

## Numeryczno-eksperymentalna analiza drgań kanału ssawnego i tłoczego wentylatora wyciągowego spalin

Jerzy Czmochowski<sup>1</sup>, Przemysław Moczko<sup>1</sup>, Maciej Olejnik<sup>1</sup>, Damian Pietrusiak<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Katedra Konstrukcji i Badań Maszyn, Politechnika Wrocławska

email: jerzy.czmochowski@pwr.edu.pl, przemyslaw.moczko@pwr.edu.pl, maciej.olejnik@pwr.edu.pl, damian.pietrusiak@pwr.edu.pl

**STRESZCZENIE:** Przedmiotem pracy jest analiza drgań kanałów spalin w okolicy wentylatora wyciągowego w instalacji bloku energetycznego. Podczas eksploatacji obserwuje się nadmierne drgania uniemożliwiające prawidłowe działanie wentylatora. W celu identyfikacji przyczyn nadmiernych drgań przeprowadzono obliczenia MES drgań kanałów i pomiary na obiekcie za pomocą wibrometru laserowego. Na podstawie analizy numerycznej drgań kanału spalin otrzymano obszary podatne na drgania rezonansowe. Pomiary za pomocą wibrometru laserowego potwierdziły występowanie drgań o częstotliwościach zbliżonych do częstotliwości wymuszonej obrotem wirnika wentylatora wyciągowego. Wyniki tych analiz przyczyniły się do modyfikacji usztywnień ścian kanałów ssawnego i tłoczego.

**SŁOWA KLUCZOWE:** wentylatory wyciągowe, kanały spalin, wibrometr laserowy, MES

### 1. Wstęp

Wentylatory osiowe mają zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu [1], szczególnie w energetyce, hutnictwie, górnictwie, przemyśle chemicznym itp. Z uwagi na charakter działania obserwuje się przypadki nadmiernych drgań, które szczególnie niebezpieczne są w przypadku wentylatorów wielkogabarytowych o dużych mocach [2, 3]. Podczas eksploatacji kanałów spalin na jednym z bloków energetycznych zaobserwowano nadmierne drgania wentylatora wyciągowego. Na kanale spalin zastosowano wentylator wyciągowy osiowy akcyjny o wydajności 300 m<sup>3</sup>/s, spiętrzeniu 3580 Pa, mocy na wale 1500 kW i prędkości obrotowej 745 obr/min. Na jeden blok zastosowano dwa układy wyciągowe spalin nr 1 i nr 2 z wentylatorami wyciągowymi działającymi w układzie równoległym. Widok kanałów i wentylatora nr 1 przedstawiono na rys. 1. Rzeczą charakterystyczną jest to, że drgania pojawiają się tylko w sytuacji kiedy zmieni się kolejność włączania wentylatorów. W przypadku zachowania kolejności włączania wpierv wentylator nr 1, a potem wentylator nr 2, drgań nie obserwuje się, przy załączeniu w odwrotnej kolejności pojawiają się drgania na wentylatorze nr 1.

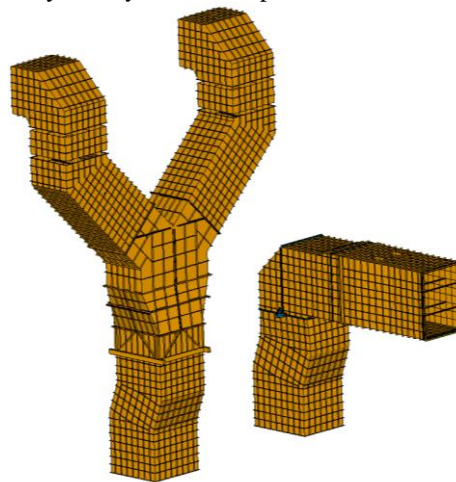


Rys. 1. Kanał spalin z wentylatorem wyciągowym osiowym nr 1

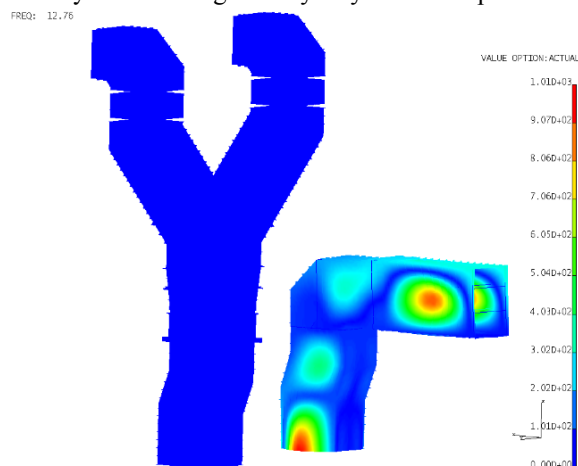
W celu zidentyfikowania przyczyn tych drgań opracowano model obliczeniowy MES kanału ssawnego i tłoczego oraz zaplanowano pomiary na obiekcie.

### 2. Analiza numeryczna MES

Do obliczeń numerycznych drgań kanałów spalin opracowano model powłokowy z usztywnieniami w postaci elementów belkowych [4]. Widok modelu geometrycznego powierzchniowego przedstawiono na rys. 2. Częstotliwość nadmiernych drgań związana jest z obrotami wentylatora i wynosi 12,42Hz. Przeprowadzono obliczenia drgań własnych w obszarze bliskim drganiom wymuszonym obrotami wentylatora. Wyniki otrzymanych częstotliwości drgań własnych w tym zakresie przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 2. Model geometryczny kanałów spalin



Rys. 3. Postać drgań bliska rezonansowym  $f_9 = 12,76\text{Hz}$

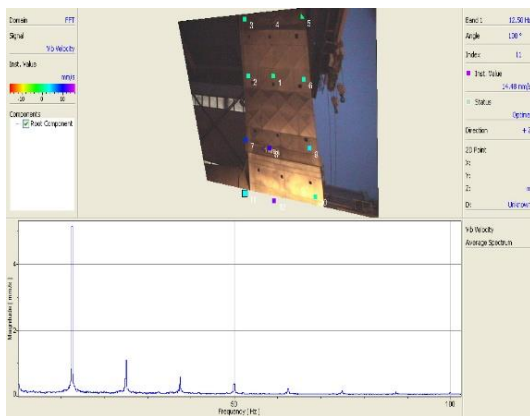
Tabela 1. Częstotliwości drgań własnych

Nr postaci drgań	Częstotliwość [Hz]
7	11,21
8	12,05
9	12,76
10	12,92
11	13,36

Z przeprowadzonej analizy MES drgań własnych kanału ssawnego i tłocznego wynika, że głównie na drgania o częstotliwościach wymuszonych obrotami wentylatora najbardziej podatne są drgania ścian kanału tłocznego jak pokazano na rys. 3.

### 3. Eksploatacyjna analiza modalna

W celu potwierdzenia postaci i częstotliwości drgań kanałów przeprowadzono pomiary na obiekcie prędkości drgań za pomocą wibrometru laserowego. W wybranych punktach, widocznych na zdjęciu rys. 1, wykonano wycięcia w izolacji, tak aby odsłonić dostęp do ścian kanałów promieniowi lasera. Pomiary drgań kanałów ssawnego i tłocznego przeprowadzono dla obu sytuacji włączania wentylatorów. Na rys. 4 pokazano przykładowy wynik pomiaru drgań kanału tłocznego w sytuacji, kiedy nastąpiło nadmierne wzbudzenie drgań wentylatora nr 1.



Rys. 4. Pomiar drgań kanału tłocznego nr 1 przy wzbudzeniu drgań  $v_{RMS} = 5,2$  mm/s

Z pomiaru widać, że częstotliwość drgań ścian kanału tłocznego jest związana z obrotami wentylatora i wynosi ok. 12,5 Hz, a postać drgań jest zgodna z postacią otrzymaną z obliczeń MES (rys. 3). Za pomocą wibrometru laserowego zmierzono również wartość skuteczną prędkości drgań, która dla kanału tłocznego wyniosła 5,2 mm/s. Podwyższony poziom drgań wystąpił podczas załączania wentylatorów w kolejności wpierw 2, a potem 1. Drgania te oddziałują na ustrój nośny powodując przyspieszoną jego degradację. Zaobserwowano w niektórych miejscach zerwane połączenia spawane.

W celu zapobieżenia wystąpienia awarii zainstalowane są urządzenia zabezpieczające przed nadmiernym wzrostem tych drgań. Ponieważ źródło drgań jest na samym wentylatorze pomiar ciągle wykonywany jest na obudowie łożyska wału wentylatora. Pomiar wykonywany jest w kierunku wzdłużnym i poprzecznym do osi wału. Podczas załączania wentylatorów w kolejności 2 a potem 1, prędkość skuteczna drgań w kierunku poprzecznym do osi

wału na obudowie przekracza poziom 12 mm/s powodując automatyczne wyłączenie wentylatora.

W wyniku tych badań i analiz wprowadzono dodatkowe usztywnienia na kanale tłocznym wentylatora. Na pewno usztywnienia te zmniejszyły poziom drgań samych ścian kanału, lecz nie zlikwidowały źródła nadmiernych drgań.

Źródła tych drgań doszukiwano się również w drganiach wału napędowego wirnika. Napęd wirnika wentylatora przekazywany jest poprzez dwa wały połączone przegubami. Wał przy wentylatorze w postaci rury  $\varnothing 308 \times 16$  osadzony jest na dwóch łożyskach w odległości 4,7 m. Zbadano numerycznie i eksperymentalnie częstotliwości drgań skrętnych i poprzecznych całego zespołu napędowego. Częstotliwość drgań poprzecznych wału zmierzona na obiekcie wynosi ok. 14,0 Hz. Różnica w stosunku do drgań rezonansowych wynosi ok. 13%, czyli jest stosunkowo bliska jednak, nie na tyle aby wzbudzać drgania rezonansowe.

Prowadzone są dalsze analizy i pomiary na kanałach wentylatora w tym szczególnie pomiary ciśnień, analizy kolejności załączania zapór na drodze spalin, a także analizy obciążenia prądowego, które mogą mieć wpływ na działanie wentylatorów.

### 4. Podsumowanie

Przedstawiono analizę nieprawidłowego działania jednego z wentylatorów na kanale spalin bloku energetycznego o mocy 370 MW elektrowni przemysłowej.

W celu identyfikacji przyczyn przeprowadzono szereg pomiarów na obiekcie i analiz numerycznych na modelach kanału i układu napędowego wentylatora. Na podstawie tych badań i analiz można wysunąć następujące wnioski:

- Analiza MES drgań kanału tłocznego wykazała istnienie drgań ścian o częstotliwościach zbliżonych do drgań wymuszonych obrotami wirnika wentylatora
- Postać drgań ścian kanału otrzymana z pomiarów na obiekcie za pomocą wibrometru laserowego jest podobna do postaci drgań otrzymanych z obliczeń MES
- Pomiary drgań i analizy numeryczne MES wału napędowego wentylatora wskazały na stosunkowo bliski poziom drgań poprzecznych (ok. 13%) do drgań rezonansowych

W pracy zastosowano nowatorski sposób identyfikacji drgań ścian kanału spalin za pomocą wibrometru laserowego.

### Literatura

- [1] Bieniek Cz., Kolendarski W., Ostrowski J., Sobczyński W., *Wentylatory osiowe*, WNT, Warszawa 1961.
- [2] Czmochocki J., Moczko P., Odyjas P. M., Pietrusiak D. P., *Tests of rotary machines vibrations in steady and unsteady states on the basis of large diameter centrifugal fans*. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability. 2014, vol. 16, nr 2, s. 211-216
- [3] Rusiński E., Moczko P., Odyjas P. M., Pietrusiak D. P., *Investigation of vibrations of a main centrifugal fan used in mine ventilation*, Archives of Civil and Mechanical Engineering. 2014, vol. 14, nr 4, s. 569-579
- [4] Rusiński E., Czmochocki J., Smolnicki T., *Zaawansowana metoda elementów skończonych w konstrukcjach nośnych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000