

TOMASZ JARZYNA

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

## PROBLEMY DYNAMIKI PIONOWYCH POMP WIROWYCH

W pracy przedstawiono problemy dynamiczne i drganiowe pionowych pomp wirowych, pokazano wyniki pomiarów drgań oraz określono zakres prac, które będą wykonane w celu uzyskania pełnej analizy i optymalizacji drgań tego typu maszyn.

Słowa kluczowe: drgania, analiza dynamiczna, pompa wirowa, pompa diagonalna, model strukturalny

### 1. WSTĘP

Drgania należą do tego typu zjawisk fizycznych, które na przestrzeni kolejnych etapów rozwoju techniki sprawiały konstruktorom zawsze sporo trudności. Zwiększenie mocy i obrotów agregatów maszynowych powoduje, że zmniejszeniu ulega ich trwałość, dokładność i niezawodność. Podobne problemy występują w przenośnikach cieczej (pompach). Pompy, szczególnie o dużych gabarytach i mocach, mają skomplikowaną konstrukcję zbudowaną z podzespołów elektrycznych, mechanicznych i hydraulicznych. Są zatem systemami dynamicznymi elektro-mechaniczno-hydraulicznymi o złożonej strukturze.

Podstawowym ruchem roboczym pomp jest ruch obrotowy. Ruch ten generuje wiele różnych problemów technicznych, z których najważniejsze to:

- badanie stateczności wału oraz wyznaczenie jego obrotów krytycznych,
- wyważanie wału oraz łopatek wirnika,
- określenie poziomu dynamicznych obciążeń łożysk i konstrukcji wsporczych,
- zagadnienia identyfikacji wymuszeń generowanych przez pracę pompy.

Praca dotyczy pionowej dwustopniowej pompy diagonalnej o mocy 1250 kW oraz wydajności  $5000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  i stanowi wstęp do przygotowywanego otwarcia przewodu doktorskiego.

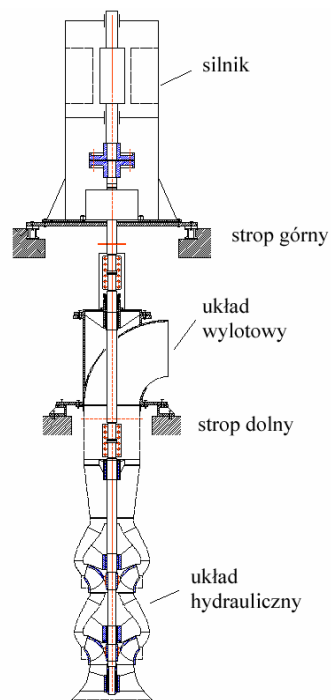
### 2. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

Obiektem badań jest agregat pompowy o parametrach zawartych w tabeli 1.

Schemat dwustopniowej pompy diagonalnej przedstawiony został na rysunku 1. Jak widać z rysunku pompa posadowiona jest na dwóch fundamentach – górnym i dolnym. W skład agregatu wchodzi układ napędowy w postaci silnika elektrycznego (rys. 2) posadowionego na górnym fundamencie oraz pompa właściwa podtrzymywana przez fundament dolny. Układ wylotowy pompy przedstawiono na rysunku 3.

Tabela 1. Dane charakterystyczne agregatu pompowego

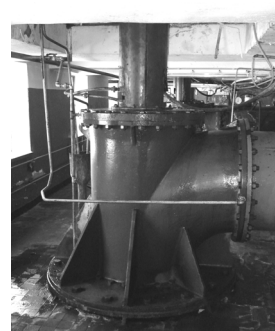
Wielkość fizyczna	Symbol	Wartość
Wydajność	Q	5000 m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>
Wysokość podnoszenia	H	60 m słupa wody
Prędkość obrotowa	n	740 obr·min <sup>-1</sup>
Moc silnika	N	1250 kW
Napięcie	U	6000 V
Typ silnika		SAJV 148 u



Rys. 1. Pionowa dwustopniowa pompa diagonalna

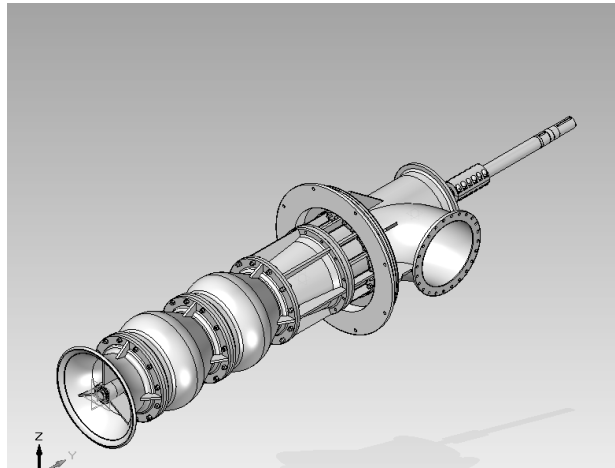


Rys. 2. Silnik elektryczny pompy diagonalnej



Rys. 3. Układ wylotowy z dolnym fundamentem

Na podstawie zgromadzonej dokumentacji (praca prowadzona jest w porozumieniu z producentem pomp) stworzony został przestrzenny model pompy przedstawiony poniżej (rys. 4).



Rys. 4. Przestrzenny model dwustopniowej pompy diagonalnej

### 3. PROBLEMY BADAWCZE I WSTĘPNE WYNIKI POMIARÓW

Prezentowana w pracy pompa jest maszyną o stosunkowo dużej mocy i wydajności, co wpływa na generowane przez nią drgania. Przeprowadzone badania wstępne (zgodnie z normą PN-ISO 10816-1:1998, dotyczącą pomiarów drgań maszyn na częściach niewirujących) pokazują, że wartości RMS (średniokwadratowej prędkości drgań) znacznie przewyższają dopuszczalne przedstawione w tabeli 2.

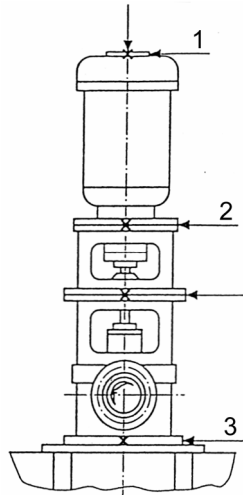
Do pomiarów użyto analizator diagnostyczny KSD 400 (rys. 5), przeznaczony do badania drgań i diagnostyki maszyn wirujących, regulacji turbin, badania silników spalinowych itp.



Rys. 5. Komputerowy analizator diagnostyczny KSD 400

Pomiarów drgań pompy dokonano w trzech punktach w kierunku promieniowym do wałów pompy, przedstawionych na rysunku 6:

- 1 – na obudowie górnego łożyska wirnika silnika,
- 2 – na korpusie silnika (na wysokości dolnego łożyska wirnika),
- 3 – na obudowie łożyska Michella.



Rys. 6. Punkty pomiarowe na pionowych zespołach maszynowych wg PN-ISO 10816-1:1998

Tabela 2. Typowe wartości graniczne klasyfikacyjnych intensywności drgań wg PN-ISO 10816-1:1998

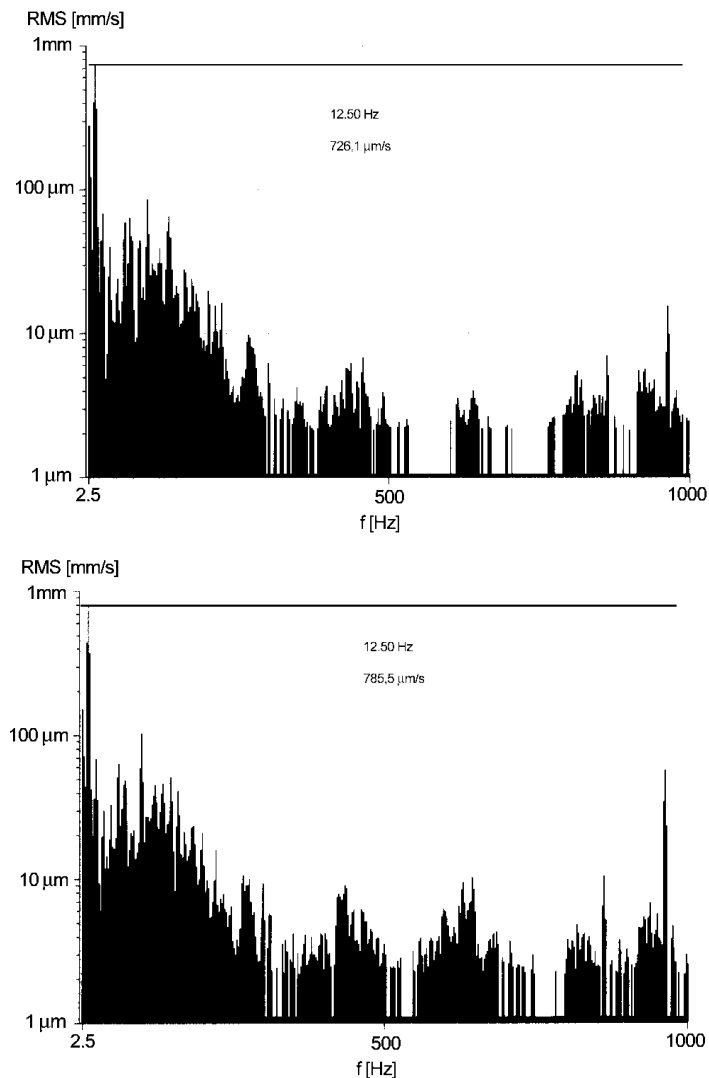
Średniokwadratowa wartość prędkości drgań w $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$	Klasa			
	I	II	III	IV
0,28	A	A	A	A
0,45				
0,71				
1,12	B	B	B	B
1,8				
2,8	C	C	C	C
4,5				
7,1	D	D	D	D
11,2				
18				
28				
45				

Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wyniki pomiarów RMS dla trzech punktów pomiarowych

Numer punktu pomiarowego	Średniokwadratowa wartość prędkości drgań w $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ (RMS)
1	< 18
2	< 18
3	< 1,5

Przykładowe wykresy dla 3. punktu pomiarowego przedstawiono na rysunku 7.

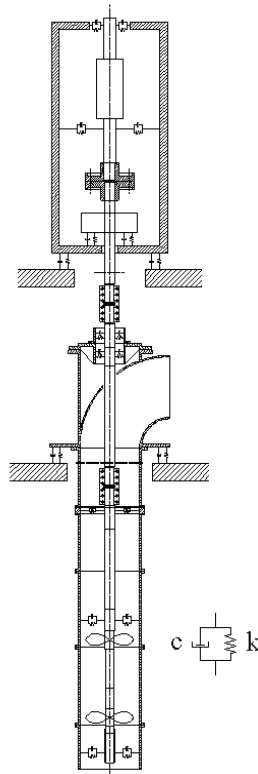


Rys. 7. Pomiar średniokwadratowej wartości prędkości drgań RMS dla trzeciego punktu pomiarowego

Jak widać z przedstawionych wykresów, decydująca składowa harmoniczna odpowiada prędkości obrotowej. Wartość amplitudy RMS dla punktów pomiarowych 1 i 2 znacznie przewyższa dopuszczalny poziom drgań strefy intensywności drgań B (maszyny dopuszczone do długotrwałego ruchu bez ograniczeń eksploatacyjnych) dla klasy III maszyn (wielkie silniki napędowe i inne wielkie maszyny z masami wirującymi, zamontowane na sztywnych i ciężkich fundamentach o małej podatności w kierunku pomiaru drgań według PN-ISO 10816-1:1998).

#### 4. PRZEWIDYWANY ZAKRES PRACY

Przeprowadzone badania wstępne oraz opracowany model strukturalny pompy stanowiły początkowy etap analizy dynamicznej układu (rys. 8).



Rys. 8. Model strukturalny dwustopniowej pompy diagonalnej

Model dynamiczny pompy składa się ze sztywnego korpusu podpartego elastycznie na stropie wewnątrz którego wiruje wał pompy. Wał główny o długości ponad 6,5 m składa się z trzech części połączonych ze sobą sprzęgłami łukowymi. Dodatkowym elementem utrudniającym analizę drgań jest 5 łożysk o niezidentyfikowanych parametrach. Nieznane są również sztywności podparć na górnym i dolnym fundamencie. Elementem komplikującym obliczenia jest układ hydrauliczny.

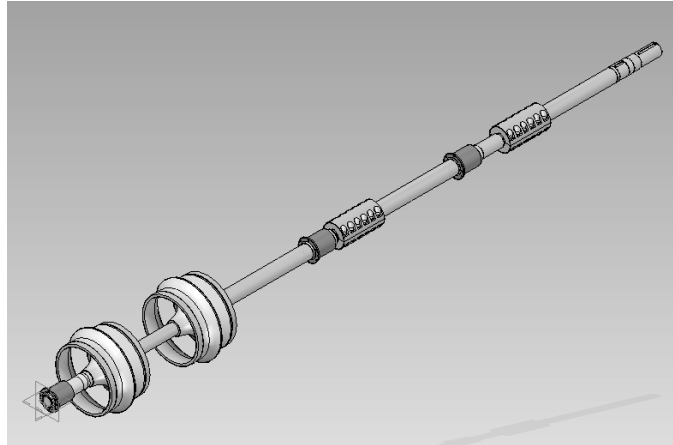
W układzie wyróżnić możemy 2 rodzaje drgań:

- drgania korpusu podpartego na dolnym stropie,
- drgania wału wewnątrz korpusu.

Drgania własne korpusu są dużo mniejsze od częstości własnych wału. Przy tym założeniu przyjęto, że korpus jest bryłą sztywną.

Uwzględnienie korpusu podatnego prowadziłooby do bardzo rozbudowanego modelu matematycznego. Można by wprowadzić opisaną w literaturze metodę kondensacji modalnej, która prowadzi w efekcie do zmniejszenia liczby stopni swobody. Jednak ze

względu na to, że w tego typu układach głównym elementem generującym drgania jest wał, postanowiono, że korpus rozpatrywany będzie jako podukład sztywny, natomiast analizie dynamicznej poddany zostanie układ napędowy (rys. 9). Uwzględnienie sztywności giętno-skrętnych wału oraz sztywności łożysk prowadzi do rozwiązania zadania częstości i postaci drgań własnych wału.



Rys. 9. Układ napędowy pionowej pompy diagonalnej

Na podstawie przedstawionego układu napędowego przeprowadzana jest analiza numeryczna w programach SolidEdge oraz MSC.visualNastran 4D, z której odczytane zostaną postacie i częstości drgań własnych. Na bazie uzyskanych wyników opracowany i rozwiązany będzie model matematyczny całego układu.

Dalsze prace dotyczyć będą następujących zagadnień:

- identyfikacji parametrów układu,
- identyfikacji wymuszeń generowanych przez pracę pompy,
- stateczności wału oraz wyznaczenia jego obrotów krytycznych,
- określenia poziomu dynamicznych obciążeń łożysk i konstrukcji wsporczych.

## 5. PODSUMOWANIE

Pracy pomp (szczególnie tych o dużych gabarytach) towarzyszą drgania, których wartości częstokroć przewyższają dopuszczalne parametry ujęte w normie europejskiej. Wpływa to niekorzystnie zarówno na samą maszynę, jak i konstrukcję wsporczą. Prezentowany artykuł stanowi wstęp do szeregu prac, które zostaną wykonane w celu analizy i optymalizacji drgań tego typu maszyn. Przeprowadzone pomiary wstępne wykazują, że drgania badanego obiektu czterokrotnie przekraczają wartości dopuszczalne, co jest jednoznaczne z potrzebą analizy takiego układu.

## LITERATURA

- [1] Gąsiorek D., 2003. Wpływ podatności korpusu na zjawiska dynamiczne w elektromechanicznych układach napędowych. Rozprawa doktorska, Gliwice.
- [2] Gąsiorek D., Mężyk A., Świtoński E., 1-M/2005. Redukcja liczby stopni swobody przekładni zębatej z podatnym korpusem. *Mechanika*, s. 143-152.
- [3] Gryboś R., 1994. Drgania maszyn. Skrypty Uczelniane 1927, Wyd. Politech. Śląskiej Gliwice.
- [4] Jędrał W., 2001. Pompy wirowe. Wyd. Nauk. PWN S.A. Warszawa.
- [5] Karassik I.J., Messina J.P., Cooper P., Heald C., 2001. *Pump Handbook*. McGraw-Hill.
- [6] Kazimierzak G., Pacula B., Budzyński A., 2004. Solid Edge – komputerowe wspomaganie projektowania. Wydawnictwo HELION Gliwice.
- [7] Kiciński J., 2005. Modelowanie i diagnostyka oddziaływań mechanicznych, aerodynamicznych i magnetycznych w turbozespołach energetycznych. Wyd. Instytutu Maszyn Przepływowych, PAN Gdańsk.
- [8] Korczak A., Rokita J., 1985. Pompy i układy pompowe. Skrypty Uczelniane 1214, Wyd. Politech. Śląskiej Gliwice.
- [9] Stępniewski M., 1985. Pompy. WNT Warszawa.

## DYNAMIC AND VIBRATION PROBLEMS OF VERTICAL IMPELLER PUMPS

### Summary

In this article, dynamic and vibration problems of vertical impeller pumps are presented, the results of vibration measurements shown, as well as the range of tasks to fulfill determined in order to achieve the full analysis and optimization of vibrations for this kind of machines.

Key words: vibrations, dynamic analysis, impeller pump, mixed flow pump, structural model