla różnych kątów działania przedstawiono na rys. 2. Wszystkie wykresy mają charakter cosinusoidalny. Uwidacznia się tu jednak wpływ wartości kąta działania na wartość maksymalnej siły obciążającej kulkę oraz na zakres czynnej strefy łożyska. Można zauważyć, że wraz ze zmniejszaniem się wartości kąta działania począwszy od 90° wartości siły maksymalnej początkowo maleją, a następnie rosną.

W drugim rzędzie wartości siły maksymalnej stale rosną i są znacznie mniejsze niż w rzędzie pierwszym. A więc, dla określonego bezluzowego łożyska osadzonego między sztywnymi urządzeniami nośnymi można przy zadanym obciążeniu znaleźć taką wartość kąta działania,



Rys.2. Wykresy rozkładów sił działających na kulki dla różnych wartości kąta działania

Fig.2. Load distribution in two rows of balls for different values of contact angle

przy której rozkład obciążenia będzie najkorzystniejszy.

Otrzymane wyniki stanowią bazę odniesienia dla rozkładów obciążeń przy uwzględnieniu pominiętych tu czynników, mianowicie luzu i odkształceń ustroju nośnego.

Na rysunku 3 przedstawiono wykresy rozkładów obciążeń dla różnych wartości luzu osiowego w łożysku o kącie działania wynoszącym 60° . Ogólnie można powiedzieć, że wpływ luzu jest niekorzystny, gdyż powoduje wzrost wartości maksymalnej siły w rzędzie pierwszym. W rzędzie drugim wartość maksymalnej siły początkowo rośnie, a następnie, gdy luz przekroczy pewną wartość - maleje.

Przyrost obciążenia elementu tocznego w stosunku do obciążenia w łożysku w stanie nominalnym, czyli bezluzowego przy sztywnych ustrojach nośnych, określimy za pomocą współczynnika $k_s = \frac{P}{P_0}$ ujętego jako iloraz maksymalnej siły działającej na element toczny w danym rzędzie łożyska do maksymalnej siły działającej na kulkę tego rzędu łożyska w stanie nominalnym.

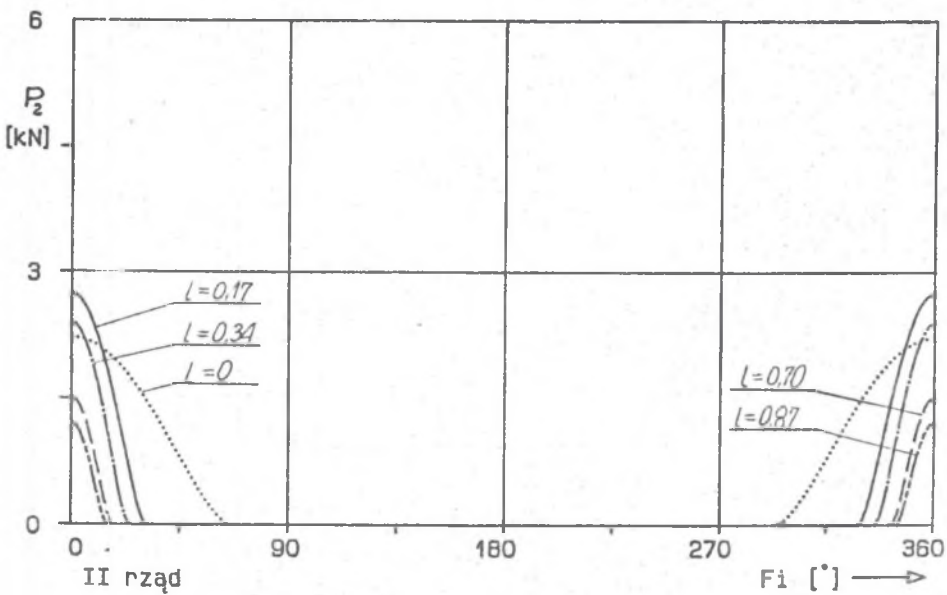
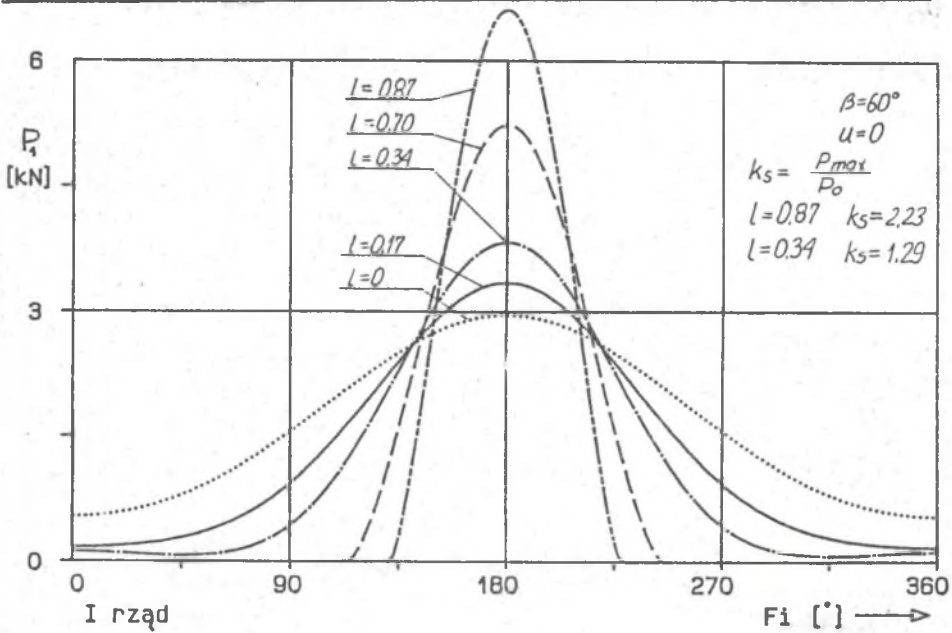
Na wykresie można zauważyć, że do wartości luzu $l = 0,34$ mm obciążenie w pierwszym rzędzie przenoszą wszystkie kulki, a współczynnik $k_s = 1,29$. Wraz ze wzrostem luzu powyżej tej granicy obciążenie przenoszone jest przez coraz to krótsze odcinki bieźni, w związku z czym wartość maksymalnej siły wzrasta szybciej i dla luzu $l = 0,87$ mm współczynnik $k_s = 2,23$.

Wraz ze wzrostem luzu zaznacza się bardzo istotna zmiana kąta działania dla poszczególnych kulek. W tabelicy 1 zawarte są przedziały wartości kąta działania dla różnych wartości luzu. W pierwszym rzędzie odchyłka górna dotyczy kulki najbardziej obciążonej, a dolna - kulki znajdującej się na granicy strefy obciążenia. W rzędzie drugim odwrotnie - odchyłka górna dotyczy kulki najbardziej obciążonej. Jak widać, zmiana wartości kąta działania jest tak duża, że założenie niezmienności kąta działania stosowane w wielu pracach: [2], [3], [4], musi prowadzić do dużych błędów w obliczeniach nośności łożysk.

Tabelica 1

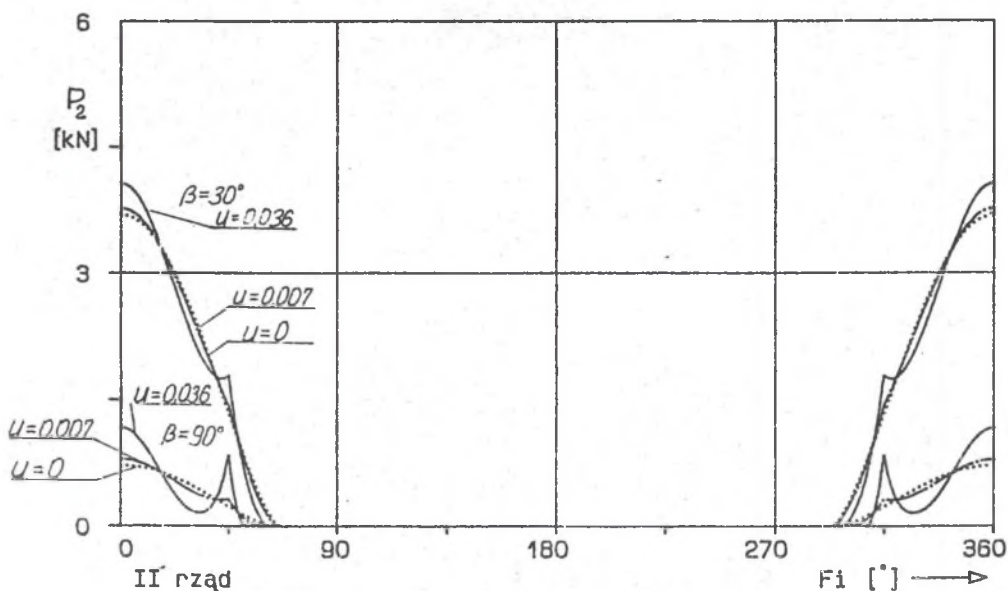
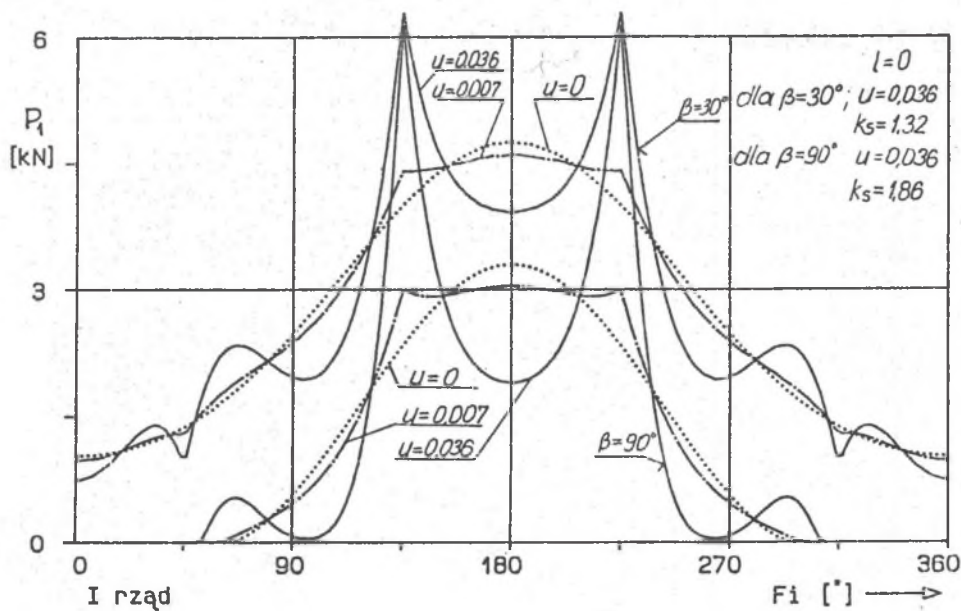
l	l	β [°]		l	l	β [°]	
		I rząd	II rząd			I rząd	II rząd
[mm]	$\sin\beta$			[mm]	$\sin\beta$		
0	0	$60^{+1,68}$ $-1,04$	$60^{-0,94}$ $-1,33$	0,346	0,4	60^{+15} -9	$60^{-14,57}$ $-14,62$
0,087	0,1	$60^{+5,77}$ $-3,60$	$60^{-4,99}$ $-5,40$	0,693	0,8	60^{+23} $+7$	$60^{-22,17}$ $-22,03$
0,173	0,2	60^{+9} -6	$60^{-8,19}$ $-8,87$	0,866	1,0	$60^{+25,5}$ $+13$	$60^{-22,38}$ $-22,25$

Podobne obliczenia przeprowadzono również dla łożyska o kącie działania $\beta = 90^\circ$. W takim łożysku wpływ luzu jest znacznie większy niż w łożysku o kącie działania $\beta = 60^\circ$, gdyż prowadzi on od razu do zmniejszenia obciążonej strefy bieźni. Stąd też znacznie większy wzrost wartości maksymalnej siły działającej na kulkę. I tak przy luzie $l = 0,16$ mm współczynnik $k_s = 1,78$, natomiast w łożysku o kącie działania $\beta = 60^\circ$ współczynnik ten wynosi $k_s = 1,14$. Nasuwa się więc wniosek, że zmniejszenie kąta działania zagodzi niekorzystny wpływ luzu.



Kys.3. Wykresy rozkładów sił działających na kulki dla różnych wartości luzu osiowego

Fig.3. Load distribution in two rows of balls for different values of axial clearance



Kys.4. Wykresy rozkładów sił działających na kulki z uwzględnieniem odkształceń ustroju nośnego

Fig.4. Load distribution in two rows of balls with regard to load-carrying structure deformation

Na rysunku 4 przedstawiono wpływ ugięć ustroju nośnego na rozkład obciążenia w łożyskach o kątach działania $\beta = 90^\circ$ i 30° z pominięciem luzu ($l = 0$). W rozpatrywanym przypadku założono, że ustrój górny jest sztywny, natomiast dolny odkształcalny. Przemieszczenia ustroju górnego w kierunku osi z, zadawane były w postaci funkcji określającej ugięcie pierścienia o jednakowej na całym obwodzie sztywności giętej i skrętnej, podpartego na czterech podporach rozmieszczonych co 90° , symetrycznie względem płaszczyzny działania momentu i obciążonego siłą osiową i momentem. Na omawianym rysunku zaznaczono wykresy rozkładów obciążenia dla różnych maksymalnych przemieszczeń (ugięć) charakteryzujących podatność ustroju dolnego. Zarysowujące się na wykresie piki występują w miejscach podparcia, tzn. tam, gdzie sztywność jest największa. Z analizy wykresów wynika, że łożyska są bardzo wrażliwe na ugięcia ustroju nośnego. Przy ugięciu $u = 0,036$ mm w łożysku o kącie działania $\beta = 90^\circ$, wartość siły maksymalnej jest 1,86 razy większa niż gdy $u = 0$. Z przebiegu wykresów wynika, że można tak dobrać sztywność ustroju nośnego, aby przy zadanym obciążeniu zewnętrznym uzyskać rozkład zbliżony do rozkładu trapezowego, który można uznać za korzystniejszy niż rozkład cosinusoidalny uzyskiwany przy sztywnych ustrojach.

Łączny wpływ luzu i ugięć na rozkład obciążenia przedstawiono na rysunku 5. Jak się okazuje w tym przypadku, można znaleźć taką wartość luzu, która korzystnie wpływa na rozkład obciążenia przy zadanym ugięciu ustroju nośnego. Mianowicie, przy $u = 0,036$ mm i $l = 0,16$ mm rozkład obciążenia między podporami staje się bardziej równomierny i przypomina rozkład trapezowy. Wówczas to współczynnik $k_s = 1,26$, podczas gdy przy $l = 0$ i $u = 0,036$ mm współczynnik $k_s = 1,86$, a z kolei przy $l = 0,16$ mm i $u = 0$ współczynnik ten wynosi 1,78.

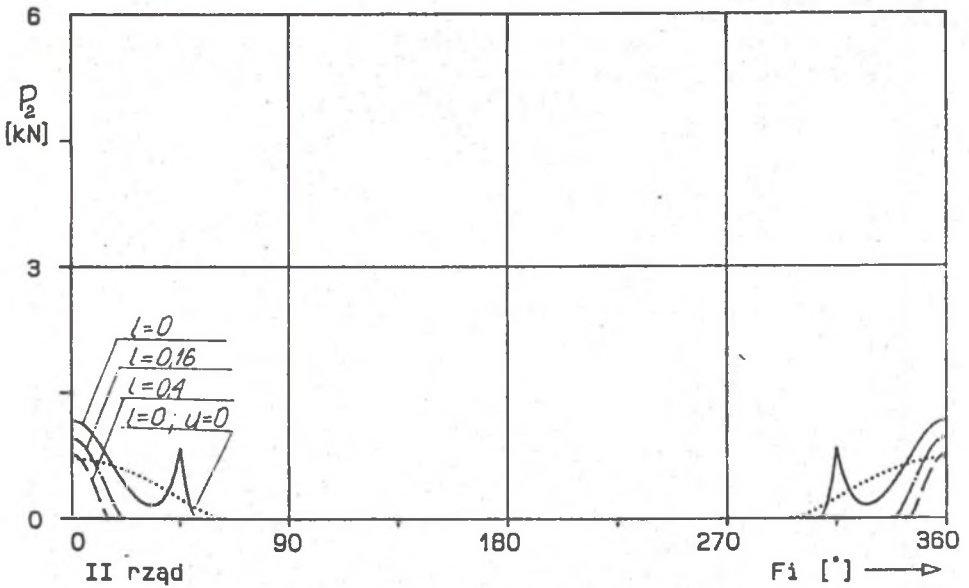
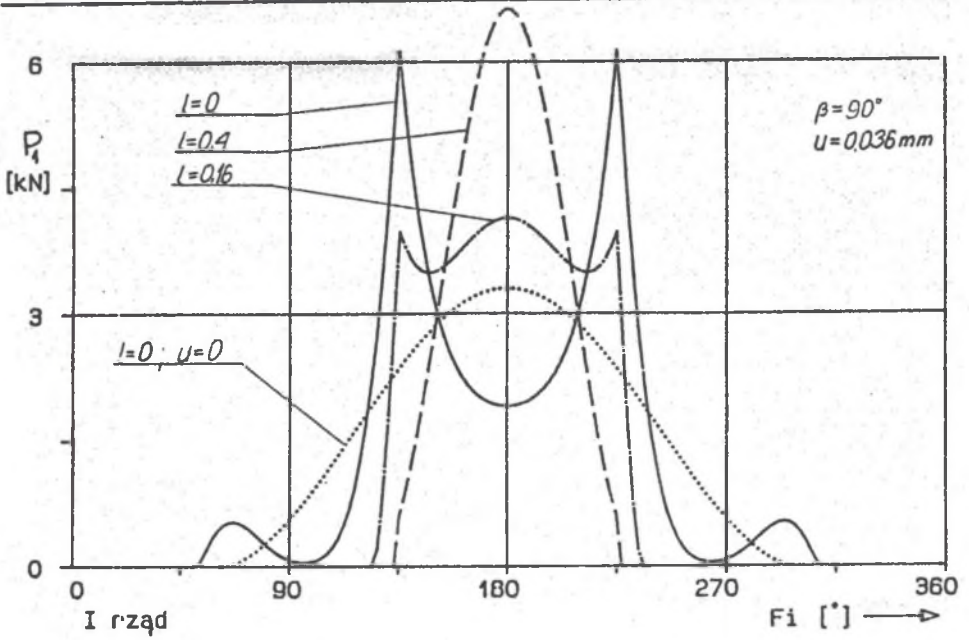
Wpływ siły promieniowej P działającej w płaszczyźnie działania momentu przedstawiono na rysunku 6. Należy tu zwrócić uwagę na fakt, że obciążenie przenoszone jest przez wszystkie kulki rzędu pierwszego i przez część kulek rzędu drugiego. Ponadto przy odpowiednim kojarzeniu wartości obciążeń można uzyskać prawie równomierny rozkład sił działających na kulki rzędu pierwszego.

3. Wnioski

Z przeprowadzonej analizy wynika, że jakkolwiek każdy z wymienionych tu czynników, tzn. luz i odkształcenia ramy, ma niekorzystny wpływ na rozkład obciążenia w łożysku, to możliwy jest taki dobór każdego z nich, że ich łączny wpływ daje w efekcie korzystniejszy rozkład obciążenia niż w przypadku oddziaływania każdego z osobna.

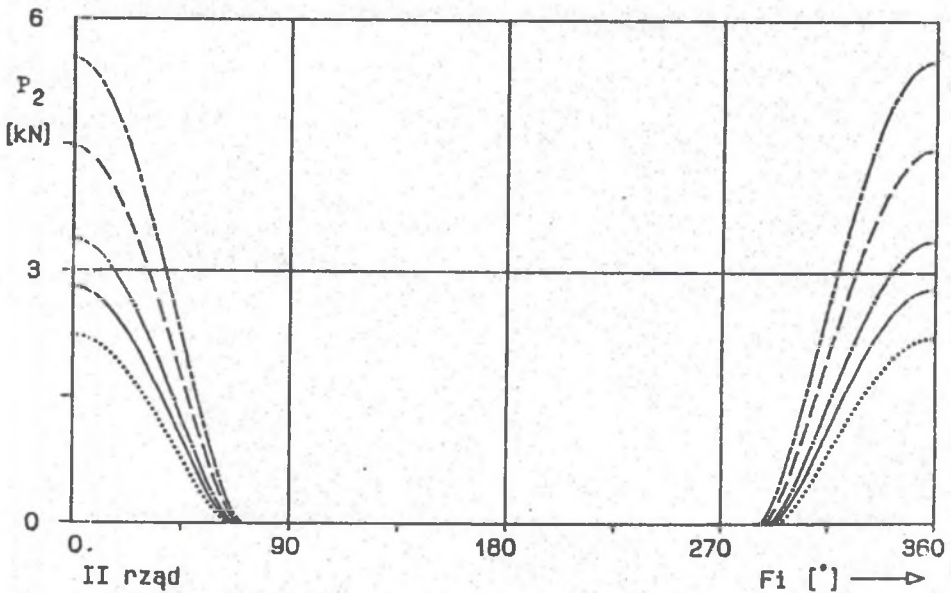
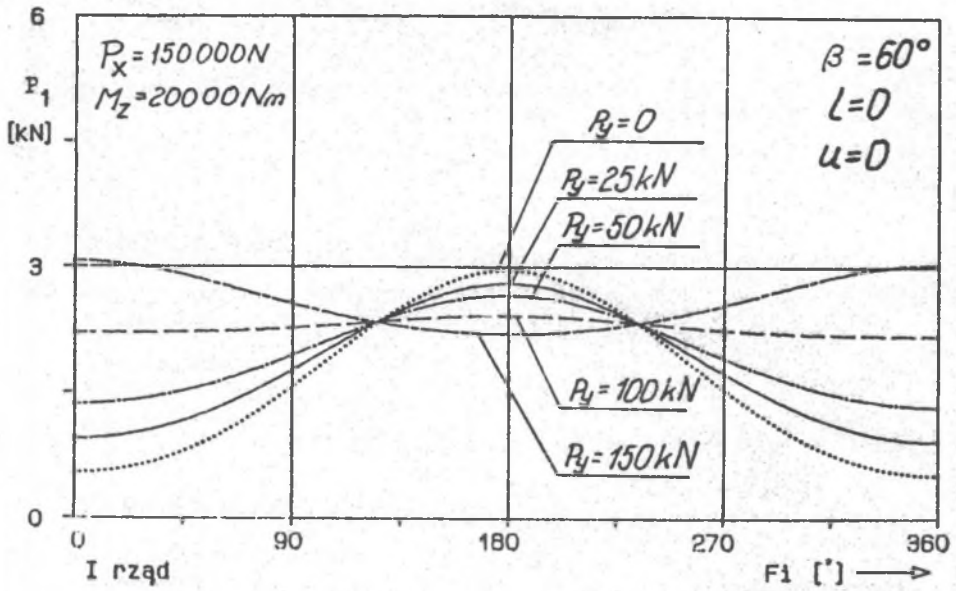
Przy wykorzystaniu opracowanego programu można dobrać tak parametry geometryczne i montażowe łożyska, a także tak zamodelować odkształcenia konstrukcji wsporczych, aby dla zadanego obciążenia zewnętrznego otrzymać najkorzystniejszy rozkład obciążeń.

Wyniki obliczeń mogą być również bardzo przydatne do obliczania połączeń śrubowych łożyska, które jak wykazuje praktyka, ulegają częstym uszkodzeniom.



Rys.5 Wykresy sił działających na kulki z uwzględnieniem luzu i odkształceń ustroju nośnego

Fig.5. Load distribution in two rows of balls with regard to axial clearance and load-carrying structure deformation



Rys.6 Wykresy rozkładów sił działających na kulki z uwzględnieniem siły promieniowej P

Fig.6. Load distribution in two^y rows of balls different values of radial force P_y

LITERATURA

- [1] T. GIBCZYŃSKA I INNI: Podstawy teoretyczne obliczania łożysk wielkogabarytowych, Etap II, CPBP 02.05.1987.
- [2] A.M. KAZANSKIJ: Metody rasčeta krupnogatarnitnyh podšipnikov dla oporno - povorotnyh ustrojstv, Věstnik Mašinostrojenija 1961,7.
- [3] K. MATTHIAS: Sonderfalle bei der Berechnung von Kugeldrehverbindungen, Hebezeuge Fordermittel 1962,8.
- [4] E. MAZANEK: Numeryczna metoda wyznaczania charakterystyk obciążalności łożysk wieńcowych kulkowych dwurzędowych, Archiwum Budowy Maszyn 1982, tLXIX, z.1.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗНЫХ ФАКТОРОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ
В КРУПНОГАБАРИТНОМ ПОДШИПНИКЕ.

Резюме

В работе представлены примеры симуляции нагрузки на периметре дорожки качения подшипника. Проведено анализ влияния зазора и жесткостью рам на значение максимальной силы нагружающей шарика.

THE SIMULATION OF LOAD DISTRIBUTION ON THE LARGE-DIAMETER
BEARING RACEWAYS CIRCUMFERENCE

Summary

The paper presents examples of simulation force exerted on raceways circumference for a definite ball-bearing. The results of digital simulation with regard to axial clearance and load-carrying structure deformation are discussed.

Recenzent: doc. dr inż. K. Reich

Wpłynęło do Redakcji 15.XII.1989 r.