

Janusz ZACHWIEJA<sup>1</sup>

## **DRGANIA OBIEKTÓW W POBLIŻU MASZYN O UDAROWYM CHARAKTERZE PRACY**

**Streszczenie:** W pracy rozważano zagadnienie wpływu na otoczenie drgań generowanych przez maszynę o udarowym charakterze pracy. Oddziaływanie to jest szczególnie niekorzystne, gdy maszyna jest zlokalizowana w pobliżu izby pomiarowej.

**Słowa kluczowe:** drgania maszyn, tłumienie, transmisja

### **1. WSTĘP**

Drgania są zjawiskiem niekorzystnym, gdyż prowadzą do szybkiego zużycia elementów poddawanych cyklicznym wymuszeniom. Istnieje jednak liczna grupa maszyn, których charakter pracy jest z natury udarowy. Są to młyny, przesiewacze, prasy i wiele innych. Obiekty te są zazwyczaj posadowione na własnych fundamentach. Te jednak rzadko kiedy są w stanie zapewnić właściwe warunki izolacji od innych urządzeń zlokalizowanych w ich sąsiedztwie [1]. Jest rzeczą zrozumiałą, że intensywność przenoszenia drgań, a także osiadanie fundamentów jest uzależnione nie tylko od sposobu ich wykonania, ale przede wszystkim własności wytrzymałościowych gruntu, zależnej od jego struktury geologicznej [2]. Jeżeli w strukturze gruntu przeważa tzw. kurzawka, lub wody gruntowe zalegają stosunkowo płytko, to istnieje ryzyko, że nawet posadowienie maszyn na fundamencie palowym nie zabezpieczy go przed osiadaniem, gdy maszyny wzbudzają drgania o dużej energii. Generalnie lepszy efekt tłumienia drgań uzyskuje się wówczas, gdy podejmowane działania zmierzają w kierunku ograniczenia wielkości wymuszenia niż wówczas, gdy usiłuje się ograniczyć jego skutki [3, 4]. Istotną kwestią jest również to, na jakie obiekty przenoszone są drgania generowane przez maszyny. Naprawdę duży problem pojawia się wówczas, gdy jest to na przykład budynek laboratorium lub izby pomiarowej wyposażonej w precyzyjne przyrządy. Znaczny wpływ drgań na dokładność pomiaru może uniemożliwić prawidłowe funkcjonowanie takiej komórki.

W pracy przeanalizowano zagadnienie tłumienia drgań stanowiska pomiarowego w budynku laboratorium zlokalizowanym blisko przemiałowni, gdzie

---

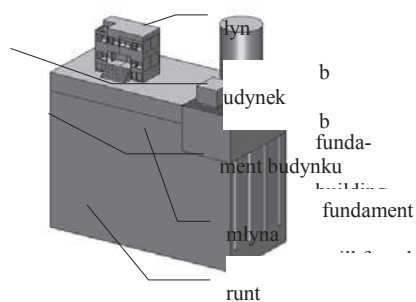
<sup>1</sup> Dr inż. Janusz Zachwieja, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Instytut Technologii i Konstrukcji, Zakład Mechaniki Stosowanej, ul. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-789 Bydgoszcz, e-mail: jz@zmp.com.pl, tel. +48-697-055-475

Janusz ZACHWIEJA

pracuje pionowy młyn rolowo-misowy. Udarowy charakter pracy wynika z konstrukcji młyna. Układ rozdrabniania składa się z trzech ról toczących się po tzw. misie. Zazwyczaj mielony materiał ma postać spieku uformowanego w bryły, które nie zostały rozbite przez kruszarkę młotkową posadowioną na wylocie surowca z chłodnika. Jeżeli rola natrafi na bryłę, może podnieść górną część układu mielącego, a po jej rozkruszeniu opada uderzając w dolną część misy. Drgania towarzyszące tym efektom przenoszone są poprzez fundament młyna oraz grunt na budynek laboratorium a poprzez stropy w ściany na jego wyposażenie.

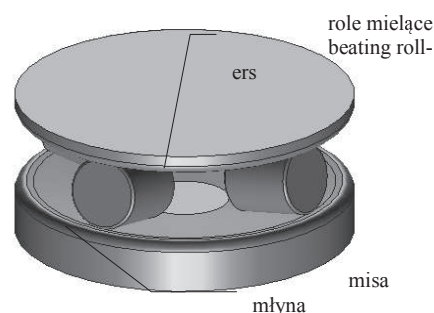
## 2. OPIS PROBLEMU

Położenie budynku laboratorium względem młyna jest przedstawione na rysunku 1. Odległość między obiektami wynosi około 200 m. Młyn jest posadowiony na fundamencie blokowym o wymiarach 10x10x3 m podpartym na palach o wysokości 15 m. Pogląd o konstrukcji młyna z układem rolowo-misowym daje rysunek 2.



Rys. 1. Schemat usytuowania młyna względem budynku

Fig. 1 Location of the mill relatively to a building



Rys. 2. Misa z rolami będąca elementem młyna wzbudzającym drgania

Fig. 2. A pan with beating rollers which is the mill's element that is exciting the vibrations

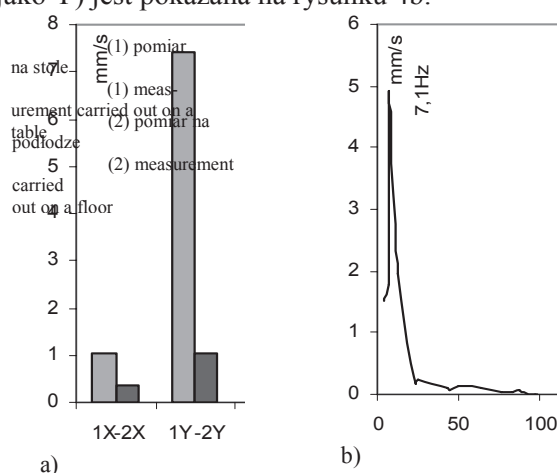
Obszar o dużej energii drgań fundamentu młyna występuje dla częstotliwości pomiędzy 4 Hz a 9 Hz. Najwyższe wartości amplitud przyspieszenia osiągają dla częstotliwości 7,1 Hz poziom  $0,05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ . Pomiar wykonany blisko fundamentu młyna dowodzą istnienia ogólnie dobrych warunków izolacji drgań o tłumieniu rzędu 20 dB. W niektórych jednak miejscach własności tłumiące wibroizolacji są niskie, zwłaszcza w pobliżu częstotliwości  $\sim 7$  Hz. To niekorzystne zjawisko jest spowodowane niedostateczną sztywnością gruntu. We wszystkich punktach pomiarowych na fundamencie młyna widoczne jest wzbudzenie o częstotliwości 7,1 Hz. Powstająca w gruncie fala poprzeczna propaguje się w kierunku budynku. Deformacja stropu piętra przy częstotliwości 7,1 Hz jest wymuszona częstotliwością drgań własnych budynku. Wystąpienie rezonansu pociąga za sobą znaczące przemieszczenie ścian w przeciwnych kierunkach. Stoły, na których spoczywa aparatura pomiarowa, mają częstotli-

wość drgań własnych 7,8 Hz. Zespół tych czynników powoduje, że amplitudy drgań stanowisk pomiarowych przekraczają wartości dopuszczalne.

W celu określenia najbardziej efektywnego sposobu zmniejszenia amplitud drgań wszystkich stanowisk pomiarowych laboratorium przeprowadzono symulacje numeryczne przenoszenia się wzbudzenia przez grunt na fundament budynku, oraz odpowiedzi układu na zadane wymuszenia w warunkach tłumienia aktywnego oraz pasywnego.

### 3. MODELOWANIE DRGAŃ UKŁADU STROP-STÓŁ POMIAROWY

Na rysunku 3. przedstawiono wygląd jednego z kilku stanowisk pomiarowych zlokalizowanych w laboratorium. Wartości skuteczne prędkości drgań zmierzone na pulpicie stołu oraz na stropie obok stołu zestawione są na Rysunku 4a. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa prędkości drgań pionowych stołu (kierunek oznaczony jako Y) jest pokazana na rysunku 4b.



Rys. 3. Widok stanowiska laboratoryjnego oraz rozmieszczenie punktów pomiaru drgań stolika

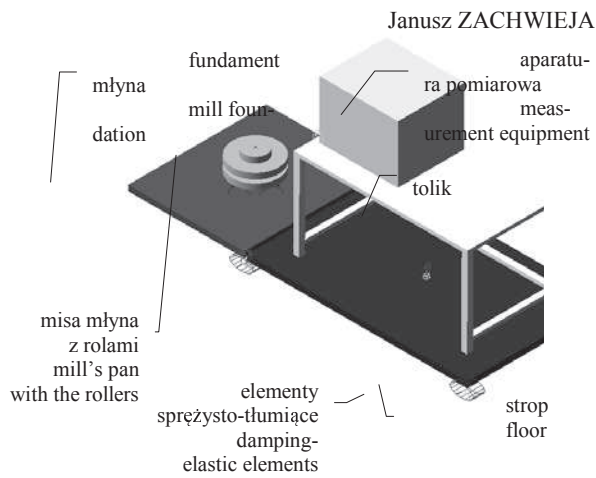
Rys. 4. RMS (wartość skuteczna) (a) oraz charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa prędkości drgań stołu (b)

Fig. 3. A view of a laboratory stand including the distribution of the table's vibration measure points

Fig. 4. RMS (root-mean-square) values and the amplitude-frequency characteristic of table vibration velocity

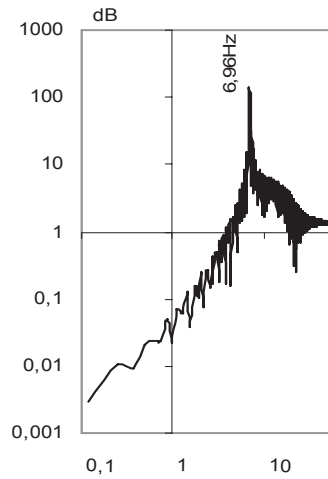
Modelowanie drgań stanowiska przeprowadzono przy wykorzystaniu metody dynamiki układów wielocłonowych MSD (Multibody System Dynamics).

Stół z przyrządami pomiarowymi jest modelowany jako bryła sztywna, podobnie jak strop laboratorium, którego połączenia ze ścianami i fundamentami budynku stanowią elementy sprężysto-tłumiące. Pomiędzy podłogą i stołem występuje oddziaływanie kontaktowe.



Rys. 5. Model zastosowany w analizie numerycznej

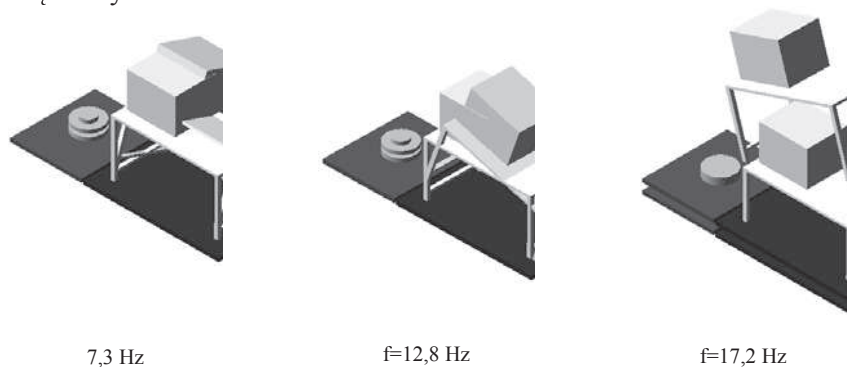
Fig. 5. Model used for numerical analysis



Rys. 6. Charakterystyka Bodego prędkości drgań modelu

Fig. 6. Bode diagram of the model vibration velocity

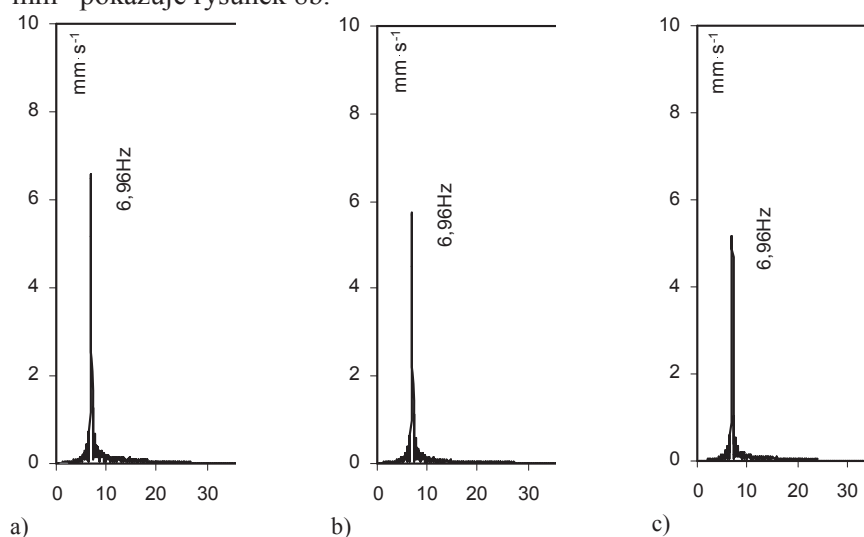
Wymuszenie młyna wynika z dynamiki układu rolowo-misowego. Górna tarcza wykonuje drgania o częstotliwości  $\sim 7$  Hz, co odpowiada warunkom występującym w rzeczywistości. Częstotliwości drgań własnych stanowiska pomiarowego zostały tak dobrane, aby były zgodne z wartościami wyznaczonymi doświadczalnie. Obszar rezonansu występującego przy częstotliwości  $\sim 7$  Hz jest zaznaczony na charakterystyce amplitudowo-częstotliwościowej o skali logarytmicznej (charakterystyka Bodego). Można z niej wywnioskować, że przyjęta w analizie numerycznej wartość tłumienia w obszarze rezonansu nie jest duża. Pierwsze postacie drgań własnych stanowiska pomiarowego przedstawione są na Rys. 7.



Rys. 7. Postacie odpowiadające pierwszym częstotliwościom drgań własnych stolika

Fig. 7. The forms corresponding to the table's proper vibration frequencies

Analiza numeryczna została przeprowadzona dla trzech wariantów wymuszenia. Pierwszy odpowiada przypadkowi jaki występuje obecnie, tj. gdy wzbudzenie pracą młyna jest przenoszone poprzez fundament budynku i strop na stanowisko pomiarowe przy tłumieniu występującym w kontakcie stropu ze stołem (Rys. 8a). Efekt usytuowania pomiędzy stropem i podstawą stołu izolacji w postaci podkładek elastomerowych o współczynniku tłumienia wynoszącym  $5 \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{mm}^{-1}$  pokazuje rysunek 8b.



Rys. 8. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa prędkości drgań: a) stołu - tłumienie w strefie kontaktu ze stropem, b) stołu opartego na podkładkach o dużym tłumieniu, c) stołu w warunkach izolacji fundamentu

Fig. 8. Amplitude-frequency characteristic of vibrations' velocity: a) of the table - dumping in the area of contact between the table and the floor, b) of the table supported by highly dumping washer, c) of the table in the conditions of the floor isolation

Wyniki obliczeń wskazują, że prędkość drgań obniży się zaledwie o  $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ . Przyjęcie tego wariantu tłumienia oznacza również, że podkładki należy wprowadzić dla każdego stanowiska. Pozostaje wówczas nierozwiązany problem tłumienia drgań przewodów instalacji wodnej i gazowej. Rysunek 8c obrazuje efekt jaki powinien wystąpić w przypadku zmniejszenia sztywności gruntu przy jego połączeniu z fundamentem budynku poprzez wykonanie ściany szczelinowej między gruntem a fundamentem budynku.

## WNIOSKI

Tłumienie drgań stropu budynku oraz ustawionego na nim wyposażenia laboratorium pomiarowego, w przypadku wymuszenia oddziaływaniem sił zewnętrznych stanowi problem o złożonej naturze. Aparatura kontrolno-pomiarowa wymaga użytkowania jej w warunkach określonego standardu gwarantującego zachowanie dokładności pomiaru. W przypadku, gdy wymu-

Janusz ZACHWIEJA

szenie spowodowane pracą zlokalizowanych w sąsiedztwie maszyn jest zbyt duże dochodzi nawet do jej uszkodzenia. Ograniczenie poziomu drgań przenoszonych przez grunt jest zatem bezwzględnie konieczne. Tłumienie drgań poszczególnych stanowisk pomiarowych, choć wydaje się sposobem tańszym, w rzeczywistości może nie spełnić wymagań.

Wibroizolacja o charakterze aktywnym wykazuje wówczas przewagę nad wibroizolacją pasywną, bowiem dzięki niej uzyskujemy efekt zmniejszenia wielkości wymuszenia działającego na wszystkie stanowiska. Częstotliwości drgań własnych każdego z zestawów wyposażenia laboratorium są w każdym przypadku inne. Faktycznie zatem dla każdego stanowiska należałoby przeprowadzić analizę charakteru jego drgań i pod tym kątem dokonać wyboru tłumika. Najlepszy skutek tłumienia uzyskuje się w przypadku, gdy drgania mają charakter rezonansowy. Taki stan był modelowany w prezentowanej pracy. Częstotliwość wymuszenia wynosiła  $\sim 7$  Hz, natomiast częstotliwość drgań własnych stanowiska miała wartość 7,3 Hz. Uzyskana efektywność tłumienia nie była duża mimo, iż przyjęta wartość współczynnika tłumienia wynosiła  $5 \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{mm}^{-1}$ . Lepszy wynik został osiągnięty wówczas, gdy zmniejszono lokalnie sztywność gruntu. Można to osiągnąć poprzez odgrózenie fundamentu budynku od strony młyna szczeliną dylatacyjną, która zostałaby wypełniona elastomerem o określonych własnościach wytrzymałościowych i tłumiących.

## LITERATURA

- [1] ZACHWIEJA J., GOŁĘBIEWSKA I.: Efektywność wybranych metod ochrony przeciwdrganiowej konstrukcji wsporczej separatorów. Budownictwo Ogólne, Wydawnictwa Uczelniane UTP, Bydgoszcz 2009, 119-126.
- [2] ZACHWIEJA J.: Numerical modelling of vibration of machine foundations with percussive characteristics of work, Developments in Machinery Design and Control No. 5, Wydawn. Uczeln. ATR, Bydgoszcz 2007, 83-96.
- [3] GOŁĘBIEWSKA I., SAKIEWICZ W.: Minimalizacja drgań fundamentu z maszyną. Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 3, 2006, s. 30-31.
- [4] ZACHWIEJA J., PESZYŃSKI K.: Vibroisolators application for damping vibration in industrial fans, Engineering Mechanics, National Conference with International Participation. SVRATKA, Czech Republic, 2008, 1390-1401.
- [5] ZACHWIEJA J.: The role of vibroisolators in damping an radial fan's vibration. Diagnostyka, 44, 2007, 113-118.

## VIBRATION OF OBJECTS LOCATED NEARBY THE MACHINES OF PERCUSSIVE NATURE OF WORK

**Summary:** The research work considers the problem of influence on the environment of vibration generated by the machine of percussive nature of work. That influence is especially disadvantageous, when the machine is located near the measurements room by which location is disturbing functioning of apparatus.

**Key words:** machine vibration, damping, vibroisolation, transmission