

WYZNACZANIE OBSZARÓW AKCEPTACJI POŁOŻEŃ PANWI ŁOŻYSKOWYCH DUŻEJ MASZyny ENERGETYCZNEJ Z UWAGI NA JEJ WŁASNOŚCI DYNAMICZNE

Jan KICIŃSKI, Anna PRONSKA

Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Zakład Dynamiki Wirników i Łożysk Ślizgowych
Gdańsk, ul. Fiszera 14, fax (58) 341-61-44, e-mail kic@imp.gda.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiamy wyniki badań symulacyjnych wpływu przemieszczeń panwi łożyskowych dużej maszyny energetycznej na jej własności dynamiczne. Badania takie pozwoliły opracować „mapy akceptacji” położenia panwi zarówno ze względu na dopuszczalne naciski jednostkowe w łożysku, graniczne wartości drgań panwi, jak i przekroczenie granicy stabilności.

Słowa kluczowe: badania symulacyjne, drgania, łożysko, maszyna energetyczna

DETERMINE OF ACCEPTANCE DOMAINS OF BEARING BUSHES OF LARGE POWER TURBO-SET ON ACCOUNT OF MACHINE DYNAMICS PROPERTIES

Summary

The article presents results of simulation research, how the bearing bush displacement can influence the dynamics properties of large power turbo-set. Such investigations allow us to construct "acceptance maps" of bearings position on account of either acceptable bearing unit pressure, bearing bush vibration amplitudes or stability threshold exceed.

1. WSTĘP

Nadmierne lub nieoczekiwane przemieszczenia podpór łożyskowych dużej maszyny energetycznej mogą być spowodowane zarówno odkształceniami termicznymi tych podpór jak i zmianami sztywności kinetostatycznej konstrukcji podpierającej w miejscach posadowienia wirnika. W obu przypadkach skutek jest ten sam: panwie łożyskowe przemieszczają się w stosunku do określonej linii geodezyjnej wirnika powodując istotne, a często wręcz jakościowe zmiany w obrazie drgań obiektu. Znajomość dopuszczalnych zakresów tego rodzaju przemieszczeń panwi jest więc zagadnieniem kluczowym w eksploatacji turbozespołów, a w szerszym kontekście, w diagnostyce tego rodzaju obiektów.

Jako kryterium oceny dopuszczalnego zakresu przemieszczeń panwi przyjmuje się na ogół maksymalne, dopuszczalne naciski jednostkowe w łożysku i graniczne wartości drgań względnych czop-panew i drgań bezwzględnych panwi łożyskowych. Użytecznym kryterium może też być granica stabilności całego układu lub tylko wybranych jego elementów.

Stosując metodologię badań właściwą dla diagnostyki według modelu, w oparciu o odpowiednio zweryfikowany model teoretyczny analizowanego obiektu możemy zbudować, drogą analizy komputerowej, tzw. „mapy akceptacji” położenia panwi i „mapy wrażliwości” układu na utratę stabilności. Mapy te będą tym bardziej dokładne, im lepiej uda nam się „dostroić” model teoretyczny do konkretnego obiektu rzeczywistego. Oczywiście mapy te stanowią jedną z możliwych postaci relacji diagnostycznych niezbędnych dla oceny stanu obiektu w trakcie eksploatacji

(diagnostyki) lub trenowania układów adaptacyjnych.

Przedstawimy próbę zbudowania tego rodzaju map (relacji diagnostycznych) w oparciu o programy KINWIN i NLDW [1] i wyniki badań eksperymentalnych na obiekcie rzeczywistym [2,3]. Pomiary eksperymentalne służyły tu do weryfikacji i właściwego „dostrojenia” modelu i programów komputerowych.

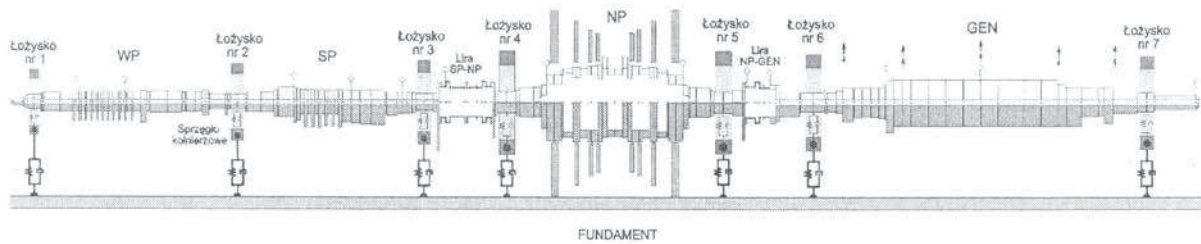
2. OBIEKT BADAŃ.

WYNIKI DOSTROJENIA MODELU

Przedmiotem analizy będzie turbozespół 13K215 o mocy 200 MW. Dyskretyzację linii wirników tego turbozespołu MES przedstawia rys.1.

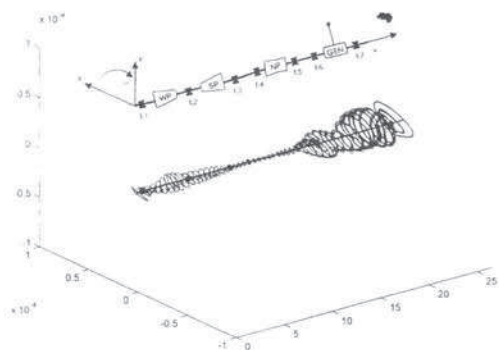
Jest to typowa jednostka energetyczna w polskich elektrowniach. W wyniku prowadzonych badań eksperymentalnych na obiekcie rzeczywistym w jednej z elektrowni uzyskano dane niezbędne do dostrojenia modelu teoretycznego maszyny. Zarejestrowane dane eksploatacyjne stanowiły wzorzec dla wyników obliczeń symulacyjnych.

Przyjęty został zestaw danych eksploatacyjnych (pozyskanych od dysponenta obiektu) i konstrukcyjnych (pozyskanych od producenta), który można było uznać za wzorcowy. Tak przyjęte zestawy danych eksploatacyjnych i konstrukcyjnych stanowiły z kolei dane wejściowe do programów komputerowych symulujących stan dynamiczny obiektu. W efekcie uzyskano „bazowy” obraz drgań linii wirników przedstawiony na rys.2, który można przyjąć jako wzorzec odniesienia dla dalszych badań.



Rys.1. Szkic linii wirników turbozespołu 13K215

Ze względu na fakt, że ugięcia kinetostaticzne (zarówno grawitacyjne jak i eksploatacyjne) w dużej maszynie energetycznej są zdecydowanie większe niż ugięcia dynamiczne linii wirników spowodowane wymuszeniami zewnętrznymi zestawienie ich w tej samej skali powoduje, iż trajektorie drgań wymuszonych są praktycznie niewidoczne. Aby je uwidocznić, na rys.2: -trajektorie drgań wymuszonych zostały powiększone 100 razy w stosunku do skali przemieszczeń kinetostaticznych; -ugięcia kinetostaticzne i przemieszczenia termiczne podpór sprowadzono do zera, co oznacza, iż linie geodezyjna i kinetostaticzna pokrywają się. Teraz trajektorie przemieszczeń dynamicznych dla poszczególnych części linii wirników wywołane wymuszeniami zewnętrznymi są doskonale widoczne.



Rys.2. Trajektorie przemieszczeń dynamicznych linii wirników dla przypadku bazowego. Grawitacyjne ugięcia kinetostaticzne wirnika i przemieszczenia termiczne podpór zostały pominięte (jednostki na osiach współrzędnych w [m]).

3. ZAKRES BADAŃ. WARTOŚCI KRYTERIALNE.

Newralgicznym z punktu widzenia własności dynamicznych obiektu jest zespół łożysk nr 5 i nr 6 łączących generator z częścią NP turbiny i połączonych elastycznym sprzęgłem typu „lira”.

Z tego też właśnie względu wyznaczanie obszarów akceptacji położenia panwi ograniczono tylko do łożysk nr 5 i nr 6. Możliwa ilość kombinacji wzajemnych przemieszczeń panwi nawet dla dwóch łożysk jest jeszcze zbyt duża aby przeprowadzić praktyczne badania symulacyjne. Konieczne są zatem dalsze ograniczenia.

Założono, że panew łożyska nr 6 będzie przemieszczana w kierunku pionowym i poziomym, w stosunku do swego położenia bazowego, przy nie zmienionym położeniu panwi nr 5. I odwrotnie – zmiany położenia panwi nr 5 będą realizowane przy stałym położeniu panwi nr 6.

Powyższa metodologia pozwoli nam na zbudowanie uproszczonych map obszarów akceptacji położenia panwi zespołu łożyskowego nr 5 i 6. Mapy te, mimo swego uproszczenia, dostarczyć mogą wielu interesujących informacji na temat wrażliwości tak dużego obiektu energetycznego na defekty typu: ponadnormatywne przemieszczenia termiczne podpór łożyskowych lub gwałtowne spadki sztywności kinetostaticznej konstrukcji podpierającej.

Przyjęte zostały następujące wartości kryterialne:

I. Dopuszczalne naciski jednostkowe w łożyskach.

Zgodnie z zaleceniami producenta dopuszczalne wartości nacisków jednostkowych w łożyskach ślizgowych dla tego typu obiektów energetycznych wynoszą:

$$p_{dop} = 2 \text{ MPa.}$$

Jako wartość graniczną (dla obciążeń chwilowych) przyjęto:

$$p_{gr} = 4 \text{ MPa.}$$

Biorąc pod uwagę geometrię łożysk ślizgowych nr 5 i nr 6 oznacza to następujące wartości obciążenia bezwzględne w [kN]:

	Ł. 5	Ł. 6
Obciążenie dopuszczalne poziome $(P_x)_{dop}$ [kN]	209	236
Obciążenie dopuszczalne pionowe $(P_y)_{dop}$ [kN]	322	400
Obciążenie graniczne poziome $(P_x)_{gr}$ [kN]	418	472
Obciążenie graniczne pionowe $(P_y)_{gr}$ [kN]	644	800

II. Wartości graniczne drgań względnych i bezwzględnych łożysk.

Zgodnie z normą ISO 7919-2 oraz ISO 10816-2 graniczne wartości przemieszczeń dla drgań względnych wynoszą:

$$A_{ppu} = A_{ppv} = 165 \mu\text{m}$$

natomiast graniczne prędkości RMS dla drgań bezwzględnych:

$$V_x = V_y = 7.5 \text{ mm/s}$$

Przyjęte wartości graniczne są wartościami typowymi zalecanymi przez normy dla tej klasy obiektów. W praktyce jednak przyjęcie wartości granicznych odpowiadających nowoczesnym systemom eksploatacji jest zagadnieniem daleko bardziej złożonym. Ich właściwy dobór stanowi wynik wieloletnich prac naukowych i obserwacji eksploatacyjnych rzeczywistych obiektów [4]. W niniejszej pracy nie będziemy jednakże powyższego problemu bliżej omawiać, ponieważ podane wyżej klasyczne wartości graniczne, z uwagi na przyjęty cel pracy, są wystarczające.

Przyjęty do analizy obiekt, w ściśle ustalonych warunkach pracy uznanych za wzorcowe, charakteryzował się tzw. „gorącą” linią kinetostatyczną, na której przemieszczenia termiczne podpór zostały określone drogą bezpośrednich pomiarów. Interesujące nas łożyska nr 5 i nr 6 w swym położeniu „bazowym” w stosunku do tzw. zerowej linii geodezyjnej były przemieszczone pionowo w górę o wartości:

$$b_{\text{mont}} = 1.1 \text{ [mm]} \quad \text{dla łożyska nr 5}$$

$$b_{\text{mont}} = 2.4 \text{ [mm]} \quad \text{dla łożyska nr 6}$$

Wartości te stanowią będą punkt odniesienia do dalszych badań.

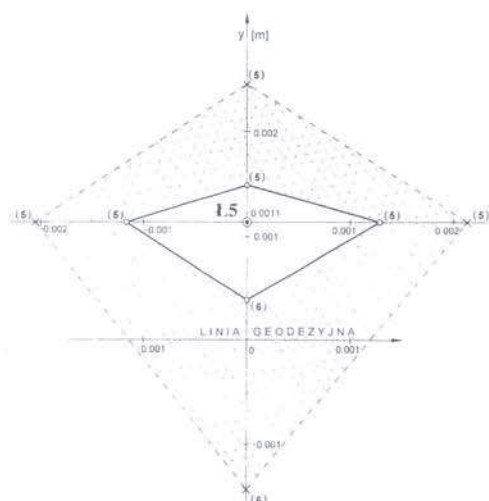
III. Przekroczenie progu stabilnej pracy układu.

Jest to najtrudniejsze do zdefiniowania kryterium. Zgodnie z klasycznymi definicjami cały złożony układ mechaniczny traci stabilność, jeżeli jeden tylko jego podukład przekroczył próg stabilnej pracy. W praktyce jednak sytuacja jest bardziej złożona. Dla przykładu: jedno z łożysk dużej maszyny energetycznej może pracować w warunkach małych drgań olejowych, a więc po przekroczeniu formalnej granicy stabilności, a pomimo to cały układ zachowuje się stabilnie. Co więcej taka sytuacja dość często występuje w przypadku dużych wielopodporowych maszyn energetycznych, a w pewnych sytuacjach jest nawet typowa. Klasyczne definicje progu stabilności stanowiłyby tu kryterium zbyt ostre, nie odpowiadające rzeczywistym zachowaniom tego rodzaju obiektów.

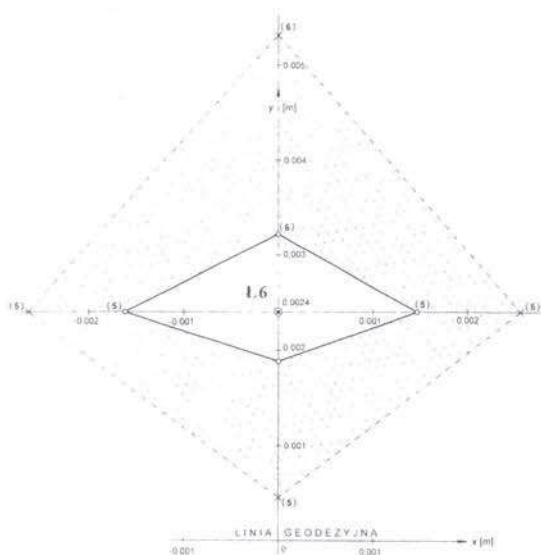
Wprowadźmy zatem definicję „technicznego progu stabilności” w myśl której sytuacja staje się niebezpieczna dopiero wówczas, gdy subharmoniczne „prążki” w strukturze widma drgań (świadczące o przekroczeniu klasycznej granicy stabilności) jednego lub kilku z podukładów stają się dominujące w porównaniu z „prążkami” synchronicznymi 1X lub wyższych harmonicznych. Jeśli „prążki” subharmoniczne mają wielkość śladową, lub są mniejsze od pozostałych, możemy uznać, iż cały układ „poradzi sobie” z niestabilnością pojedynczych elementów i nadal pracować będzie stabilnie. Powyższa definicja ma charakter wyraźnie „techniczny” wywodzący się z obserwacji praktycznych i zapewne nie ma wystarczającego uzasadnienia teoretycznego.

4. OBSZARY AKCEPTOWALNYCH KINETOSTATYCZNYCH POŁOŻEŃ PANWI

Zgodnie z przyjętą metodologią pozyskiwania akceptowalnych położenia panwi łożyskowych, przemieszczamy w kierunku poziomym i pionowym w pierwszej kolejności panew łożyska 5 przy położeniu „bazowym” panwi nr 6, a następnie odwrotnie: w położeniu „bazowym” pozostaje panew nr 5, a przemieszczeniem testowym podlega panew nr 6. Obie panwie przemieszczamy aż do momentu przekroczenia dopuszczalnych nacisków jednostkowych $p_{\text{dop}} = 2 \text{ MPa}$ w którymkolwiek z siedmiu łożysk turbozespołu. Wyniki komputerowej symulacji (obliczeń kinetostatycznych programem KINWIN) przedstawiają rys.3 i rys.4 Na tych rysunkach położenie „bazowe” łożyska (panwi), które następnie przemieszczamy, w stosunku do linii geodezyjnej wirnika oznaczone jest symbolem \odot . Zaznaczono na nich również położenia panwi odpowiadające granicznym naciskom jednostkowym $p_{\text{gr}} = 4 \text{ MPa}$, a więc wartościom dwukrotnie większym niż naciski dopuszczalne. W punktach „narożnych” w nawiasach podane zostały numery panwi, w których przekroczenie nacisków p_{dop} lub p_{gr} nastąpiło. Otrzymaliśmy w ten sposób rysunki w formie charakterystycznych „latawców”, gdzie pole białe oznacza położenia panwi w pełni akceptowalne, a pola wykropkowane położenia w zasadzie niedozwolone. W polu wykropkowanym możliwe są bowiem jedynie położenia chwilowe, wynikające z przejściowych stanów dynamicznych lub ciepłych maszyny.



Rys.3. Obszary w pełni akceptowalnych położenia kinetostaticznego panwi nr 5 (pole ograniczone linią ciągłą) i położenia granicznych (pole wykropkowane ograniczone linią przerywaną) przy „bazowym” położeniu panwi nr 6. Wyniki komputerowej symulacji programem KINWIN.

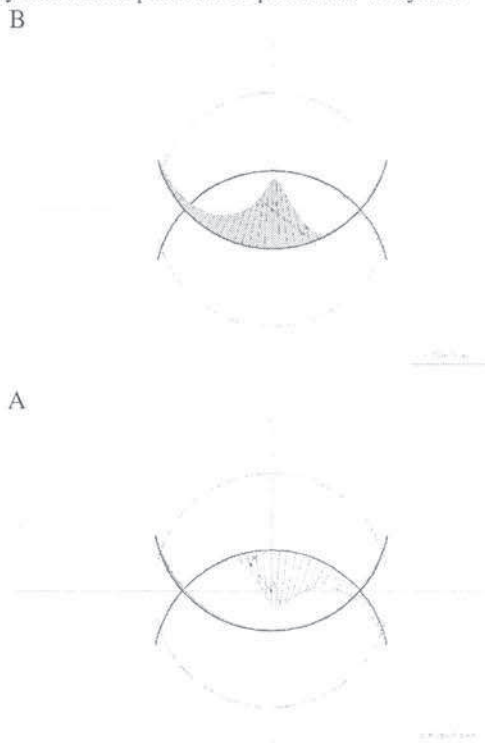


Rys.4. Obszary w pełni akceptowalnych położenia kinetostaticznego panwi nr 6 (pole ograniczone linią ciągłą) i położenia granicznych (pole wykropkowane ograniczone linią przerywaną) przy „bazowym” położeniu panwi nr 5. Wyniki komputerowej symulacji programem KINWIN.

Warto tu zwrócić uwagę na asymetrię przemieszczeń pionowych panwi nr 5 i panwi nr 6. Przemieszczenia pionowe w dół (spowodowane spadkiem sztywności kinetostaticznej lub obniżeniem termicznym podpór) jednej z tych panwi zawsze powodują przekroczenie nacisków dopuszczalnych lub granicznych w panwi sąsiedniej. Inaczej

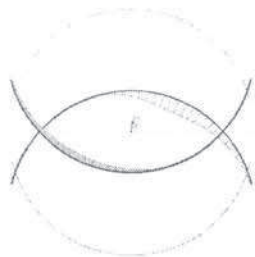
przedstawia się sytuacja przy przemieszczeniach panwi pionowo w górę lub przemieszczeniach poziomych. Przemieszczenia poziome panwi 6 zawsze doprowadzają do przekroczenia nacisków najpierw w panwi sąsiedniej nr 5, a dopiero potem w panwi nr 6. Podobnego obrazu zachowań nie ma w przypadku przemieszczania panwi nr 5. Są to interesujące spostrzeżenia, świadczące o nietypowych zachowaniach kinetostaticznych tego newralgicznego zespołu łożysk.

Analizie poddane zostały również rozkłady ciśnienia w linii środkowej łożyska dla granicznych położenia kinetostaticznych panwi łożysk nr 5 i 6, odpowiadających zewnętrznym punktom narożnym „latawców” z rys.3 i 4. Stopień „soczewkowatości” łożysk turbozespołu 13K215 jest duży i wynosi dla łożyska nr 5 około 66 %, a dla łożyska nr 6 około 68 %. Przykład rozkładu ciśnienia w panwi nr 5 i 6 przy obniżeniu panwi nr 5 pokazano na rys. 5.

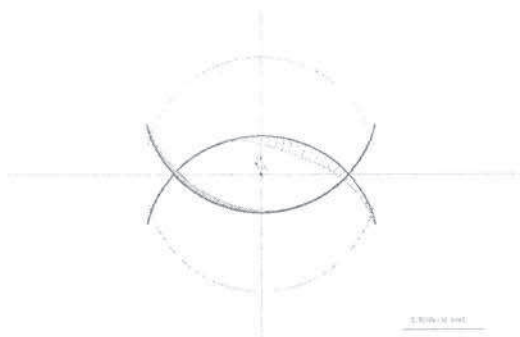


Rys.5. Rozkład ciśnienia w linii środkowej łożyska nr 5 – A oraz łożyska nr 6 - B, przy położeniu granicznym panwi nr 5 $b_{mont} = -1.43$ mm (położenie dolne pionowe na rys.3).

Linia gruba na tym rysunkach oznacza rzeczywisty tzw. „soczewkowy” kształt szczeliny smarnej w odpowiedniej proporcji do luzu kołowo-cylindrycznego (linia cienka). Widzimy tu charakterystyczny przeskok ciśnienia do górnej półpanwi łożyska nr 5, co oznacza, iż łożysko to dociąża cały układ. Przy badaniu pozostałych przypadków granicznych zwracają uwagę niebezpieczne odciążenia łożyska 6 mogące mieć niekorzystny wpływ na stan dynamiczny obiektu rys.6 i 7.



Rys.6. Rozkład ciśnienia w linii środkowej łożyska nr 6, przy położeniu granicznym panwi nr 5 $b_{mont} = 2.636$ mm (położenie górne pionowe na rys.3).

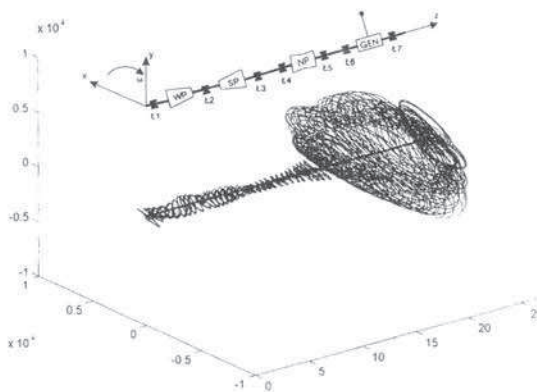


Rys.7. Rozkład ciśnienia w linii środkowej łożyska nr 6, przy położeniu granicznym panwi nr 6 $b_{mont} = 0.425$ mm (położenie dolne pionowe na rys. 4).

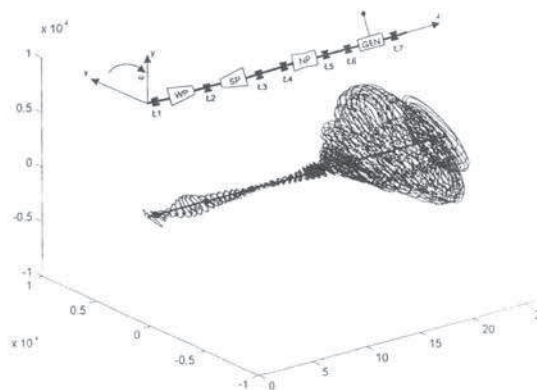
5. ANALIZA DRGAŃ UKŁADU W POŁOŻENIACH GRANICZNYCH PANWI

Przejdźmy teraz do obliczeń dynamicznych za pomocą programu NLDW-61, czyli do analizy drgań w zakresie nieliniowym. W analizowanych przypadkach defektami będą obliczone wcześniej przemieszczenia graniczne panwi łożyskowych nr 5 i 6 spowodowane dylatacjami termicznymi podpór lub zmianami ich sztywności kinetostatycznej.

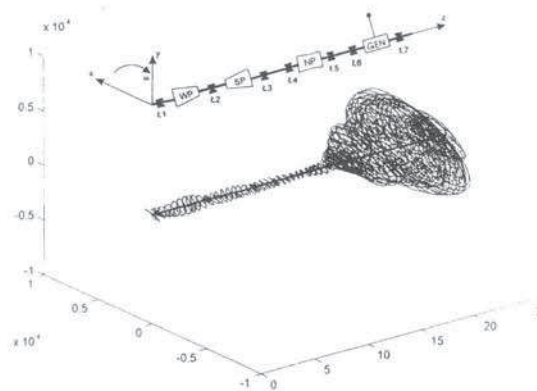
Przyjmijmy wymuszenia zewnętrzne działające na obiekt oraz „gorący” kształt linii kinetostatycznej wirnika jak dla przypadku „bazowego” z tym, że w odniesieniu do łożysk nr 5 i 6 przyjmijmy ich przemieszczenia graniczne określone na rys.3 i rys.4. Wyniki obliczeń w formie przestrzennych trajektorii drgań wybranych węzłów układu wzdłuż linii wirników przedstawiają rys.8÷15. Porównując te rysunki z rys.2 (ilustrującym przypadek „bazowy”), możemy wyciągnąć wnioski co do wpływu przyjętych defektów (przemieszczeń granicznych panwi nr 5 i 6) na własności dynamiczne całego obiektu.



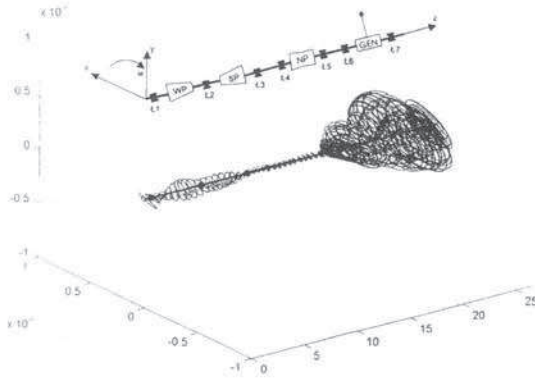
Rys.8. Przypadek kinetostatycznych przemieszczeń panwi nr 5 pionowo w górę do wartości granicznej $b_{mont} = 2.636$ mm. (na rysunku przemieszczenia podpór i odkształcenia grawitacyjne wirnika zostały pominięte).



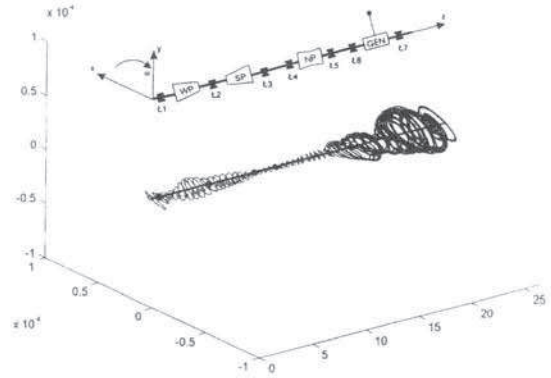
Rys.9. Przypadek kinetostatycznych przemieszczeń panwi nr 5 pionowo w dół do wartości granicznej $b_{mont} = -1.43$ mm.



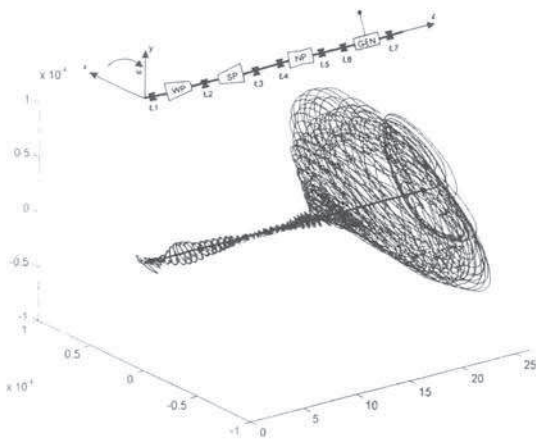
Rys.10. Przypadek kinetostatycznych przemieszczeń panwi nr 5 poziomo w prawo do wartości granicznej $a_{mont} = 2.13$ mm.



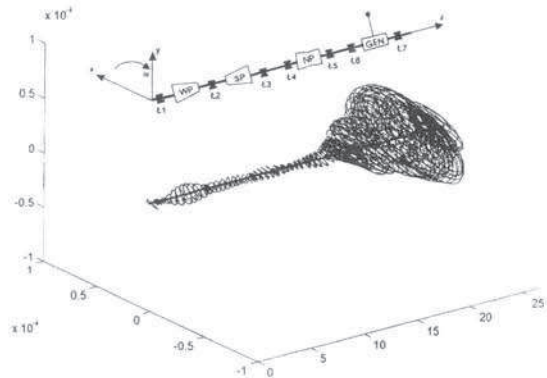
Rys.11. Przypadek kinetostaticznych przemieszczeń panwi nr 5 poziomo w lewo do wartości granicznej $a_{mont}=-2.065$ m.



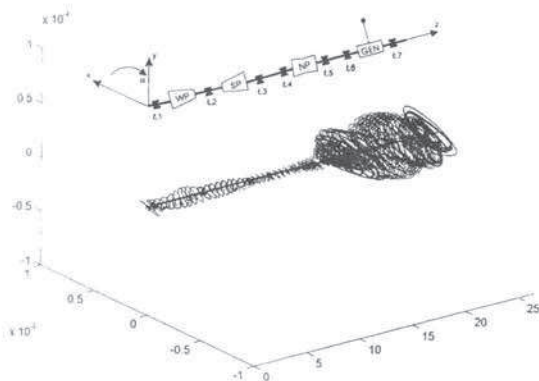
Rys.14. Przypadek kinetostaticznych przemieszczeń panwi nr 6 poziomo w prawo do wartości granicznej $a_{mont}=2.565$ mm.



Rys.12. Przypadek kinetostaticznych przemieszczeń panwi nr 6 pionowo w górę do wartości granicznej $b_{mont}=5.31$ mm.



Rys.15. Przypadek kinetostaticznych przemieszczeń panwi nr 6 poziomo w lewo do wartości granicznej $a_{mont}=-2.7$ mm.



Rys.13. Przypadek kinetostaticznych przemieszczeń panwi nr 6 pionowo w dół do wartości granicznej $b_{mont}=0.425$ mm.

Przede wszystkim zauważyć tu można silnie niekorzystny wpływ przemieszczeń panwi w kierunku pionowym do górnych wartości granicznych. Uniesienie kinetostaticzne panwi (zarówno panwi nr 5 jak i 6) w stosunku do położenia „bazowego”, jak wynika to z porównania rys.8 i 12 z pozostałymi rysunkami, powoduje zdecydowane pogorszenie własności dynamicznych analizowanego obiektu. Analiza widm drgań łożysk dla wspomnianych przypadków pozwala zauważyć, że pojawiają się dominujące „prążki” subharmoniczne typu 1/3X świadczące o przekroczeniu progu stabilnej pracy łożysk nr 5, 6 i 7 turbozespołu.

Zestawienie wartości: przemieszczeń dla drgań względnych, prędkości RMS dla drgań bezwzględnych i wielkości

$$S_x = \frac{A(X/3)}{A(IX)}$$

będącej stosunkiem amplitud składowej subharmonicznej i synchronicznej w widmie drgań dla przemieszczeń panwi w kierunku pionowym we wspomnianych newralgicznych łożyskach nr 5, 6, 7 przedstawiają odpowiednio tabele 1,2,3.

Tabela 1.

Ł.5	Drgania względne		Drgania bezwzględne		
	b _{mont} [mm]	Appu [μm]	Appv [μm]	V _x mm/s	V _y mm/s
2.400	4,5	2,5	0,27	0,15	0
2.636	14,8	9,1	0,52	0,28	10,03
-1.430	7,3	5,4	0,64	0,47	0,36
5.310	10,5	71,9	0,60	0,35	0,77
0.425	6,2	3,9	0,36	0,22	1,92

Tabela 2.

Ł.6	Drgania względne		Drgania bezwzględne		
	b _{mont} [mm]	Appu [μm]	Appv [μm]	V _x mm/s	V _y mm/s
2.400	14,8	10,7	2,34	1,42	0
2.636	70,6	85,7	1,62	1,34	2,58
-1.430	23,6	16,0	2,62	1,44	0,11
5.310	34,4	22,3	2,70	1,47	2,47
0.425	33,8	32,8	1,60	1,35	0,85

Tabela 3.

Ł.7	Drgania względne		Drgania bezwzględne		
	b _{mont} [mm]	Appu [μm]	Appv [μm]	V _x mm/s	V _y mm/s
2.400	24,0	13,7	0,42	0,49	0
2.636	55,2	27,0	0,54	0,57	0,94
-1.430	56,5	30,7	0,41	0,47	0,91
5.310	98,8	52,9	0,40	0,46	2,16
0.425	36,1	19,2	0,54	0,55	0,49

Przemieszczenia całkowite drgań względnych „peak to peak” A_{pp} osiągają poziom 70 ÷ 100 μm, co w porównaniu z przypadkiem „bazowym” oznacza około pięciokrotny wzrost poziomu drgań w filmie olejowym łożysk ślizgowych. Kilkakrotnie też zwiększył się poziom drgań bezwzględnych wirnika generatora (por. rys.12 z rys.2).

Obniżenie kinetostatycznego położenia panwi do dolnych wartości granicznych nie powoduje aż tak dużego pogorszenia własności dynamicznych, co wydaje się być wynikiem dość zaskakującym.

W podobnym zakresie ulega zmianom obraz drgań obiektu przy przemieszczeniach poziomych panwi.

Warto zwrócić tu uwagę na fakt, iż we wszystkich analizowanych przypadkach nie zostały przekroczone wartości graniczne drgań względnych i bezwzględnych łożysk (A_{pp} = 165 μm, V = 7.5 mm/s), pomimo, iż dopuszczalne naciski jednostkowe w łożyskach zostały przekroczone dwukrotnie (p_{dop} = 2 Mpa, p_{gr} = 4 MPa). Drgania względne A_{pp} nawet rzędu 100 μm w porównaniu do maksymalnego luzu średnicowego (w płaszczyźnie poziomej) łożysk nr 5 i 6 rzędu 1500 μm są relatywnie niewielkie. Oznacza to, iż w praktyce niebezpieczny poziom drgań w łożyskach może być spowodowany ich niekontrolowanym wzrostem po przekroczeniu granicy stabilności.

Dominujący udział składowych subharmonicznych typu 1/3X w widmie drgań jednego lub kilku łożysk w porównaniu do składowych synchronicznych 1X może być już sygnałem, iż granica stabilności całego układu została przekroczona. Informuje nas o tym wielkość S_x (patrz tabele 1,2,3). Z sytuacją taką mamy do czynienia np. przy wartości b_{mont}=2.636 mm. i b_{mont}=5.31 mm. Możemy się tu już liczyć z niestabilnością hydrodynamiczną w tych łożyskach, a w konsekwencji z szybkim rozwojem wirów i bicia olejowego prowadzącym do niebezpiecznych już drgań całego układu.

6. UWAGI KOŃCOWE

Z przeprowadzonych badań wynika, iż w analizowanym przypadku wprowadzane do układu defekty w postaci przemieszczeń panwi aż do ich położen granicznych nie wywołują wzrostu drgań bezwzględnych lub względnych czop-panew badanego turbozespołu do poziomu przekraczającego ogólnie przyjęte normy. Oznaczać to może, iż łożyska ślizgowe są stosunkowo odporne nawet na znaczne przekroczenia nacisków dopuszczalnych. Z drugiej jednak strony, te same graniczne położenia panwi w niektórych przypadkach znacząco osłabiają „zapas stabilności” układu, powodując przekroczenie tzw. „technicznego” progu stabilności. W tej sytuacji może dojść do niekontrolowanego już wzrostu poziomu drgań najpierw w nieliniowych podzespołach, a następnie w całym układzie.

Interesującym wyróżnikiem diagnostycznym takiego stanu okazały się być subharmoniczne składowe w widmie drgań typu 1/3X. W niektórych przypadkach (np.: drgań bezwzględnych panwi) symptomy diagnostyczne związane ze składowymi 1/3X są w stanie znacznie szybciej poinformować nas o przekroczeniu progu „technicznej” stabilności układu, niż tradycyjne symptomy związane z amplitudami maksymalnymi drgań.

LITERATURA

- [1] J. Kiciński, A. Markiewicz - Kicińska: *Programy NLDW-70 do obliczeń sprzężonych form drgań giętno - wzdłużno - skrętnych z imperfekcjami typu pęknięcie wału i rozosiowania elementów*. Opracowanie zewnętrzne IMP PAN, nr arch. 357/2000, Gdańsk, 2000
- [2] J. Kiciński, J. Rybczyński i inni - *Bank danych eksploatacyjnych i geometrycznych turbosespołu 13K215*. Oprac. zewn. IMP PAN, Nr arch. 1012/2001. (materiał poufny).
- [3] J. Kiciński, J. Rybczyński i inni – *Przykładowe parametry eksploatacyjne turbosespołu 13K215*. Oprac. zewn. IMP PAN, Nr arch. 1015/2001. (materiał poufny).
- [4] DT200 – *I. System Diagnostyczny dla Turbosespołów Energetycznych o Mocy 200 MW*. Praca zbiorowa pod redakcją W. Cholewy i J. Kicińskiego, Wydawnictwo IMP PAN, Gdańsk 1998.



Prof. **Jan Kiciński** jest kierownikiem Zakładu Dynamiki Wirników i Łożysk Ślizgowych oraz Zastępcą Dyrektora ds. Naukowych w Instytucie Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku. Od wielu już lat zajmuje się modelowaniem oddziaływań dynamicznych zachodzących w złożonych układach typu wirnik-łożyska-fundament oraz modelowaniem własności łożysk ślizgowych. Opracował trójwymiarowy tzw. elastodiatermiczny model wymiany ciepła w węzłach łożyskowych. Prace te prowadzi pod kątem możliwości pozyskania relacji diagnostycznych metodą nieliniowej analizy komputerowej. Przedmiot szczególnych zainteresowań stanowi diagnostyka według modelu odnosząca się do dużych obiektów energetycznych takich jak turbosespoły dużej mocy.



Anna Prońska ukończyła studia na Wydziale Matematyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego w 1972 roku uzyskując stopień magistra w zakresie matematyki. W roku 1978 podjęła pracę w Instytucie Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk w Gdańsku, gdzie w 1989 roku uzyskała stopień doktora nauk technicznych w zakresie mechaniki, specjalności mechanika płynów. Obecnie pracuje na stanowisku adiunkta w Zakładzie Dynamiki Wirników i Łożysk Ślizgowych tego Instytutu, gdzie prowadzi badania symulacyjne wpływu różnego rodzaju defektów na stan dynamiczny dużych maszyn energetycznych.