

DIAGNOZOWANIE WENTYLATORA PROMIENIOWEGO W WARUNKACH ZMIAN WARTOŚCI CIŚNIENIA PRZEPIYWU GAZU

Janusz ZACHWIEJA, Tomasz JARZYNA
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
Katedra Mechaniki Stosowanej i Techniki Ciepłej
Bydgoszcz, ul. S. Kaliskiego 7

Streszczenie

W pracy analizowany jest wpływ spiętrzenia przepływającego czynnika na poziom drgań wentylatora promieniowego. Wyniki uzyskane w warunkach laboratoryjnych zestawiono z rezultatami badań wentylatora przemysłowego. Dane doświadczalne uzupełniono symulacjami numerycznymi przepływu powietrza w kanale między łopatkami wirnika.

Słowa kluczowe: oderwanie strumienia, ścieżka wirowa.

A RADIAL VENTILATOR DIAGNOSTIC IN THE CONDITIONS OF GASS FLOW PRESSURE CHANGINGS

Summary

This paper presents results of vibration investigation of an industrial ventilator. threats of vibration occurrence resulting from the compressible medium flow parameters through the ventilator chamber were analyzed in detail. There have been presented measurement results taken during an industrial fan operation. Next results of tests performed in a laboratory on a smaller fan with provision of similar working conditions have been presented. Experimental tests were completed with computer simulations during which current lines, pressure and velocity distributions in the channel between the rotor blades were tested.

Keywords: separation of flow, vortex path.

1. WSTĘP

Wentylatory należą do grupy maszyn przepływowych, których zadaniem jest transport mieszanek różnych mediów, najczęściej powietrza lub powietrza z sypkimi ciałami stałymi lub też wytwarzanie nad- lub podciśnień o niedużych wartościach. Urządzenia te odgrywają ważną rolę w praktycznie każdej gałęzi przemysłu.

Podstawowym problemem występującym podczas eksploatacji tych maszyn są drgania. Wywołują je zarówno czynniki związane bezpośrednio z dynamiką układu tj. niewyważenie [1] tarczy, błędy względnego usytuowania osi wirnika oraz silnika, sztywność oraz wielkość tłumienia w układzie [2], jak również uwarunkowania wynikające z parametrów przepływu czynnika ściśliwego [3].

Charakterystyka wentylatora jest rozumiana jako zależność pomiędzy objętościowym natężeniem przepływu a spiętrzeniem, czyli różnicą ciśnienia po stronie tłocznej i ssącej, dla danej prędkości obrotowej wirnika. Strumień gazu opływający profil łopatki, przy nieprawidłowym położeniu punktu pracy wentylatora na jego charakterystyce, ulega oderwaniu na krawędzi spływu, tworząc ścieżkę wirową. Ponieważ wirnik obraca się, oderwanie ma

charakter wirujący, będąc źródłem intensywnych drgań [1].

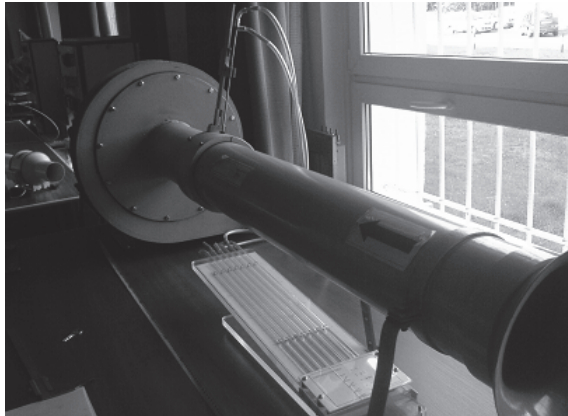
Temperatura gazów przepływających przez wirnik i komorę spiralną jest zazwyczaj wysoka. Powoduje to nagrzewania elementów wirnika, wzrost luzów a co za tym idzie zmniejszenie sztywności układu, pociągając za sobą zwiększenie amplitud drgań wentylatora. Efekt termiczny, wywołujący naprężenia cieplne, jest przyczyną tzw. niewyważenia „wędrującego” które, z racji zmiany położenia na wirniku, nie może być usunięte przez zwykłe wyważanie dynamiczne [4].

Ze względu na fakt, że tłumienie wibracji maszyn przepływowych poprzez stosowanie wibroizolatorów oraz tłumików nie zawsze jest skuteczne, należy uznać, że znacznie bardziej efektywnym sposobem eliminacji ich drgań jest prawidłowy dobór parametrów pracy maszyn.

2. BADANIA LABORATORYJNE

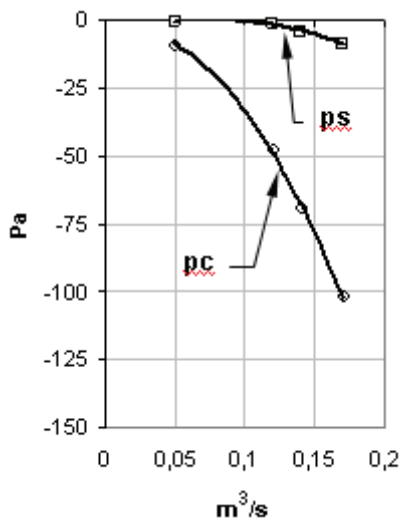
Badania wpływu parametrów fizycznych strumienia powietrza (prędkość, ciśnienie) na poziom drgań wentylatora promieniowego w warunkach przemysłowych podlegają ograniczeniom wynikającym z warunków technologicznych instalacji, w której pracuje dana

maszyna przepływowa. Znacznie łatwiej takie testy wykonuje się w warunkach laboratoryjnych (Rys. 1).



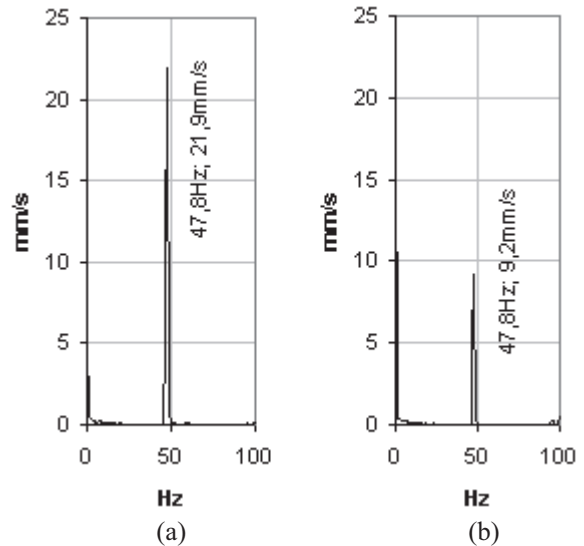
Rys. 1. Widok stanowiska laboratoryjnego do badań wentylatora

Głównym problem jaki się przy tym pojawia to skala podobieństwa zjawisk. Gabaryty, a przez to i parametry pracy wentylatora użytego do badań są nieporównywalnie mniejsze niż wentylatorów przemysłowych. Spiętrzenie wentylatora poddanego testom nie przekraczało 110Pa podczas gdy, w przypadku wentylatorów przemysłowych wartość tego parametru może być wielokrotnie większa.



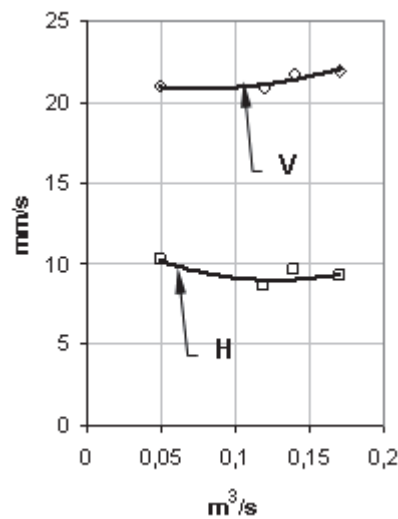
Rys. 2. Zależność ciśnienia całkowitego (pc) i statycznego (ps), mierzonych po stronie ssącej, w funkcji objętościowego natężenia przepływu powietrza

Wentylator w trakcie badań był dławiony. Dla poszczególnej wartości spiętrzenia mierzono przebiegi czasowe vibracji, na podstawie których określono charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowe prędkości drgań.



Rys. 3. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa prędkości drgań wentylatora w kierunku pionowym (a) i poziomym (b) bez dławienia

Wyniki pomiarów amplitud drgań, przy częstotliwości obrotowej 47.8Hz, w funkcji objętościowego natężenia przepływu, zestawiono na rys. 4.



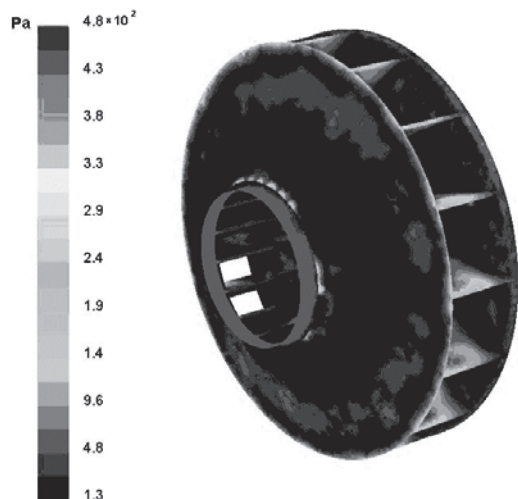
Rys. 4. Zależność wartości amplitudy prędkości drgań wentylatora od objętościowego natężenia przepływu powietrza przez kanał ssący

Można zaobserwować na rysunku 4, że zależność ta dla badanego wentylatora nie jest znacząca. O ile dla drgań w kierunku pionowym jest widoczny wzrost poziomu drgań przy wzroście prędkości przepływu strumienia przez wirnik (krzywa V), o tyle w kierunku poziomym (krzywa H) wartości amplitudy są praktycznie stałe.

Należy sądzić, że w warunkach badanego przepływu nie osiągnięto parametrów, przy których następowaloby oderwanie strumienia od łopatek wirnika.

3. OBLICZENIA NUMERYCZNE

Dla oceny wartości parametrów przepływu przy których mogłoby wystąpić oderwanie wirujące posłużono się modelowaniem numerycznym przepływu powietrza przez wirnik i komorę spiralną wentylatora.



Rys. 5. Rozkład ciśnienie dynamicznego podczas przepływu powietrza przez wirnik

Symulacje numeryczne pokazują, że przy prędkości przepływu 14m/s na krawędzi spływu łopatki występuje strefa zawirowania strumienia. Należy przypuszczać, że z uwagi na niestabilność takiej struktury będzie ona dążyć do oderwania, tworząc ścieżkę wirową.

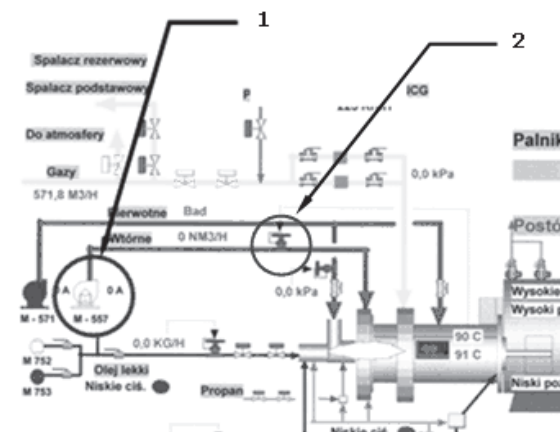


Rys. 6. Przebieg linii prądu w kanale między-łopatkowym wirnika

Zastanawiającym jest fakt, że choć obliczona prędkość przy której winno wystąpić oderwanie wirujące jest bliska uzyskiwanej w badaniach (12m/s), wzrost poziomu drgań wirnika był prawie niezauważalny.

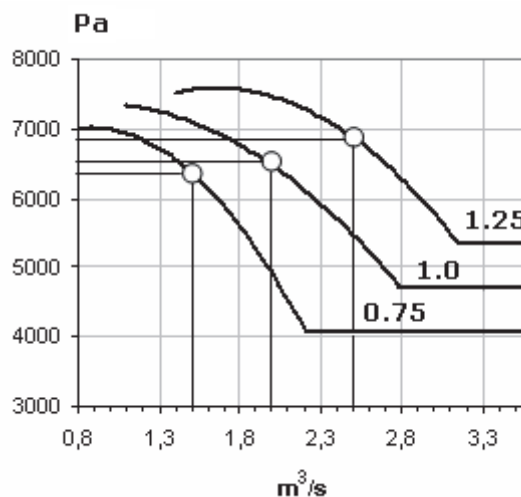
4. BADANIA PRZEMYSŁOWE

Jako obiekt badań wybrano wentylator podmuchowy instalacji spalania gazów przemysłowych (Rys. 7).



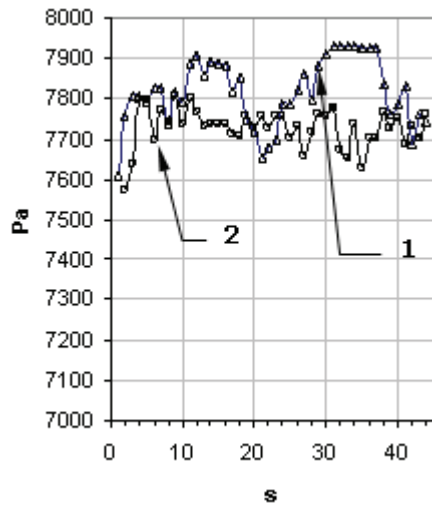
Rys. 7. Fragment instalacji przemysłowej spalania gazów: 1 – wentylator badany, 2 – przepustnica

Pracy wentylatora podmuchu towarzyszył efekt akustyczny oraz wysoki poziom drgań. Istniało podejrzenie, że wzrost poziomu wibracji należy kojarzyć z tłumieniem przepływu powietrza przepustnicą (2). Wentylator (1) typu ZWP31.5/1.25 posiada charakterystykę przepływową pokazaną na rys. 8.



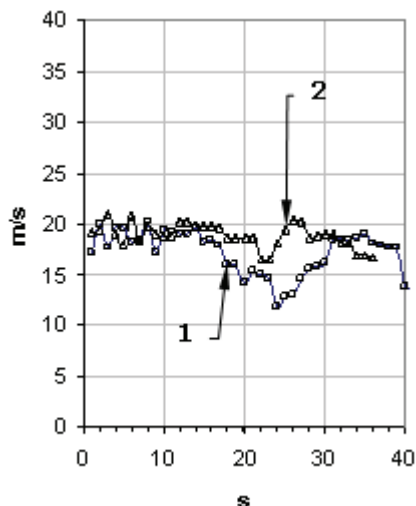
Rys. 8. Charakterystyka przepływowa w obszarze wyższych spiężeń

Zmierzono rzeczywiste warunki przepływu powietrza tj. ciśnienie całkowite oraz odpowiadającą mu prędkość przepływu, przedstawiając na rys. 9 oraz 10 zmiany tych wielkości w czasie pomiaru.



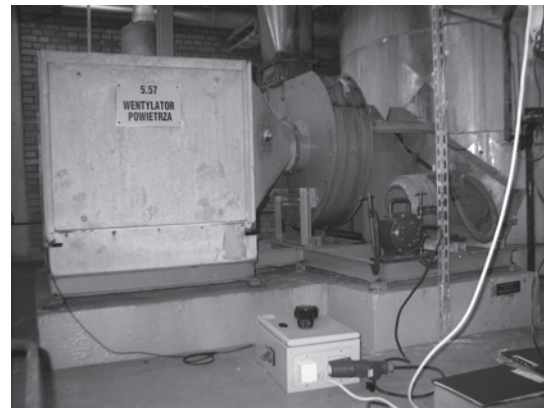
Rys. 9. Ciśnienie całkowite czynnika po stronie ssącej wentylatora w funkcji ciśnienia dławienia: 1 – wentylator dławiony, 2 – wentylator bez dławienia

Jest widoczne, że przy spiętrzeniu osiąganymu wartość bliską 6.8kPa, efektywna praca wentylatora powinna zapewniać objętościowe natężenie przepływu w granicach 2,5m³/s. Rzeczywiste objętościowe natężenie przepływu wynosi tymczasem zaledwie 0,85m³/s. Czyni to, że parametry pracy wentylatora są przesunięte na charakterystyce przepływowej na lewo od punktu maksymalnego spiętrzenia. Taki stan rzeczy sprzyja powstawaniu w trakcie przepływu zjawiska oderwania wirującego.



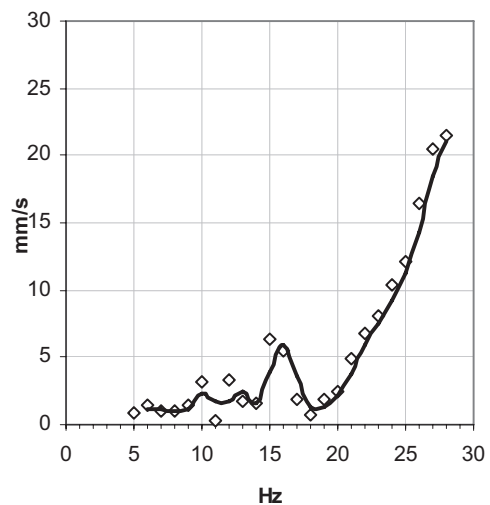
Rys. 10. Prędkość przepływu czynnika po stronie ssącej wentylatora w funkcji ciśnienia dławienia: 1 – wentylator dławiony, 2 – wentylator bez dławienia

Dodatkowo można stwierdzić, że sztywność posadowienia wentylatora na ramie jest zbyt mała.



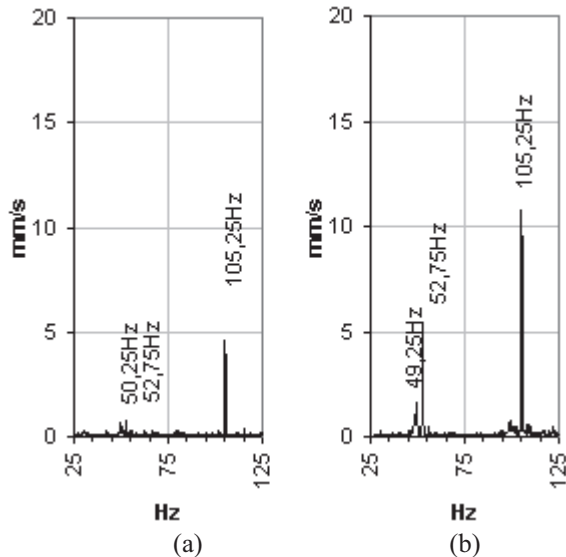
Rys. 11. Sposób badania częstotliwości rezonansowej konstrukcji posadowienia wentylatora

Doświadczenie mające na celu wyznaczenie krzywej rezonansowej układu (Rys. 11.) zakończono przy częstotliwości wymuszenia 27Hz z uwagi na zbyt wysoki poziom drgań zagrażający bezpieczeństwu konstrukcji (Rys. 12).

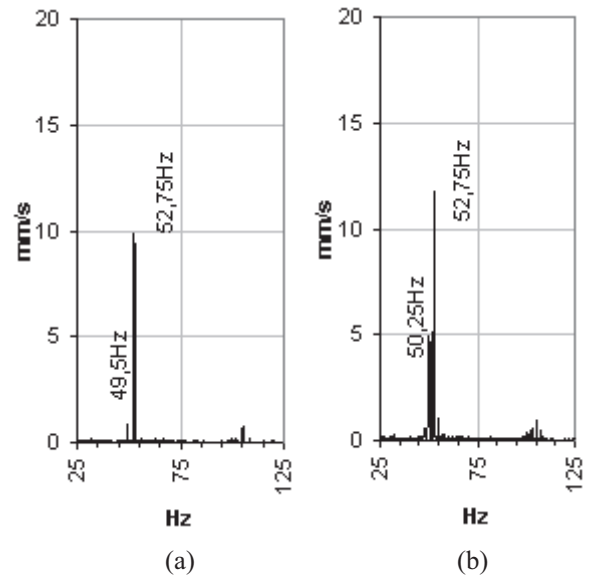


Rys. 12. Krzywa rezonansowa drgań wentylatora na posadowieniu

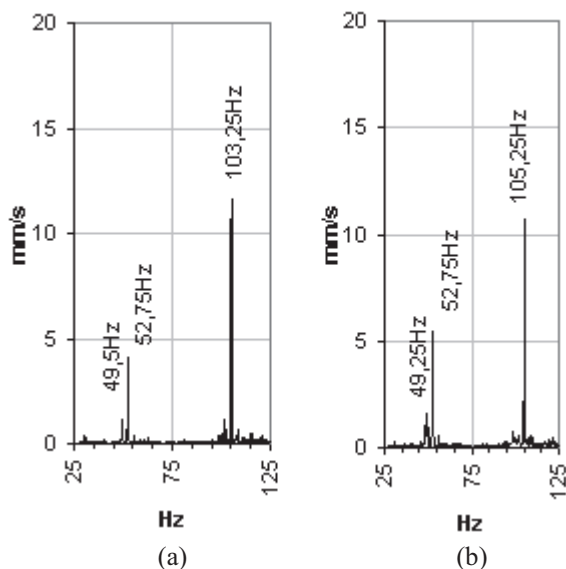
Dławienie wentylatora w granicach kilku procent wartości objętościowego natężenia przepływu, znacząco wpływa na prędkość drgań w kierunku osiowym. Jest to związane z oddziaływaniem strumienia powietrza na wirnik, przy zmianie kierunku wektora pędu (Rys. 13). Nie następuje przy tym wyraźna zmiana poziomu drgań wentylatora w kierunku poziomym (Rys. 14) oraz pionowym (Rys. 15).



Rys. 13. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa prędkości drgań wirnika w kierunku osiowym a) wentylator bez dławienia, b) wentylator dławiony



Rys. 15. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa prędkości drgań wirnika w kierunku pionowym: a) wentylator bez dławienia, b) wentylator dławiony



Rys. 14. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa prędkości drgań wirnika w kierunku poziomym a) wentylator bez dławienia, b) wentylator dławiony

Wysoka wartość amplitudy prędkości drgań wentylatora w kierunku poziomym w częstotliwości ~ 100 Hz, a więc podwójnej częstotliwości obrotowej wirnika z nieliniowym charakterem jego sztywności posadowienia zwłaszcza dla małych wartości tej cechy.

5. WNIOSKI

Wyniki przeprowadzonych badań drgań wentylatorów, zarówno średniej jak i małej wielkości, każą traktować problem wpływu czynników aerodynamicznych na poziom ich drgań jako otwarty i warty analiz. Trudno jest jednoznacznie sądzić czy fakt, że nie stwierdzono znaczącego wpływu prędkości czynnika i efektów z tym związanych na poziom drgań wentylatorów wynika z błędu modelu użytego w obliczeniach numerycznych czy z faktu, że w pewnych przypadkach określanych wartościami spiętrzenia nie jest on rzeczywiście znaczący.

Analizy dynamiki wirnika prowadzone od wielu lat przez autorów pokazują, że w przypadku wentylatorów znacznie większy od efektów aerodynamicznych wpływ na poziom drgań ma niewyważenie tarczy wirnika oraz efekt anizotropowości zewnętrznej związany z asymetrią sztywności podparcia, a co za tym idzie szerokim zakresem obszaru rezonansowego.

LITERATURA

- [1] Zachwieja J.: *Diagnostyka wentylatorów dwustrumieniowych*. Diagnostyka, 29/2003, 35-40.
- [2] Zachwieja J., Ligier K.: *Numerical analysis of vertical rotor dynamics of ACWW1000 centrifuge*. Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 43(2), 2005, 257-275.
- [3] Zachwieja J.: *Diagnostowanie wirnika poziomego wentylatora o małej sztywności posadowienia*. Diagnostyka, 35/2005, 63-70.
- [4] Fortuna S.: *Wentylatory*. TECHWENT, Kraków 1999.

dr inż. **Janusz ZACHWIEJA** jest adiunktem w Katedrze Mechaniki Stosowanej Uniwersytetu Techniczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. Zajmuje się zagadnieniem drgań układów mechanicznych oraz mechaniką płynów. Jest autorem publikacji z zakresu dynamiki maszyn oraz problematyki drgań kawitacyjnych rurociągów.



mgr inż. **Tomasz JARZYNA** jest asystentem w Katedrze Mechaniki Stosowanej Uniwersytetu Techniczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z dynamiką maszyn, w szczególności dynamiką pomp hydraulicznych.

