

## ROZDZIAŁ 9

# PRZYKŁADY CHARAKTERYSTYK ŁOŻYSK

---

### ■ ŁOŻYSKO LABORATORYJNE

### ■ ŁOŻYSKO TURBINOWE

Przedstawimy w niniejszym rozdziale przykładowe wyniki obliczeń charakterystyk statycznych i dynamicznych łożysk pracujących w rzeczywistych obiektach. Będzie to łożysko o średnicy czopa  $D = 0,1$  m pracujące w wielkogabarytowym stanowisku do badania dynamiki wirników w laboratorium wibrodiagnostyki IMP PAN (rozdział 3.3.1), zwane dalej łożyskiem laboratoryjnym oraz dwie wersje jednego z łożysk dużej maszyny energetycznej (turbozespołu o mocy 200 MW – rozdział 3.3.2) o średnicy czopa  $D = 0,45$  m, zwane dalej łożyskiem turbinowym. Obliczenia przeprowadzone zostały w oparciu o diatermiczny model cieplny i program DIADEF, stanowiący część systemu MESWIR – rozdział 3. Zamieszczone wyniki pozwolą Czytelnikowi na szybką orientację co do rzędu wielkości i charakteru zmian podstawowych wielkości opisujących charakterystyki łożyska.

### 9.1 Łożysko laboratoryjne

Szkic konstrukcyjny tego łożyska przedstawia rys. 9.1. Jest to łożysko z luzem kołowo-cylindrycznym i dwiema kieszeniami smarnymi usytuowanymi w płaszczyźnie podziału panwi. Podstawowe parametry geometryczne przedstawiają się następująco:

- średnia czopa:  $D = 0,1$  m;
- średnica panwi (obliczeniowa):  $D_z = 0,15$  m;
- szerokość panwi:  $L = 0,05$  m;
- stosunek  $L/D : 0,5$ ;
- luz promieniowy bezwzględny:  $\Delta R = 90,35 \cdot 10^{-6}$  m;

- rodzaj luzu: kołowo-cylindryczny  $C_{VH} = l$ ;
- kąty określające usytuowanie kieszeni smarnych:  $\Psi_1 = 10^\circ\text{C}$  ,  $\Psi_2 = 170^\circ\text{C}$  ,  $\Psi_3 = 190^\circ\text{C}$  ,  $\Psi_4 = 350^\circ\text{C}$  ;
- szerokość kieszeni smarnych:  $L_K = 0,0375$  m.

Ponadto przyjęto:

- współczynnik przewodzenia ciepła w materiale panwi:  
 $K_p = 50 \text{ kg} \cdot \text{m} / (\text{s}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ;
- współczynnik przejmowania ciepła przy swobodnej konwekcji:  
 $\alpha_{ot} = 80 \text{ kg} / (\text{s}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ ;
- olej maszynowy Z-26;
- temperatura oleju zasilającego:  $t_o = 31^\circ\text{C}$  ;
- ciśnienie zasilania:  $p_o = 0,1$  MPa;
- lepkość oleju w temperaturze zasilania  $t_o = 31^\circ\text{C}$  :  $\mu_o = 0,075$  Pa·s;
- ciepło właściwe oleju:  $c = 2000 \text{ m}^2 / (\text{s}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;
- współczynnik przewodzenia ciepła w oleju:  
 $K_{ol} = 0,135 \text{ kg} \cdot \text{m} / \text{s}^3 \cdot ^\circ\text{C}$  );
- gęstość oleju:  $\rho = 900 \text{ kg} / \text{m}^3$ ;
- temperatura otoczenia:  $t_z = 20^\circ\text{C}$  .

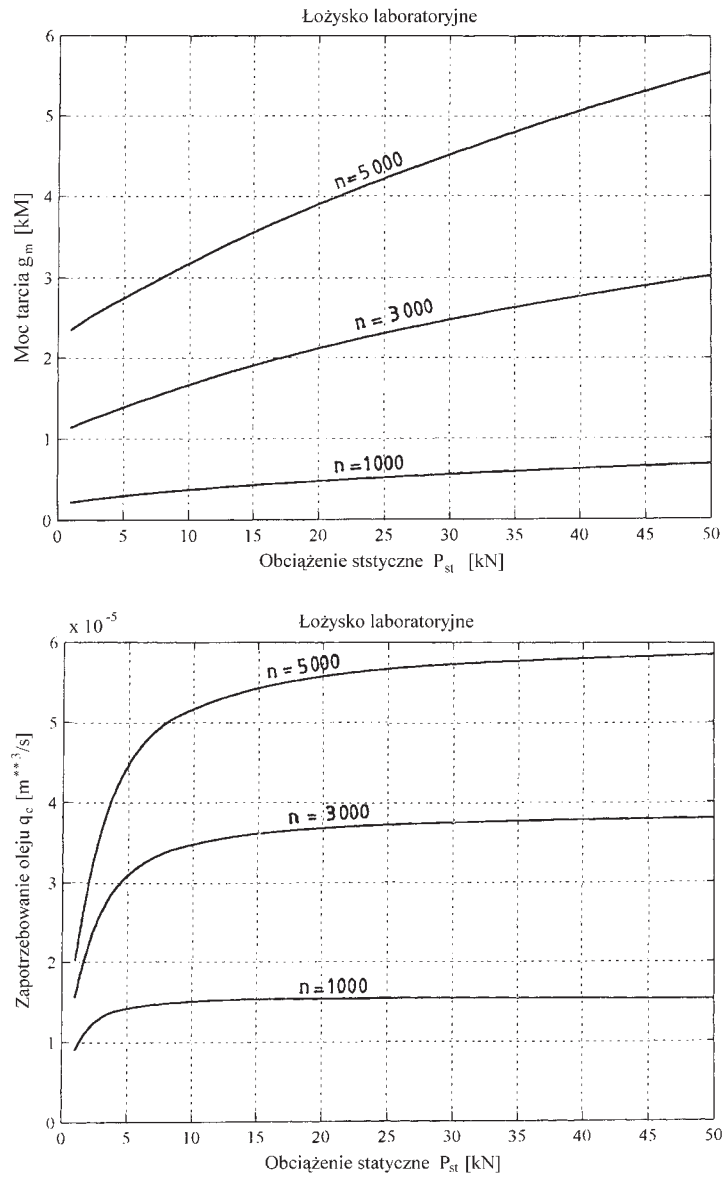
Obliczenia przeprowadzono przy założeniu, że na łożysko działa statyczna, pionowa siła obciążająca  $P_{st}$  przyjmująca różne wartości z przedziału  $0 \div 50$  kN, lecz zachowująca ciągle ten sam kierunek działania (tzn. pionowo w dół). Do analizy przyjęto trzy prędkości obrotowe czopa:  $n = 1000, 3000$  i  $5000$  obr/min. Przyjęty zatem zakres obciążeń  $P_{st} = 0 \div 50$  kN (co odpowiada średnim obciążeniom jednostkowym  $p_{sr} = 0 \div 10$  MPa) i prędkości obrotowych łożyska odpowiada znacznej ilości przypadków, z którymi możemy mieć do czynienia w praktyce dla tej klasy łożysk. Definicje podstawowych parametrów i układy współrzędnych zostały podane w rozdziale 2.2 a podstawowe równania dynamiki w rozdziale 2.3 niniejszej monografii.

Wyniki obliczeń przedstawiają tabele 9.1 i 9.2 oraz rysunki 9.2 ÷ 9.5.

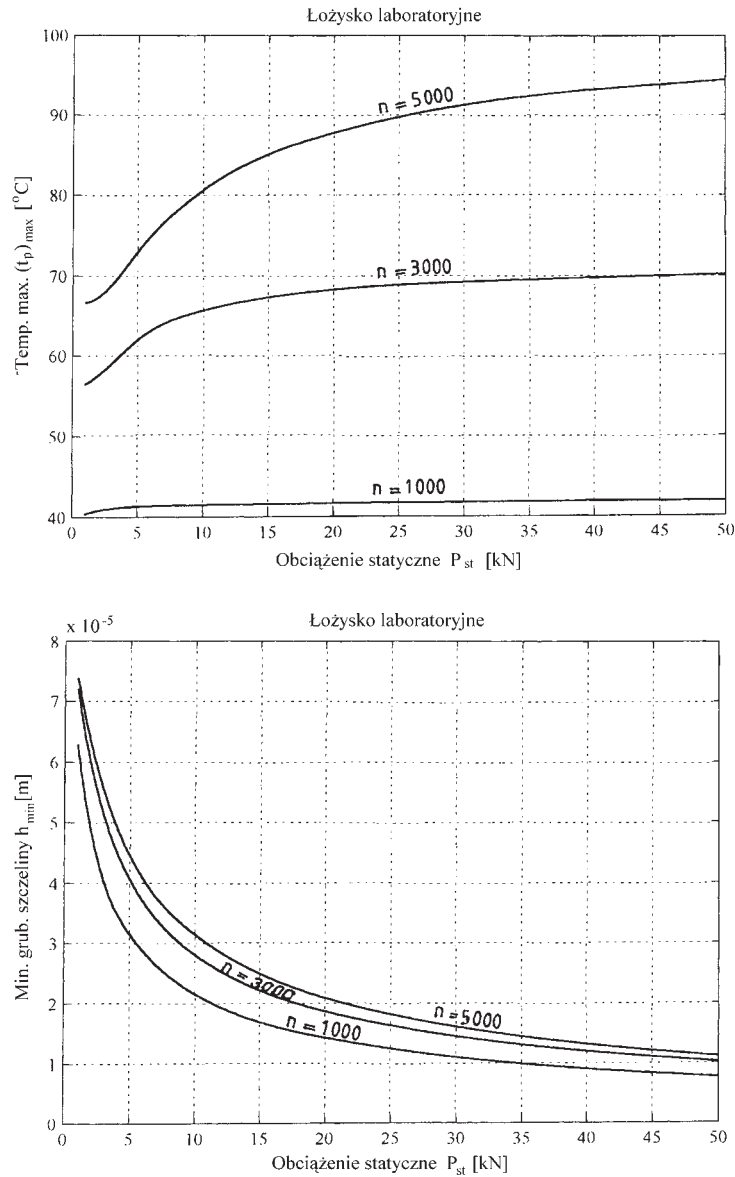
Zwraca uwagę fakt, iż wpływ obciążenia i prędkości obrotowej na podstawowe charakterystyki statyczne łożyska jest zróżnicowany. O ile na przebiegi mocy tarcia, zapotrzebowania oleju czy maksymalnej temperatury panwi zdecydowanie większy wpływ ma prędkość obrotowa czopa, to na przebieg, np. minimalnej grubości filmu olejowego większy wpływ ma obciążenie statyczne.

Jeśli chodzi o charakterystyki dynamiczne, to warto odnotować, iż wpływ prędkości obrotowej łożyska jest wyraźnie większy na przebieg współczynników tłumienia, niż na przebieg współczynników sztywności.

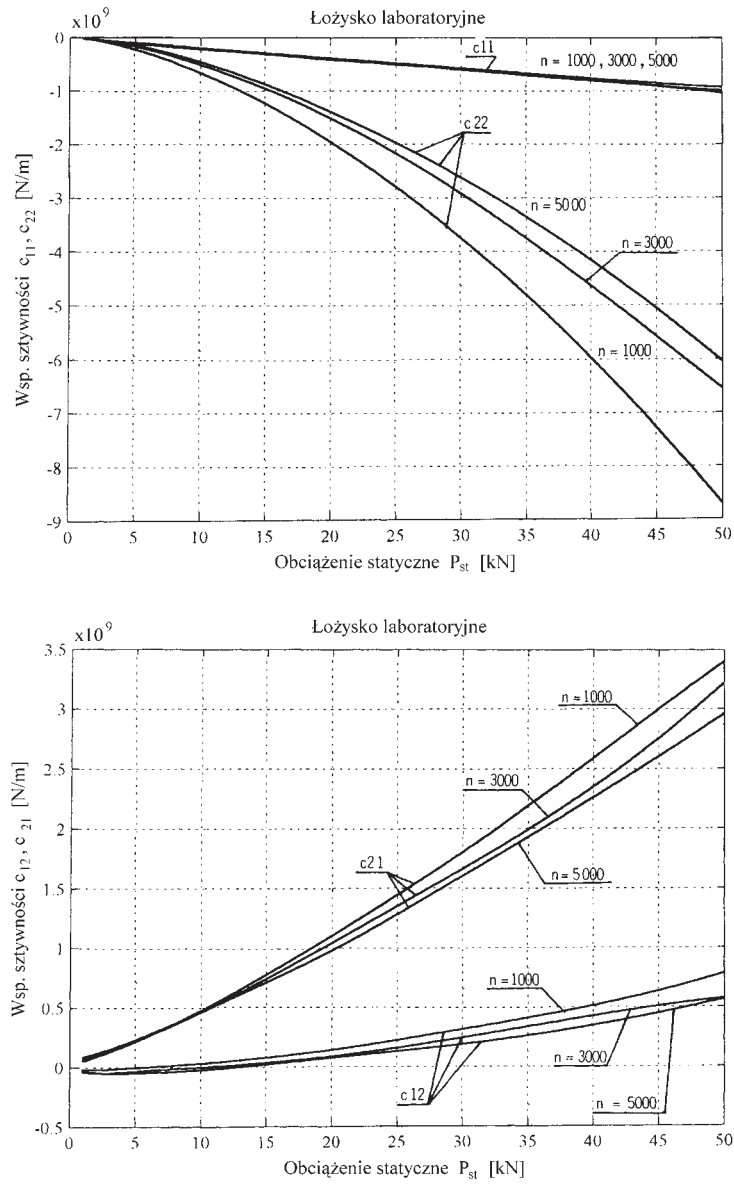




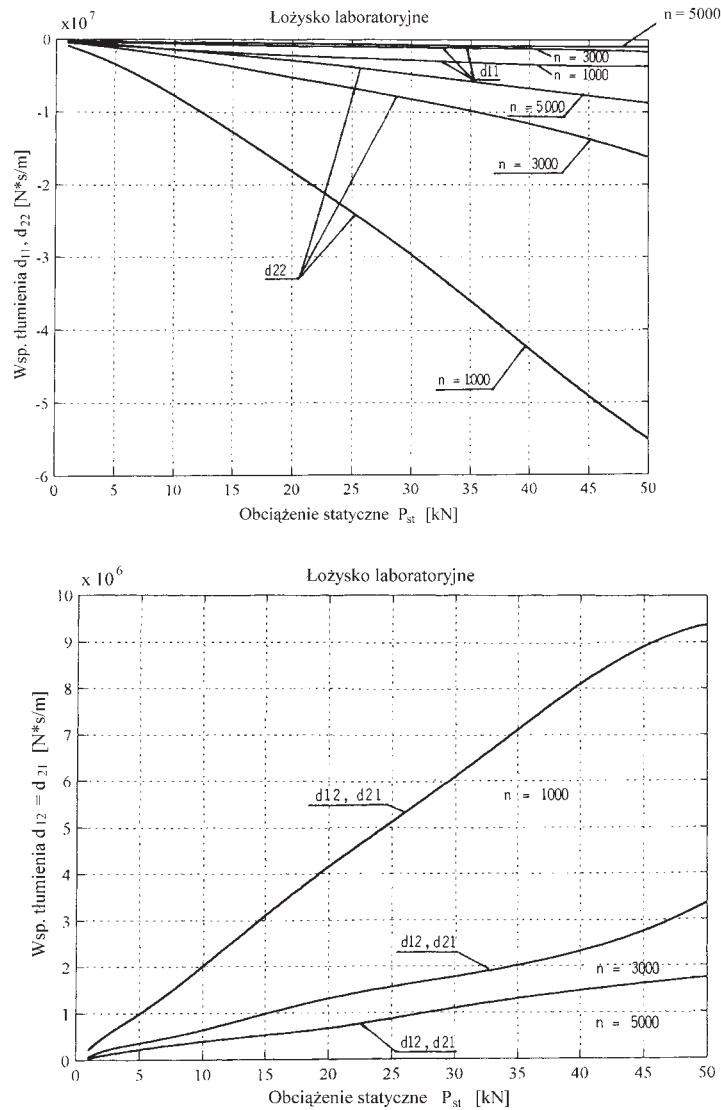
Rys. 9.2. Charakterystyki statyczne łożyska laboratoryjnego. Przebiegi mocy tarcia  $g_m$  i zapotrzebowania oleju  $q_c$  w funkcji obciążenia statycznego  $P_{st}$



Rys. 9.3. Charakterystyki statyczne łożyska laboratoryjnego. Przebiegi maksymalnej temperatury  $(t_p)_{max}$  i minimalnej grubości szczeliny  $h_{min}$  w funkcji obciążenia statycznego



Rys. 9.4. Charakterystyki dynamiczne łożyska laboratoryjnego. Przebiegi współczynników sztywności filmu olejowego: głównych –  $c_{11}, c_{22}$  oraz „skosnych” –  $c_{12}, c_{21}$  w funkcji obciążenia statycznego  $P_{st}$



Rys. 9.5. Charakterystyki dynamiczne łożyska laboratoryjnego. Przebiegi współczynników tłumienia filmu olejowego: głównych –  $d_{11}, d_{22}$  oraz „skosnych” –  $d_{12}, d_{21}$  w funkcji obciążenia statycznego  $P_{st}$

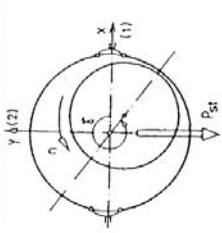
P <sub>st</sub> [kN]		P <sub>śr</sub> [Mpa]		n [obr/min]		ε [-]		γ [stop]		g <sub>m</sub> [kW]		q <sub>c</sub> [m <sup>3</sup> /s]		(t <sub>p</sub> ) <sub>max</sub> [°C]		t <sub>wyl</sub> [°C]		P <sub>max</sub> [N/m <sup>2</sup> ]		h <sub>min</sub> [m]		DIADEF	
																							
<b>ŁOŻYSKO LABORATORYJNE</b> <b>Charakterystyki statyczne</b>																							
1	0.2	1000	0.3044	336.26	0.2192	0.9051×10 <sup>-5</sup>	40.37	37.07	0.4098×10 <sup>+6</sup>	0.6286×10 <sup>-4</sup>													
		3000	0.2034	346.37	1.1360	0.1561×10 <sup>-4</sup>	56.42	47.80	0.3906×10 <sup>+6</sup>	0.7197×10 <sup>-4</sup>													
		5000	0.1817	348.89	2.3410	0.2021×10 <sup>-4</sup>	66.63	54.06	0.3929×10 <sup>+6</sup>	0.7393×10 <sup>-4</sup>													
5	1	1000	0.6522	313.13	0.2983	0.1418×10 <sup>-4</sup>	41.32	36.32	0.2870×10 <sup>+7</sup>	0.3144×10 <sup>-4</sup>													
		3000	0.5503	322.99	1.3810	0.3078×10 <sup>-4</sup>	61.91	45.31	0.2497×10 <sup>+7</sup>	0.4063×10 <sup>-4</sup>													
		5000	0.5063	327.58	2.7350	0.4449×10 <sup>-4</sup>	72.91	50.41	0.2369×10 <sup>+7</sup>	0.4461×10 <sup>-4</sup>													
10	2	1000	0.7616	305.00	0.3717	0.1503×10 <sup>-4</sup>	41.51	36.20	0.6715×10 <sup>+7</sup>	0.2155×10 <sup>-4</sup>													
		3000	0.6897	312.95	1.6590	0.3469×10 <sup>-4</sup>	65.65	45.28	0.5769×10 <sup>+7</sup>	0.2805×10 <sup>-4</sup>													
		5000	0.6528	315.92	3.1680	0.5164×10 <sup>-4</sup>	80.63	50.64	0.5334×10 <sup>+7</sup>	0.3137×10 <sup>-4</sup>													
20	4	1000	0.8427	298.42	0.4771	0.1535×10 <sup>-4</sup>	41.66	36.15	0.1597×10 <sup>+8</sup>	0.1425×10 <sup>-4</sup>													
		3000	0.7939	304.61	2.1110	0.3670×10 <sup>-4</sup>	68.22	45.35	0.1352×10 <sup>+8</sup>	0.1862×10 <sup>-4</sup>													
		5000	0.7694	306.93	3.8990	0.5575×10 <sup>-4</sup>	87.71	51.17	0.1289×10 <sup>+8</sup>	0.2085×10 <sup>-4</sup>													
50	10	1000	0.9145	291.42	0.6823	0.1535×10 <sup>-4</sup>	41.93	36.21	0.5027×10 <sup>+8</sup>	0.7748×10 <sup>-5</sup>													
		3000	0.8870	295.80	3.0190	0.3798×10 <sup>-4</sup>	70.15	45.55	0.4338×10 <sup>+8</sup>	0.1022×10 <sup>-4</sup>													
		5000	0.8766	297.71	5.5440	0.5855×10 <sup>-4</sup>	94.48	51.75	0.4081×10 <sup>+8</sup>	0.1117×10 <sup>-4</sup>													

Tabela 9.1. Charakterystyki statyczne łożyska laboratoryjnego : ε - mimośrodkowość względna, γ - kąt linii środków, g<sub>m</sub> - moc tarcia, q<sub>c</sub> - zapotrzebowanie oleju, (t<sub>p</sub>)<sub>max</sub> - maksymalna temperatura na powierzchni wewnętrznej panwi, t<sub>wyl</sub> - średnia temperatura oleju wylotowego, P<sub>max</sub> - maksymalne ciśnienie w filmie smarnym, h<sub>min</sub> - minimalna grubość szczeliny smarnej





## 9.2 Łożysko turbinowe

Szkic konstrukcyjny łożyska przedstawia rys. 9.6. Łożyska tego typu stosowane są w krajowych blokach energetycznych o mocy 200 MW. W omawianym przypadku, stosując numerację łożysk przyjętą w turbinie 13K215, jest to łożysko nośne nr 5 – patrz rozdział 3.3.2. Łożyska turbinowe dużej mocy z reguły są łożyskami z luzem soczewkowym i dwiema kieszeniami smarnymi w płaszczyźnie podziału. W zależności od przemieszczeń panwi w stojakach, spowodowanych odkształceniem termicznym całej konstrukcji podpierającej lub warunkami montażu „zimnego”, łożysko to przenosić może obciążenie statyczne w granicach od kilkunastu do  $\sim 30 \div 40$  ton. Nawet tak duże obciążenia bezwzględne odpowiadają umiarkowanym wartościom średnich nacisków jednostkowych  $p_{gr} = 1,8 \div 3$  MPa, co jest typowe dla łożysk wielkogabarytowych.

Rozpatrzmy dwie wersje konstrukcyjne tego łożyska, a mianowicie:

- wersja z luzem soczewkowym normalnym, nazwijmy ją wersją A;
- wersja z luzem soczewkowym powiększonym i mniejszą szerokością panwi, nazwijmy ją wersją B.

Parametry geometryczne są następujące:

### Wersja A

- luz promieniowy poziomy (maksymalny):  $(\Delta R)_{max} = 7,6 \cdot 10^{-4} \text{m}$ ,
- stosunek luzu pionowego do poziomego:  $C_{VH} = 0,3322$ ,  
(stopień „soczewkowatości” – 66,8 %),
- stosunek szerokości panwi do średnicy czopa:  $L/D = 0,795$ ;

### Wersja B

- luz promieniowy poziomy (maksymalny):  $(\Delta R)_{max} = 9,5 \cdot 10^{-4} \text{m}$ ,
- stosunek luzu pionowego do poziomego:  $C_{VH} = 0,526$ ,
- (stopień „soczewkowatości” – 47%),
- stosunek szerokości panwi do średnicy czopa:  $L/D = 0,644$ .

Pozostałe parametry geometryczne wspólne dla obu wersji:

- średnica czopa:  $D = 0,45 \text{ m}$ ,
- średnica zewnętrzna panwi (obliczeniowa)  $D_z = 0,67 \text{ m}$ ,
- kąty określające usytuowanie kieszeni smarnych  $\Psi_1, \Psi_2, \Psi_3, \Psi_4$ :  $15^\circ \text{C}, 165^\circ \text{C}, 195^\circ \text{C}, 345^\circ \text{C}$ .

Do obliczeń przyjęto olej turbinowy TU-32 o lepkości  $\mu_o = 0,02739 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  w temperaturze zasilania  $t_o = 40^\circ$ . Przyjęto ponadto temperaturę czopa  $t_{cz} = 50^\circ \text{C}$  (z pomiarów), temperaturę otoczenia  $t_z = 40^\circ \text{C}$  i ciśnienie zasilania  $p_o = 0,1 \text{ MPa}$ . Wartości współczynników materiałowych  $K_p, K_{ol}, \alpha_{ot}, c, \rho$  przyjęto identyczne jak w przykładzie łożyska laboratoryjnego.

Obliczenia przeprowadzono (podobnie jak poprzednio) przy założeniu, że na łożysko działa statyczna, pionowa siła obciążająca  $P_{st}$  przyjmująca wartości z przedziału  $0 \div 400 \text{ kN}$ . Przyjęto stałą prędkość obrotową czopa  $n = 3000 \text{ obr/min}$ .

Wyniki obliczeń charakterystyk statycznych i dynamicznych za pomocą programu DIADEF przedstawiają tabele 9.3 i 9.4 oraz rys. 9.7÷9.10. Powyższe wyniki pozwalają oszacować wpływ obu wersji konstrukcyjnych A i B na przebiegi podstawowych charakterystyk łożyska. Można oczekiwać, iż powiększenie luzu i zmniejszenie szerokości panwi (wersja B) spowodują pracę łożyska przy większych mimośrodowościach względnych  $\varepsilon$ , co z jednej strony powinno poprawić własności dynamiczne a z drugiej strony może zmniejszyć zapas nośności statycznej (mniejsze  $h_{min}$ ).

Uzyskane wyniki potwierdzają powyższe oczekiwania, chociaż wnioskowanie o własnościach dynamicznych łożyska na podstawie przebiegu samych współczynników sztywności i tłumienia filmu olejowego może być utrudnione, zwłaszcza, że ich tendencja zmian w zależności od obciążenia jest różna (rys. 9.9).

Aby interpretację własności dynamicznych obu wersji konstrukcyjnych łożyska uczynić bardziej jednoznaczną, przeprowadzono obliczenia drgań wymuszonych prostego układu składającego się z dwóch identycznych łożysk (właśnie tych analizowanych) i jednomasowego symetrycznego i sztywnego wirnika – patrz: rozdział 2.3. Założono, że obciążenia statyczne łożysk  $P_{st}$  (w potrzebnym zakresie) wynikają z masy wirnika. Założono też, iż na układ działa siła synchroniczna wymuszająca  $q = r_B \cdot P_{st}$  przy czym  $r_B$  przyjęto równe 0,001 (szczegółowy opis parametrów – patrz załączony do monografii dysk CD). Założenie sztywnego wirnika pozwala nam uniezależnić wyniki od np. jego podatności i tym samym skoncentrować naszą uwagę wyłącznie na własnościach łożyska. Obliczenia przeprowadzono według algorytmu opisanego w rozdziale 2.3 wykorzystując obliczone współczynniki sztywności i tłumienia filmu olejowego.

Przebiegi amplitudy drgań (półosi dużej elipsy), w zależności od obciążenia dla obu wersji A i B przedstawia rys. 9.11.

Widać teraz wyraźnie, iż amplituda drgań wymuszonych dla wersji B z powiększonym luzem jest mniejsza w całym zakresie obciążenia, co oznacza poprawę własności dynamicznych w stosunku do wersji A. Poprawa ta nie jest jednakże zbyt duża, zwłaszcza jeśli uwzględni się fakt, iż została ona uzyskana kosztem pogorszenia zapasu nośności hydrodynamicznej (zmniejszenie wartości  $h_{min}$  przy tym samym obciążeniu), zwiększenia zapotrzebowania oleju  $q_c$  i maksymalnej temperatury panwi  $(t_p)_{max}$  (dla średnich i większych obciążeń). Z drugiej strony wersja B zapewnia pracę łożyska przy zdecydowanie mniejszej mocy tarcia  $g_m$ , a ponadto można oczekiwać, iż będzie mniej wrażliwa na przemieszczenia panwi spowodowane odkształceniami cieplnymi konstrukcji podpierającej turbiny. Jest więc rzeczą konstruktora podjęcie decyzji, jaki wariant w konkretnej sytuacji może być optymalny.



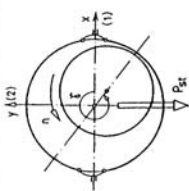
		<b>ŁOŻYSKO TURBINOWE</b> <b>Wersja A</b> <b>Charakterystyki statyczne</b>						<b>DIADF</b>			
$P_{st}$ [kN]	$P_{sr}$ [Mpa]	$e$ [mm]	$\gamma$ [stop]	$g_m$ [kW]	$q_c$ [m <sup>3</sup> /s]	$t_{wyl}$ [°C]	$p_{max}$ [N/m <sup>2</sup> ]	$h_{min}$ [m]			
10	0.062	0.0353	358.64	120.3	$0.5684 \times 10^{-2}$	68.27	$46.33$	$0.1622 \times 10^7$	$0.2511 \times 10^{-3}$		
50	0.31	0.1597	357.39	124.2	$0.6122 \times 10^{-2}$	69.77	46.09	$0.2003 \times 10^7$	$0.2329 \times 10^{-3}$		
100	0.62	0.2634	355.13	132.6	$0.6880 \times 10^{-2}$	73.53	45.79	$0.2741 \times 10^7$	$0.1988 \times 10^{-3}$		
180	1.12	0.3481	351.34	146.4	$0.7704 \times 10^{-2}$	80.47	45.69	$0.4286 \times 10^7$	$0.1534 \times 10^{-3}$		
300	1.86	0.3947	345.95	164.9	$0.8127 \times 10^{-2}$	90.23	45.77	$0.7129 \times 10^7$	$0.1111 \times 10^{-3}$		
400	2.48	0.4050	341.66	179.2	$0.8119 \times 10^{-2}$	97.20	45.93	$0.9796 \times 10^7$	$0.8872 \times 10^{-4}$		
		<b>ŁOŻYSKO TURBINOWE</b> <b>Wersja B</b> <b>Charakterystyki statyczne</b>						<b>DIADF</b>			
$P_{st}$ [kN]	$P_{sr}$ [Mpa]	$e$ [mm]	$\gamma$ [stop]	$g_m$ [kW]	$q_c$ [m <sup>3</sup> /s]	$t_{wyl}$ [°C]	$p_{max}$ [N/m <sup>2</sup> ]	$h_{min}$ [m]			
10	0.076	0.1860	367.63	57.09	$0.8492 \times 10^{-2}$	53.85	$43.67$	$0.3764 \times 10^6$	$0.4450 \times 10^{-3}$		
50	0.38	0.4360	352.45	67.75	$0.1260 \times 10^{-1}$	58.63	43.38	$0.1143 \times 10^7$	$0.2994 \times 10^{-3}$		
100	0.77	0.4940	338.41	79.80	$0.1312 \times 10^{-1}$	70.20	43.26	$0.2617 \times 10^7$	$0.1894 \times 10^{-3}$		
180	1.38	0.5160	325.97	98.31	$0.1249 \times 10^{-1}$	84.26	43.35	$0.5432 \times 10^7$	$0.1193 \times 10^{-3}$		
300	2.3	0.5275	317.09	122.1	$0.1250 \times 10^{-1}$	98.41	43.73	$0.1031 \times 10^8$	$0.7756 \times 10^{-4}$		
400	3.06	0.5350	313.24	141.0	$0.1228 \times 10^{-1}$	108.10	44.17	$0.1528 \times 10^8$	$0.5865 \times 10^{-4}$		

Tabela 9.3. Charakterystyki statyczne łożyska turbinowego. Oznaczenia symboli jak w tabeli 1.  
 Wersja A - luz normalny  
 Wersja B - luz powiększony

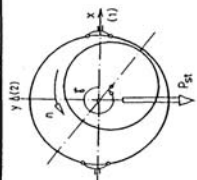
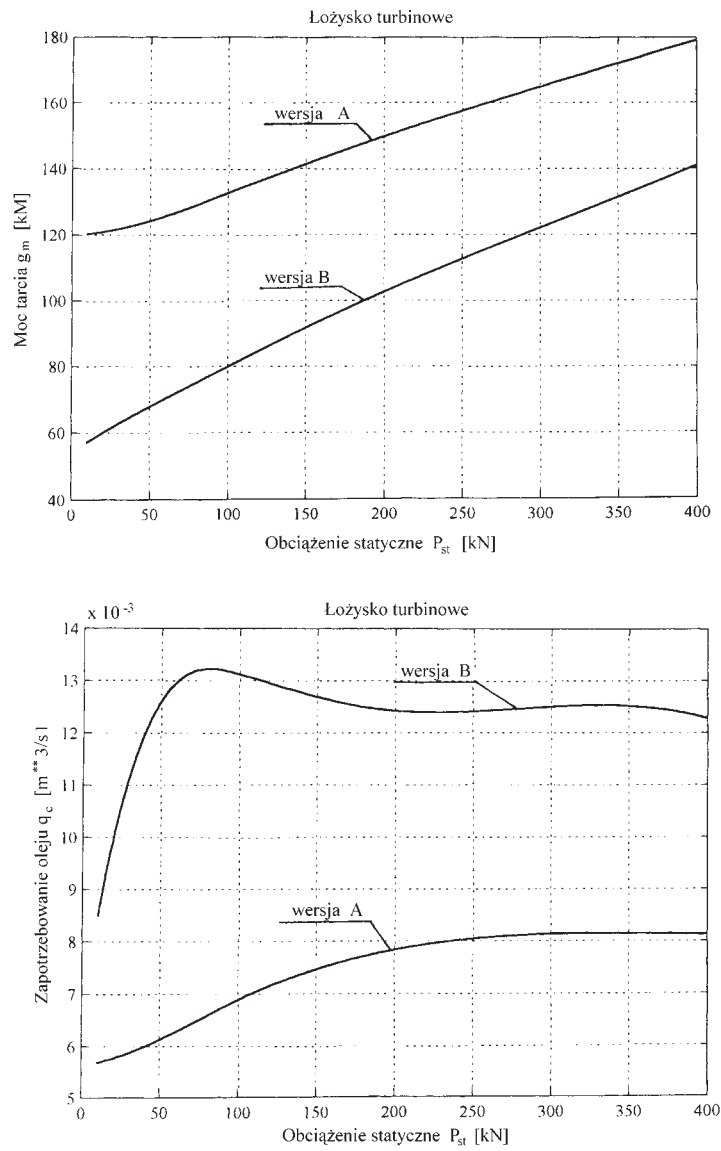
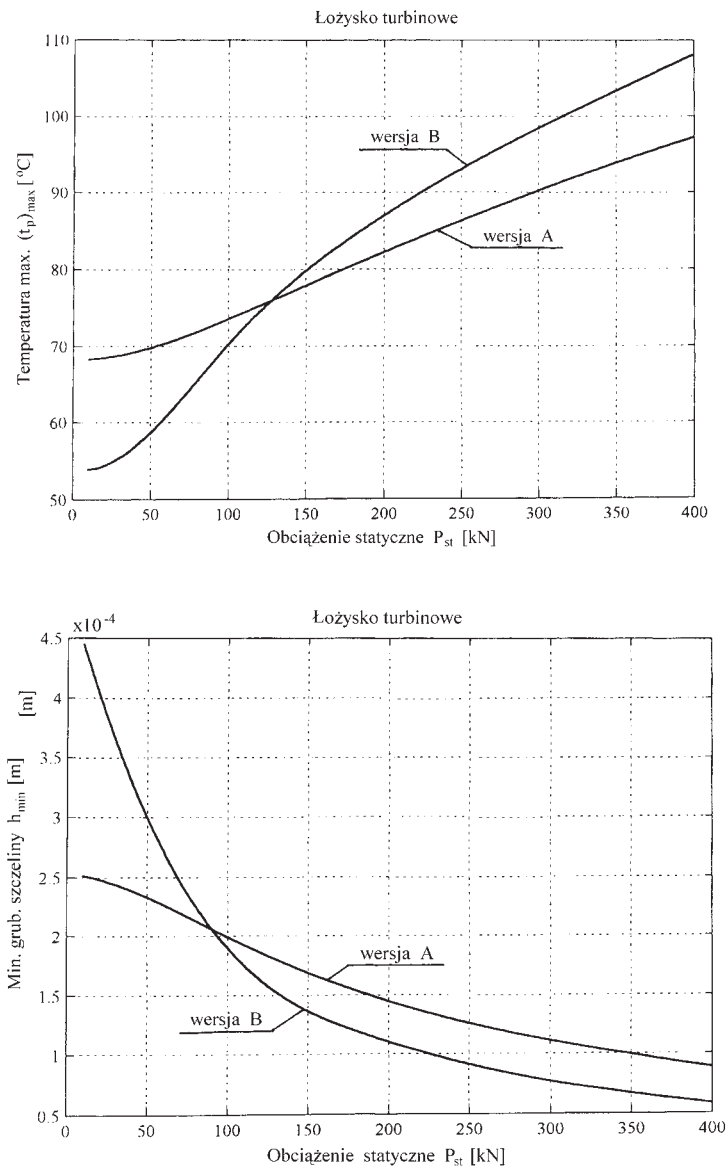
		<b>ŁOŻYSKO TURBINOWE</b> <b>Wersja A</b> <b>Charakterystyki dynamiczne</b>					<b>DIADDEF</b>				
$P_{st}$ [kN]	$P_{sr}$ [Mpa]	$C_{11}$ [N/m]	$C_{21}$ [N/m]	$C_{12}$ [N/m]	$C_{22}$ [N/m]	$d_{11}$ [N.s/m]	$d_{21}$ [N.s/m]	$d_{12}$ [N.s/m]	$d_{22}$ [N.s/m]		
10	0.062	$-0.470 \times 10^+8$	$0.298 \times 10^+9$	$-0.575 \times 10^+9$	$-0.113 \times 10^+10$	$-0.101 \times 10^+7$	$-0.174 \times 10^+7$	$-0.174 \times 10^+7$	$-0.484 \times 10^+7$		
50	0.31	$-0.877 \times 10^+8$	$0.351 \times 10^+9$	$-0.583 \times 10^+9$	$-0.124 \times 10^+10$	$-0.112 \times 10^+7$	$-0.159 \times 10^+7$	$-0.159 \times 10^+7$	$-0.514 \times 10^+7$		
100	0.62	$-0.174 \times 10^+9$	$0.529 \times 10^+9$	$-0.575 \times 10^+9$	$-0.153 \times 10^+10$	$-0.133 \times 10^+7$	$-0.125 \times 10^+7$	$-0.125 \times 10^+7$	$-0.607 \times 10^+7$		
180	1.12	$-0.340 \times 10^+9$	$0.946 \times 10^+9$	$-0.467 \times 10^+9$	$-0.225 \times 10^+10$	$-0.157 \times 10^+7$	$-0.443 \times 10^+6$	$-0.437 \times 10^+6$	$-0.791 \times 10^+7$		
300	1.86	$-0.602 \times 10^+9$	$0.185 \times 10^+10$	$-0.174 \times 10^+9$	$-0.391 \times 10^+10$	$-0.183 \times 10^+7$	$0.796 \times 10^+6$	$0.808 \times 10^+6$	$-0.117 \times 10^+8$		
400	2.48	$-0.818 \times 10^+9$	$0.268 \times 10^+10$	$0.126 \times 10^+9$	$-0.586 \times 10^+10$	$-0.192 \times 10^+7$	$0.165 \times 10^+7$	$0.165 \times 10^+7$	$-0.152 \times 10^+8$		
<b>ŁOŻYSKO TURBINOWE</b> <b>Wersja B</b> <b>Charakterystyki dynamiczne</b>											
$P_{st}$ [kN]	$P_{sr}$ [Mpa]	$C_{11}$ [N/m]	$C_{21}$ [N/m]	$C_{12}$ [N/m]	$C_{22}$ [N/m]	$d_{11}$ [N.s/m]	$d_{21}$ [N.s/m]	$d_{12}$ [N.s/m]	$d_{22}$ [N.s/m]		
10	0.076	$-0.485 \times 10^+5$	$0.748 \times 10^+8$	$-0.769 \times 10^+8$	$-0.126 \times 10^+9$	$-0.239 \times 10^+6$	$-0.240 \times 10^+6$	$-0.240 \times 10^+6$	$-0.767 \times 10^+6$		
50	0.38	$-0.750 \times 10^+8$	$0.201 \times 10^+9$	$-0.380 \times 10^+8$	$-0.259 \times 10^+9$	$-0.368 \times 10^+6$	$0.174 \times 10^+6$	$0.171 \times 10^+6$	$-0.127 \times 10^+7$		
100	0.77	$-0.175 \times 10^+9$	$0.470 \times 10^+9$	$0.432 \times 10^+8$	$-0.698 \times 10^+9$	$-0.434 \times 10^+6$	$0.585 \times 10^+6$	$0.582 \times 10^+6$	$-0.253 \times 10^+7$		
180	1.38	$-0.335 \times 10^+9$	$0.102 \times 10^+10$	$0.197 \times 10^+9$	$-0.192 \times 10^+10$	$-0.556 \times 10^+6$	$0.105 \times 10^+7$	$0.105 \times 10^+7$	$-0.510 \times 10^+7$		
300	2.3	$-0.596 \times 10^+9$	$0.205 \times 10^+10$	$0.533 \times 10^+9$	$-0.471 \times 10^+10$	$-0.753 \times 10^+6$	$0.174 \times 10^+7$	$0.174 \times 10^+7$	$-0.947 \times 10^+7$		
400	3.06	$-0.879 \times 10^+9$	$0.318 \times 10^+10$	$0.978 \times 10^+9$	$-0.801 \times 10^+10$	$-0.980 \times 10^+6$	$0.253 \times 10^+7$	$0.253 \times 10^+7$	$-0.138 \times 10^+8$		
<b>ŁOŻYSKO TURBINOWE</b> <b>Wersja A</b> <b>Charakterystyki dynamiczne</b>											
D = 0.45 m $C_{VH} = 0.3322$ L/D = 0.795 $(\Delta R)_{max} = 7.6 \times 10^{-4} m$ n = 3000 obr/min Olej turbinowy TU - 32											
<b>DIADDEF</b>											
D = 0.45 m $C_{VH} = 0.526$ L/D = 0.644 $(\Delta R)_{max} = 9.5 \times 10^{-4} m$ n = 3000 obr/min Olej turbinowy TU - 32											
<b>DIADDEF</b>											

Tabela 9. 4. Charakterystyki dynamiczne łożyska turbinowego.  
 Wersja A - luz normalny, wersja B - luz powiększony.

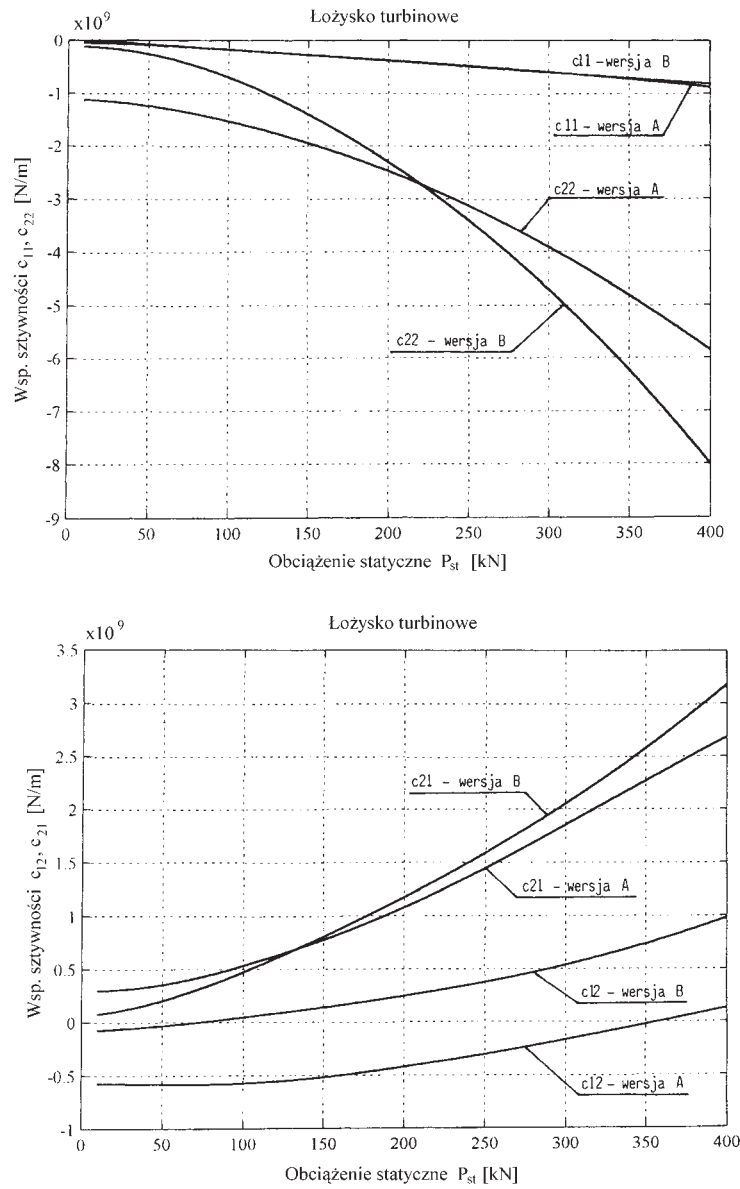


Rys. 9.7. Charakterystyki statyczne łożyska turbinowego (wersje A i B). Przebiegi mocy tarcia  $g_m$  i zapotrzebowania oleju  $q_c$  w funkcji obciążenia statycznego  $P_{st}$

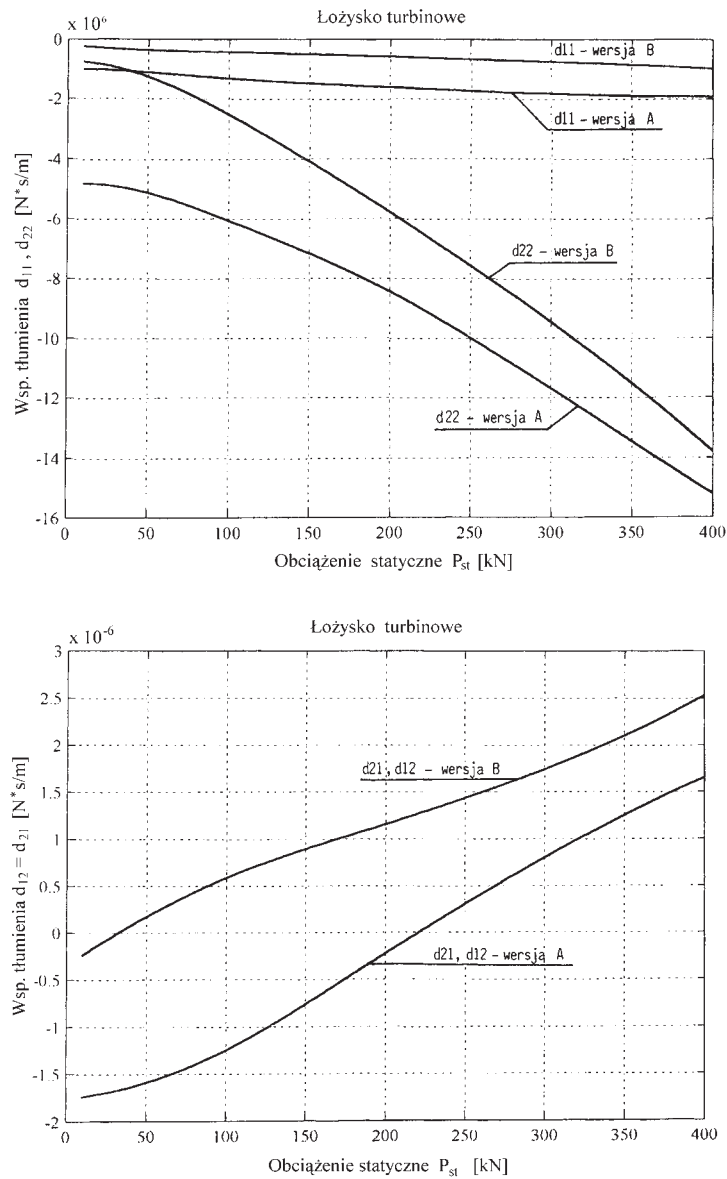


Rys. 9.8. Charakterystyki statyczne łożyska turbinowego (wersje A i B). Przebiegi maksymalnej temperatury  $(t_p)_{max}$  i minimalnej grubości szczeliny  $h_{min}$  w funkcji obciążenia statycznego  $P_{st}$

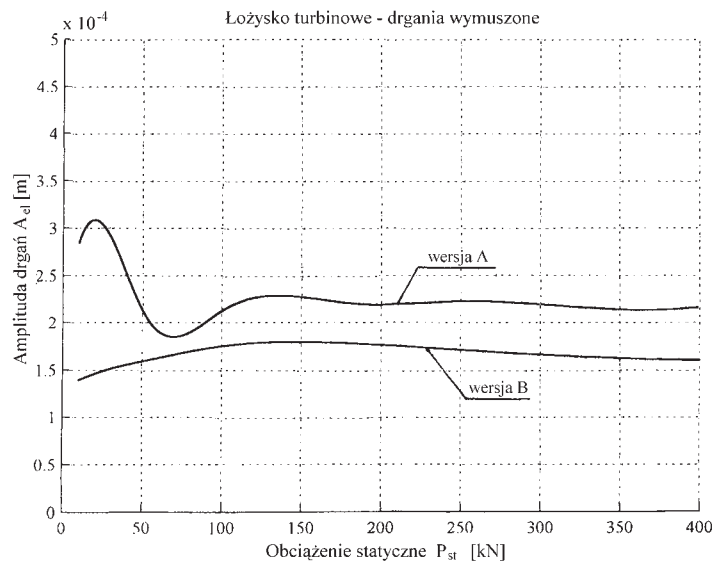




Rys. 9.9. Charakterystyki dynamiczne łożyska turbinowego (wersje A i B). Przebiegi współczynników sztywności filmu olejowego: głównych –  $c_{11}$ ,  $c_{22}$  i „skośnych” –  $c_{12}$ ,  $c_{21}$



Rys. 9.10. Charakterystyki dynamiczne łożyska turbinowego (wersje A i B). Przebiegi współczynników tłumienia filmu olejowego: głównych –  $d_{11}, d_{22}$  oraz „skośnych” –  $d_{12}, d_{21}$



Rys. 9.11. Przebieg amplitudy drgań wymuszonych (półosi dużej elipsy) łożyska turbinowego pracującego w prostym układzie wirnik-łożyska (wirnik symetryczny, jednomasowy, sztywny). Wymuszenie synchroniczne równe 0,001 wartości obciążenia  $P_{st}$