

WIBROIZOLACJA DWUSTOPNIOWA NA PRZYKŁADZIE WSTRZĄSARKI

Wiesław Fiebig
Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn
Politechnika Wrocławska, ul. Łukasiewicza 7/9, 51-377 Wrocław
wieslaw.fiebig@pwr.wroc.pl

SUMMARY

In this paper the effectivity of two stage vibration on example of the vibration conveyer has been shown. Vibration conveyers are used for coal transportation in power stations. In the considered case the conveyer has been supported on the ceiling in 1st floor of the building and cause vibrations. For identification of dynamical behavior of the conveyer vibrations measurements and simulation have been carried out. To reduce the transmission from the conveyer to the ceiling two stage vibration isolation has been performed and significant reduction of vibrations in the building has been achieved.

1. WSTĘP

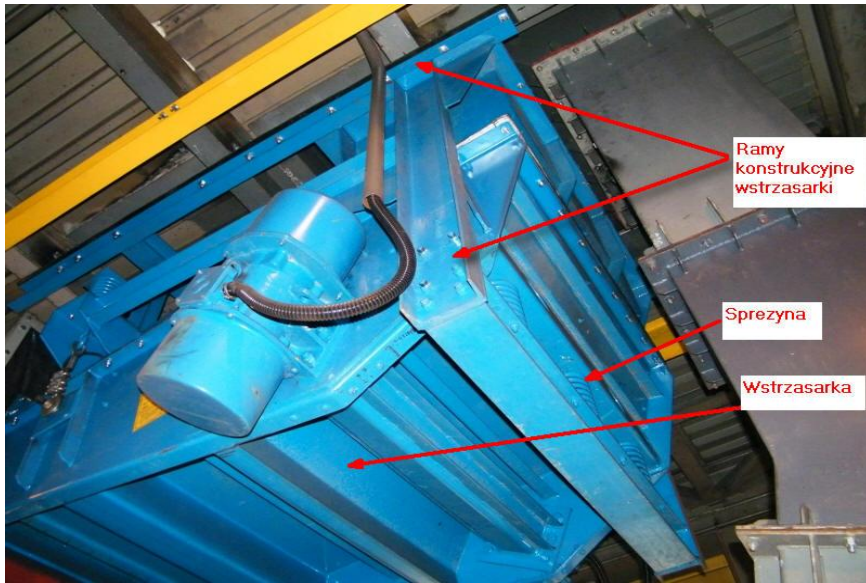
W maszynach i urządzeniach wywołujących drgania i montowanych na posadzkach, fundamentach lub stropach zachodzi konieczność stosowania wibroizolacji. Ma ona na celu redukcję przenoszenia drgań z maszyny na podłoże lub elementy mocujące. W wielu przypadkach wystarczy wibroizolacja jednostopniowa, przy której wibroizolatory są zamontowane bezpośrednio pod maszyną, ewentualnie za pośrednictwem ramy lub płyty. W niektórych zastosowaniach wibroizolacja tego typu nie wystarcza dla uzyskania wymaganej redukcji drgań przenoszonych na podłoże lub elementy mocujące. Przykładem urządzeń tego typu są wstrząsarki stosowane dla zapewnienia ciągłości transportu węgla w energetyce i ciepłownictwie. W niniejszym referacie przedstawione zostaną wyniki badań pokazujące efekty uzyskane po zastosowaniu wibroizolacji dwustopniowej w przypadku wstrząsarki.

2. LOKALIZACJA WSTRZĄSARKI

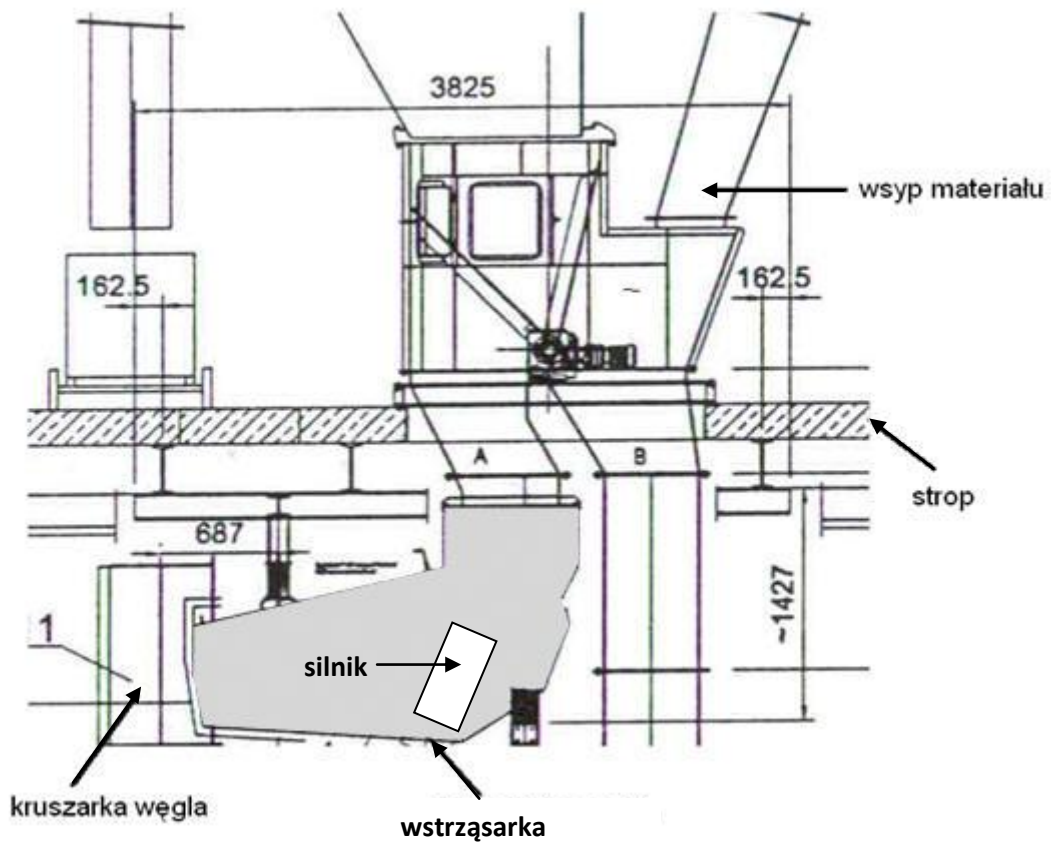
Wstrząsarka w pierwszym rozwiązaniu została zamontowana za pośrednictwem ramy oraz 5 sprężyn bezpośrednio do konstrukcji stropu na pierwszej kondygnacji budynku, jak na rys. 1. Posiadała ona częstotliwość roboczą 16 Hz. Częstotliwość ta zapewnia optymalne warunki podczas transportu węgla od wsypu poprzez rynnę do kruszarki węgla (rys. 1b). Przeprowadzone pomiary drgań na stropie oraz na elementach konstrukcyjnych w budynku pokazały, że na skutek pracy wstrząsarki występują amplitudy drgań przekraczające 16-krotną wartość progu odczuwalności dla człowieka. Są to drgania stanowiące zagrożenie dla ludzi i szkodliwe dla konstrukcji budynku mogące powodować jego uszkodzenie.

Wstrząsarka była połączona z ramą mocującą do stropu za pomocą 5 sprężyn. Sprężyny te stanowią pierwszy stopień wibroizolacji. Natomiast po modernizacji zamiast sztywnego połączenia z konstrukcją stropu zastosowane zostały 4 wibroizolatory sprężynowe z tłumieniem firmy GERB i stanowią one wraz z masą dodatkową drugi stopień wibroizolacji. Schemat układu wibroizolacji jedno i dwustopniowej jest przedstawiony na rys.2.

a)



b)



Rys. 1: Zawieszenie wstrząsarki w budynku: a) widok wstrząsarki b) schemat mocowania do konstrukcji stropu

Na rysunku 2 pokazano mocowanie ramy wstrząsarki na wibroizolatorach sprężynowych GERB stanowiących 2 stopień wibroizolacji.



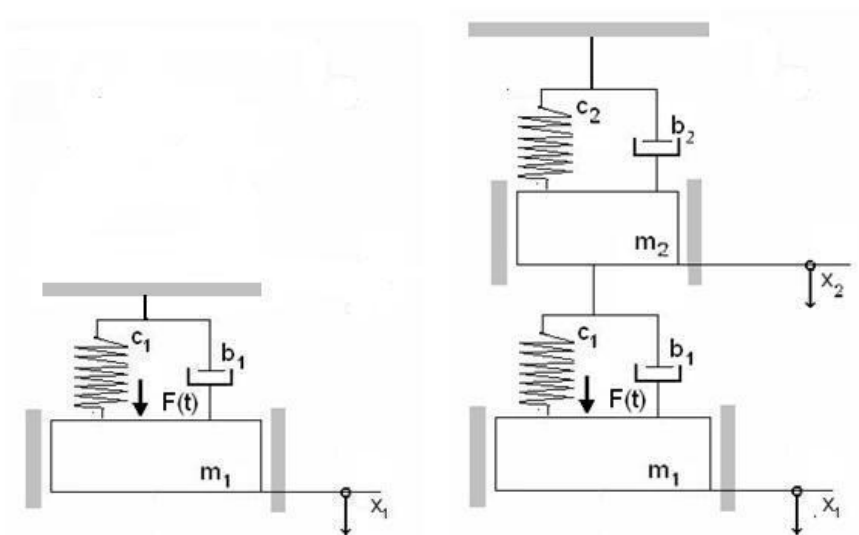
Rys. 2: Podparcie ramy wstrząsarki na wibroizolatorach (2- stopień wibroizolacji).

3. MODEL MATEMATYCZNY

Masa m_2 reprezentuje masę wstrząsarki wraz z silnikiem wzbudzającym drgania, c_1 sztywność zastępczą układu 5 sprężyn stanowiących zawieszenie wstrząsarki do ramy oraz b_1 współczynnik tłumienia drgań wstrząsarki. Natomiast m_1 oznacza masę ramy wraz z masą dodatkową a c_2 i b_2 współczynniki sztywności oraz tłumienia układu 4 wibroizolatorów mocujących masę dodatkową do konstrukcji stropu.

a)

b)



Rys.3: Schematy zawieszenia wstrząsarki przy a) wibroizolacji jednostopniowej; b) wibroizolacji dwustopniowej

Równanie ruchu dla układu jednomasowego jest następujące:

$$m_1 \cdot \ddot{x}_1 + c_1 x + b_1 \dot{x} = F \quad (1)$$

a dla układu dwumasowego:

$$\begin{aligned} m_1 \cdot \ddot{x}_1 + c_1(x_1 - x_2) + b_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) &= F \\ m_2 \cdot \ddot{x}_2 + c_2 x_2 - c_1(x_1 - x_2) + b_2 \dot{x}_2 - b_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

gdzie:

m_1 – masa wstrząsarki, m_2 – masa ramy wraz z masą dodatkową
 c_1, c_2 – współczynniki sztywności

Współczynnik przenoszenia drgań dla układu jednomasowego można określić na podstawie wzoru:

$$V = \frac{\sqrt{1 + 4D^2\eta^2}}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + 4D^2\eta^2}} \quad \text{gdzie:} \quad D = \frac{b}{2\sqrt{cm}} \quad (3)$$

D – bezwymiarowy współczynnik tłumienia

η – stosunek częstotliwości Ω/ω , Ω częstotliwość siły wymuszającej

Częstotliwości drgań własnych dla układu dwumasowego można określić z wzoru:

$$\omega_{1,2}^2 = \frac{1}{2} \frac{c_1(m_1 + m_2) + c_2 m_1}{m_1 m_2} \mp \sqrt{\left[\frac{1}{2} \frac{c_1(m_1 + m_2) + c_2 m_1}{m_1 m_2} \right]^2 - \frac{c_1 c_2}{m_1 m_2}} \quad (4)$$

po wprowadzeniu oznaczeń:

c_{rel} – sztywność względna – c_2/c_1 , m_{rel} – masa względna – m_2/m_1

$\omega_{1m}^2 = \frac{c_1}{m_1}$ - kwadrat częstości drgań własnych układu jednomasowego

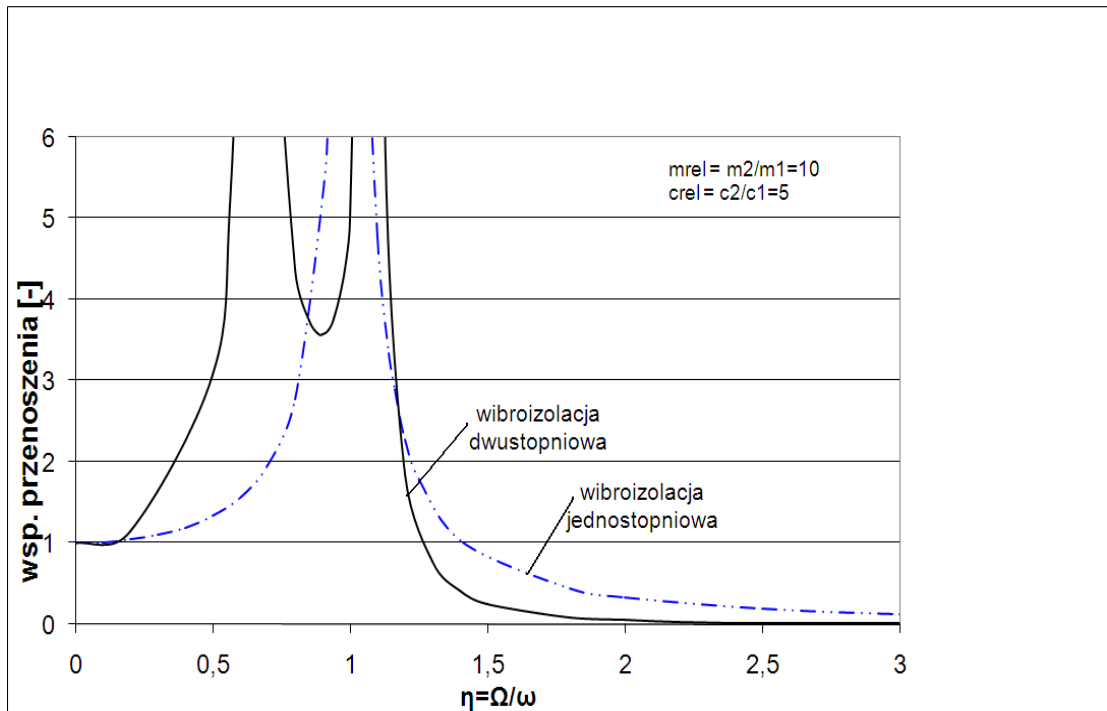
otrzymujemy:

$$\frac{\omega_{1,2}}{\omega_{1m}} = \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{m_{rel}} + \frac{c_{rel}}{m_{rel}} \right)} \mp \sqrt{\left[\frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{m_{rel}} + \frac{c_{rel}}{m_{rel}} \right) \right]^2 - \frac{c_{rel}}{m_{rel}}} \quad (5)$$

Współczynnik przenoszenia dla układu dwumasowego z pominięciem tłumienia można określić z wzoru:

$$V = \left| \frac{c_{rel}}{(1 - \eta^2) \cdot (1 + c_{rel} - m_{rel} \cdot \eta^2) - 1} \right| \quad (6)$$

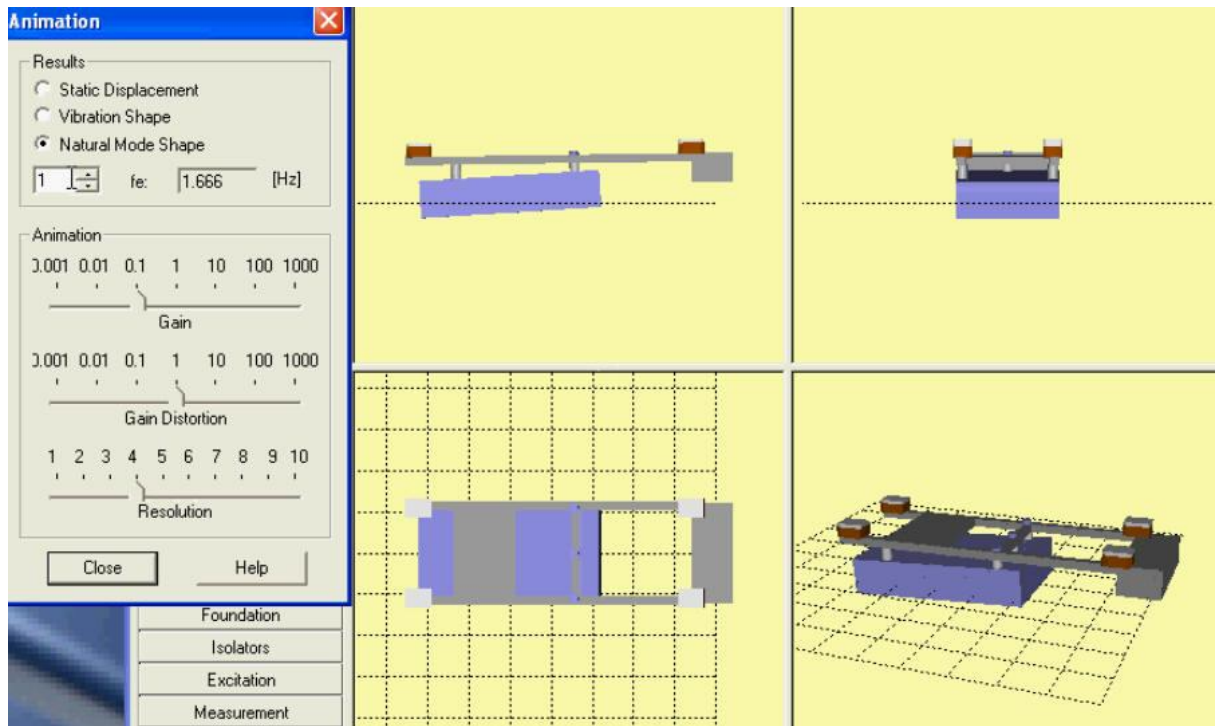
Na rys. 4 przedstawiono porównanie krzywych rezonansowych dla układu jedno i dwumasowego.



Rys. 4: Porównanie współczynników przenoszenia dla układu jedno i dwumasowego.

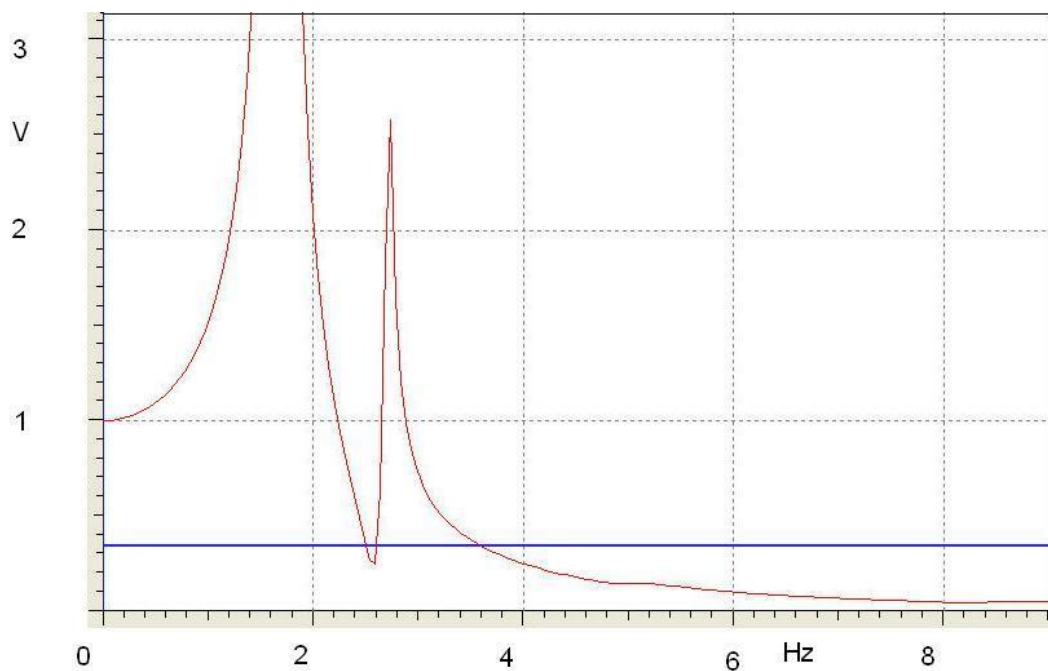
Z porównania współczynników przenoszenia dla układu jednomasowego (wibroizolacja jednostopniowa) i dwumasowego (wibroizolacja dwustopniowa) wynika, że przenoszenie drgań nie zostaje zredukowane w niskim zakresie częstotliwości. Przenoszenie drgań jest mniejsze głównie w zakresie częstotliwości nadrezonansowych tj. od $\eta > 1.3$. Dobór sztywności i masy powinien zapewnić uzyskanie jak najniższych częstotliwości, przy których wibroizolacja dwustopniowa jest skuteczna, oraz jak najmniejszej masy dodatkowej.

Na rys. 5 przedstawiono model obliczeniowy zawieszenia wstrząsarki w programie do symulacji wielomasowych układów dyskretnych. W programie tym wstrząsarka, rama i masa dodatkowa zostały zamodelowane jako bryły sztywne. W programie obliczone zostają częstotliwości i postacie drgań własnych modelu (analiza modalna). Wyniki obliczeń porównane zostały z wynikami uproszczonego modelu dwumasowego.



Rys. 5: Model symulacyjny podwójnego sprężystego zawieszenia wstrząsarki

Połączenia między poszczególnymi masami jest realizowane przy pomocy elementów sprężystych a każda z brył sztywnych posiada 6 stopni swobody. Dzięki temu przeanalizowane zostały w odróżnieniu od uproszczonego modelu dwumasowego (drgania w jednym kierunku) również inne złożone postacie drgań własnych modelu.

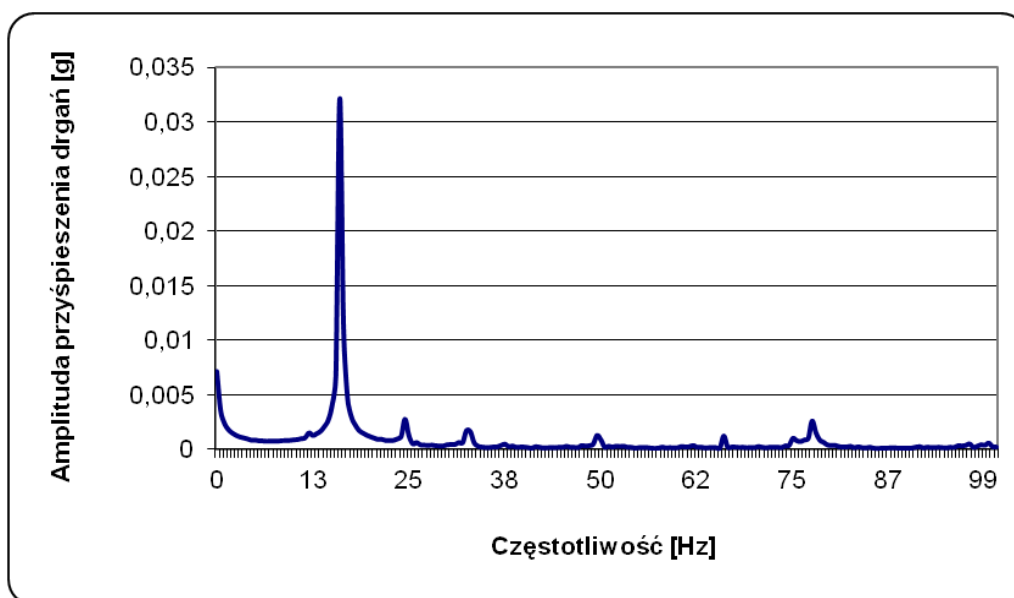


Rys. 6: Współczynnik przenoszenia drgań dla modelu z rys. 5

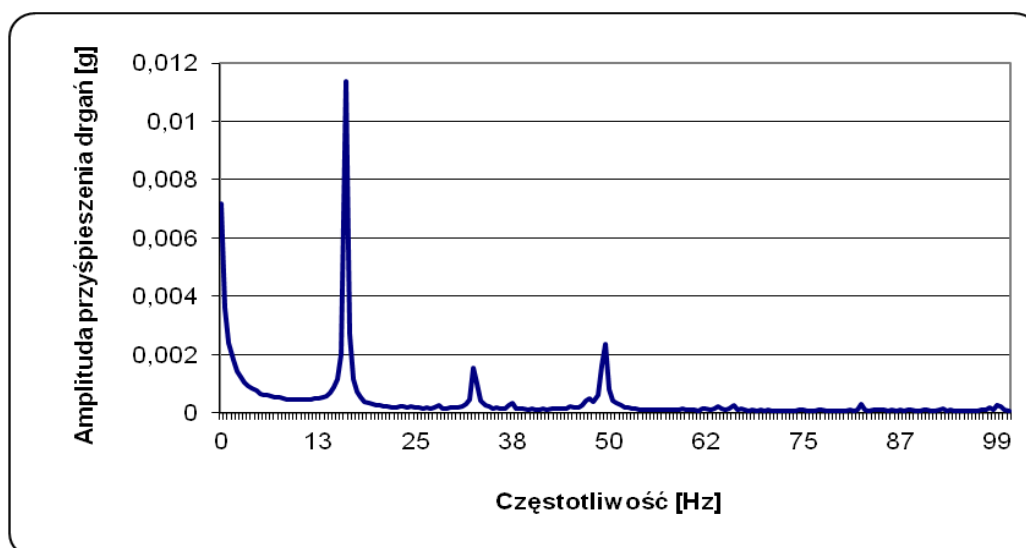
4. WYNIKI POMIARU DRGAŃ

Na rys. 7 pokazano amplitudy przyspieszenia drgań dla wybranego punktu pomiarowego na stropie przed i po zastosowaniu wibroizolacji dwustopniowej. Z rys. 7 wynika, że przy zastosowaniu masy dodatkowej 800 kg w zakresie krytycznej częstotliwości tj. 16 Hz nastąpiło ponad dwukrotne zmniejszenie amplitudy przyspieszenia drgań stropu, co potwierdza skuteczność zastosowanej dwustopniowej wibroizolacji wstrząsarki.

a)



b)



Rys. 7: Widmo amplitud przyspieszenia drgań stropu

a) przy wibroizolacji jednostopniowej b) przy wibroizolacji dwustopniowej.

Uzyskana redukcja drgań stropu mogłaby być wyższa, gdyby nie fakt, że podstawowa częstotliwość drgań własnych stropu zbliżona była również do 16 Hz. Oznacza to, że mamy do czynienia ze zjawiskiem rezonansu wymuszeń pochodzących od wstrząsarki z drganiami własnymi stropu, co osłabia efekt wibroizolacji.

5. PODSUMOWANIE

Przeprowadzona analiza na przykładzie wstrząsarki wykazała, że w przypadku urządzeń działających wibracyjnie niejednokrotnie występuje przenoszenie drgań roboczych na elementy mocujące i podpierające jak również na konstrukcje budynków. W takich przypadkach wibroizolacja jednostopniowa często nie wystarcza dla zapewnienia redukcji drgań. Dzięki zastosowaniu pasywnej wibroizolacji dwustopniowej można uzyskać dalszą redukcję drgań przenoszonych na elementy mocujące i podpierające. Należy jednak podkreślić, że częstotliwości drgań własnych np. stropu oraz innych elementów podparcia lub zawieszenia mogą być zbliżone do częstotliwości roboczych urządzeń wibracyjnych. W celu eliminacji zjawisk rezonansowych konieczne jest również usztywnienie konstrukcji wsporczych, do których urządzenia te są mocowane.

LITERATURA

1. Beranek, L., Ver, I.: Noise and Vibration Control Engineering, Wiley, 2005
2. Moore, S.: Analytical modelling of single and two stage vibration isolation systems, Acoustics Conference, Gold Coast, 2011
3. Goliński, J.: Wibroizolacja maszyn i urządzeń, WNT, Warszawa, 1979