

**BEDNARZ Jarosław, TARGOSZ Jan**

## **ANALIZA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA MATERIAŁÓW ELASTOMEROWYCH W SYSTEMACH WIBROIZOLACJI**

### *Streszczenie*

*Rozwiązanie problemu ograniczenia rozprzestrzeniania się emisji sygnałów dynamicznymi i akustycznymi od transportu kolejowego i ruchu drogowego wymaga zastosowania nowych materiałów elastomerowych charakteryzujących się zarówno wysoką izolacyjnością akustyczną jak również stanowiących część systemu wibroizolacji między źródłem drgań związanych z ruchem pojazdów i konstrukcji budowlanych. W nowych systemach wibro- i dźwiękoizolacji z wykorzystaniem nowych materiałów elastomerowych, należy wziąć pod uwagę silne zależności między fizyko-mechanicznymi właściwościami tych materiałów oraz wartościami statycznego i dynamicznego obciążenia, które oddziałują na te materiały. Innym problemem, który wiąże się z zastosowaniem materiałów elastomerowych jest wpływ wielkości stosowanego elementu na wartości ich parametrów fizyko-mechanicznych. W związku z tym, stosowanie materiałów elastomerowych w systemach wibro- i dźwiękoizolacji wymaga przeprowadzenia na etapie wyboru materiałów szeregu badań, które pozwolą na określenie właściwości materiałów pod kątem konkretnego zastosowania. Prawdłowo przeprowadzony proces doboru materiałów pomaga osiągnąć pożądany efekt, którym jest zbudowanie dobrze funkcjonujący w systemach wibro- i dźwiękoizolacji. Bez odpowiednio przeprowadzonego procesu doboru materiałów można osiągnąć efekt odwrotny do zamierzonego. W pracy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych przeprowadzonych w celu określenia właściwości fizyko-mechanicznych elastomeru, który może być stosowany między innymi jako elastyczne łożyska w konstrukcji budowli inżynierskich. Elastyczne węzły łożyskowe mogą być klasyfikowane jako systemy wibroizolacji najnowszej generacji. Badania zostały również przeprowadzone w celu oceny możliwości wykorzystania tych materiałów w systemach izolacji akustycznej sal koncertowych i sal konferencyjnych. W artykule zaprezentowano metodologię oceny parametrów fizyko-mechanicznych elastomerów, które powinna stać się standardem w projektowaniu systemów wibro- i dźwiękoizolacji w oparciu o materiały elastomerowe.*

### **WSTĘP**

Zapobieganie procesowi rozprzestrzeniania się oddziaływań dynamicznych do środowiska, emisji dźwięku lub drgań materiałowych wymaga zastosowania nowych rozwiązań materiałowych spełniających zagadnienia wibroizolacji tzn. izolacji drganiowej, pomiędzy źródłem emisji drgań a otoczeniem. W tych nowych rozwiązaniach opartych o ideę zastosowania materiałów elastomerowych [5, 6], ekonomicznie znacznie tańszych od naturalnych kaucuków, istotnym są własności fizyko-mechaniczne elastomerów, które decydują czy spełniają one warunki narzucone z punktu widzenia minimalizacji oddziaływań dynamicznych od środków transportu kołowego na otoczenie. Ograniczenie oddziaływań wibroakustycznych do środowiska polega głównie na zastosowaniu elementów elastycznych stosowanych pomiędzy źródłem energii wibroakustycznej a otoczeniem. Użycie tych

rozwiązań może przynieść pozytywne efekty w zakresie ograniczenia energii wibroakustycznej w tym wibroizolacji drgań oraz tłumienia dźwięków materiałowych pod warunkiem prawidłowego doboru elementów tłumiących w postaci mat elastomerowych.

W pracy przedstawiono wyniki badań doświadczalnych parametrów fizyko-mechanicznych wybranych materiałów elastomerowych typu Cisador B oraz Cipremont firmy Calenberg, które mają być zastosowane w systemie wibro- i dźwiękoizolacji nowopowstającego budynku użyteczności publicznej. W artykule przedstawiono również metodykę badań nowych materiałów elastomerowych stosowaną w Katedrze Robotyki i Mechatroniki AGH [7, 8], która zdaniem autorów powinna stanowić standard przy doborze materiałów wibro- i dźwiękoizolujących w nowo projektowanych konstrukcjach inżynierskich.

## 1. OPIS PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

Obecnie wytwarzanych jest wiele materiałów gumowo-elastomerowych i tworzyw sztucznych, których własności wytrzymałościowe oraz parametry fizyko-mechaniczne spełniają warunki zakładane w trakcie projektowanie systemów wibro- i dźwiękoizolacji konstrukcji mechanicznej. Spełnienie warunków wytrzymałościowych jest bardzo istotne, ale niewystarczające do ostatecznego dokonania wyboru i zastosowania elementu gumowo-elastomerowego w celach wibroizolacji. Oprócz dostatecznej wytrzymałości element wibroizolujący musi spełniać wiele innych wymagań ogólnych oraz wymagań dodatkowych dotyczących tworzyw sztucznych stosowanych jako elementy wibroizolacyjne. Jednymi z nich są właśnie własności fizyko-mechaniczne elementów elastomerowych [9]. W związku z tym koniecznym jest przeprowadzenie na etapie projektu badań tych własności pod kątem konkretnego rozwiązania systemów wibroizolacji. Podstawowymi parametrami fizyko-mechanicznymi mającymi wpływ na stosowalność danych materiałów ma ich sztywność oraz współczynnik tłumienia. W związku z tym autorzy przeprowadzili badania mat elastomerowych firmy Calenberg, których głównymi celami było:

1. określenie sztywności dynamicznej próbki materiału elastomerowego Cisador typ B o grubości 30 [mm] przy wstępnych naprężeniach ściskających 0,06 [N/mm<sup>2</sup>] oraz 0,25 [N/mm<sup>2</sup>],
2. określenie sztywności dynamicznej próbki materiału elastomerowego Cipremont o grubości 35 [mm] przy wstępnych naprężeniach ściskających 0,50 [N/mm<sup>2</sup>] oraz 1,50 [N/mm<sup>2</sup>],
3. badania dynamiczne próbek materiałów elastomerowych w zakresie częstotliwości od 4 do 20 [Hz] z krokiem 2 [Hz].

Zakresy wartości naprężeń oraz zakres częstotliwości, w którym przeprowadzone zostały badania wynikał z ustaleń pomiędzy autorami, a zleceniodawcą badań, którym była znana, polska firma budowlana. Szczegółowy zakres prowadzonych badań obejmował:

1. badania własności dynamicznych próbek materiałów elastomerowych na statyczno-dynamicznej maszynie wytrzymałościowej,
2. wyznaczenie parametrów fizyko-mechanicznych próbek materiałów elastomerowych na podstawie zarejestrowanych zależności odkształcenia próbek od obciążenia.
3. Opracowanie wyników badań.

Do badań wykorzystano statyczno-dynamiczną maszynę wytrzymałościową typu INSTRON 8872 (rys. 1) oraz oprogramowanie Instron BlueHill i Instron WaveMatrix.



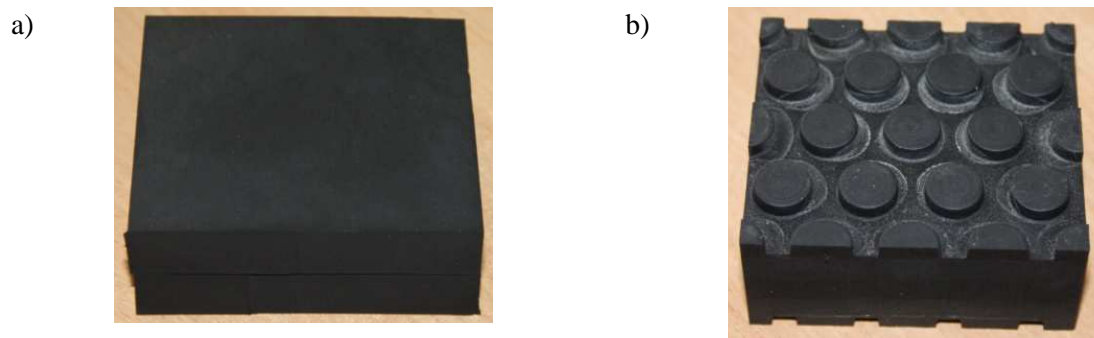
**Rys. 1.** Statyczno-dynamiczna maszyna wytrzymałościowa INSTRON 8872

Źródło: materiały własne autorów

Maszyna umożliwia uzyskanie maksymalnej siły osiowej ściskającej lub rozciągającej równej 10 [kN] oraz rejestrację wartości odkształcenia oraz siły z częstotliwością próbkowania do 5 [kHz]. Maszyna wykorzystana w badaniach posiada aktualny certyfikat wzorcowania głowicy siły z dnia 21 stycznia 2013 i została zaklasyfikowana do urządzeń pomiarowych klasy 0.5.

W trakcie prowadzonych badań wyznaczono parametry fizyko-mechaniczne materiałów elastomerowych Cisador B oraz Cipremont firmy Calenberg. Ze względu na maksymalną wartość siły osiowej maszyny wytrzymałościowej wykorzystywanej w badaniach, powierzchnię jej tłoka oraz ustalenia ze zleceniodawcą badań dostarczone płyty z materiałów elastomerowych zostały docięte na wymiar 80 x 70 [mm] z wykorzystaniem metody cięcia wodą, dzięki czemu nie wprowadzono do próbek wstępnych naprężeń termicznych.

Docelowa próbka materiału Cisador B składała się z dwóch warstw o grubości 15 [mm] każda położonych luźno jedna na drugiej (rys. 2) a na rysunku 3 pokazana jest docelowa próbka materiału Cipremont. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe parametry geometryczne badanych próbek.



**Rys. 2.** Zdjęcia badanej próbki z materiału Cipremont (a) Cisador B (b)

Źródło: materiały własne autorów

**Tab. 1.** Wymiary geometryczne badanych próbek

Lp.	Materiał	Szerokość [mm]	Długość [mm]	Grubość [mm]	Pole powierzchni [mm <sup>2</sup> ]
1	Cisador typ B	70	80	30 (2 warstwy złożone razem)	5600
2	Cipremont	70	80	35	5600

## 2. WYNIKI PROWADZONYCH BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

Prowadzone badania mające na celu określenie wartości wybranych parametrów fizyko-mechanicznych mat elastomerowych podzielone zostały na dwa podstawowe etapy:

1. etap pierwszy - wyznaczenie modułu sztywności dynamicznej próbek płyt elastomerowych w zależności od zadanego obciążenia wstępnego,
2. etap drugi - wyznaczenie modułów sprężystości, modułów sztywności dynamicznej oraz współczynników tłumienia próbek płyt elastomerowych poddanych obciążeniu harmonicznemu w zależności od zadanego obciążenia wstępnego.

Zgodnie z wymaganiami Zleceniodawcy badania przeprowadzono dla dwóch wartości naprężenia wstępnego dla każdego z badanych materiałów. Dla materiału Calenberg Cisador B wartości naprężenia wstępnego  $\sigma_D$  wynosiły 0,06 [N/mm<sup>2</sup>] oraz 0,25 [N/mm<sup>2</sup>], a dla materiału Calenber Cipremont - 0,5 [N/mm<sup>2</sup>] oraz 1,5 [N/mm<sup>2</sup>].

Badania prowadzone w etapie pierwszym polegały na osiowym obciążaniu badanych próbek siłą od wartości zero do wartości powodującej uzyskanie w próbkach zadanego poziomu naprężenia wstępnego z prędkością ruchu tłoka maszyny równą 1 [mm/s] przy równoczesnej rejestracji zależności pomiędzy odkształceniem próbek a wartością siły ściskającej.

Wartość modułu sztywności dynamicznej badanej próbki dla zadanej wartości obciążenia wstępnego  $E_{dyn}(\sigma_D)$  wyznaczana była z następującego wzoru:

$$E_{dyn}(\sigma_D) = \frac{\sigma_D}{\varepsilon} \quad (1)$$

gdzie:

$\varepsilon = \frac{d}{d_0}$  - względne odkształcenie liniowe próbki,

$d$  - liniowe odkształcenie próbki pod wstępnym obciążeniem równym  $\sigma_D$ .

Wartości modułu sztywności dynamicznej obliczone na podstawie pomiaru zależności siły od odkształcenia dla próbek materiału Cisador B oraz Cipremont przedstawione są w tabeli 2.

**Tab.2.** Wartości modułu sztywności dynamicznej próbek materiału Cisador B oraz Cipremont

CISADOR B		
Lp.	Naprężenie wstępne $\sigma_D$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Moduł sztywności dynamicznej $E_{dyn}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	0,06	2,19
2	0,25	1,42
CIPREMONT		
Lp.	Naprężenie wstępne $\sigma_D$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Moduł sztywności dynamicznej $E_{dyn}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	0,5	3,72
2	1,5	12,25

Źródło: opracowanie własne autorów

Analizując wyniki przedstawione w tabeli 2 można zauważyć, że istnieje silna zależność pomiędzy wartości dynamicznego modułu sztywności, a wartością zadanego wstępnego naprężenia osiowego. Wynika z tego jasno, że należy uwzględnić wartość obciążenia wstępnego przy doborze materiałów elastomerowych do konkretnych zastosowań w systemach wibroizolacji.

W drugim etapie prowadzonych badań próbka była wstępnie obciążana aż do osiągnięcia wartości wstępnego naprężenia  $\sigma_D$ . Następnie maszyna utrzymywała przez 5 minut zadaną

wartość naprężenia wstępnego w celu relaksacji próbki oraz zapewnienia równomierności jej obciążenia. Po upływie tego czasu próbka poddawana była sinusoidalnemu obciążeniu harmonicznemu z zadaną amplitudą drgań równą 0,1 [mm] oraz częstotliwością  $f$  zmieniającą się od 4 do 20 [Hz] z krokiem 2 [Hz] zgodnie z wymaganiami Zleceniodawcy. W trakcie badań rejestrowana była zależność odkształcenia liniowego próbki od zmiany wartości siły osiowej. Następnie wyznaczono wartość dynamicznego modułu sztywności dla danej częstotliwości  $E_{dyn}(\sigma_D, f)$  na podstawie zależności:

$$E_{dyn}(\sigma_D, f) = \frac{P_{max} \cdot l}{A \cdot \Delta l} \quad (2)$$

gdzie:

$P_{max}$  - wartość siły powodującej maksymalną zmianę grubości próbki,

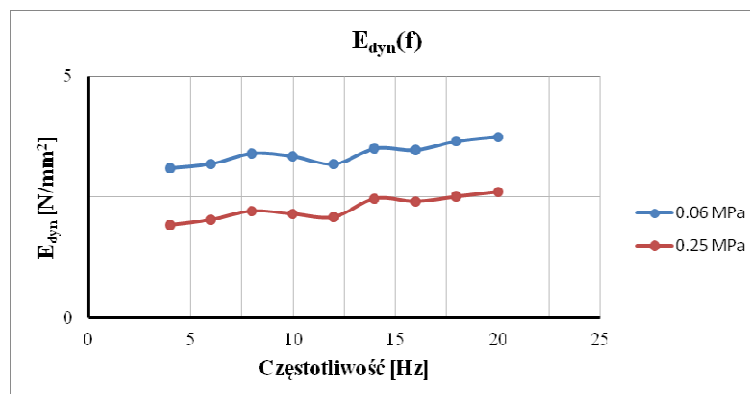
$l$  - grubość próbki pod wstępnym obciążeniem równym  $\sigma_D$ .

$A$  - pole powierzchni próbki pod wstępnym obciążeniem równym  $\sigma_D$ ,

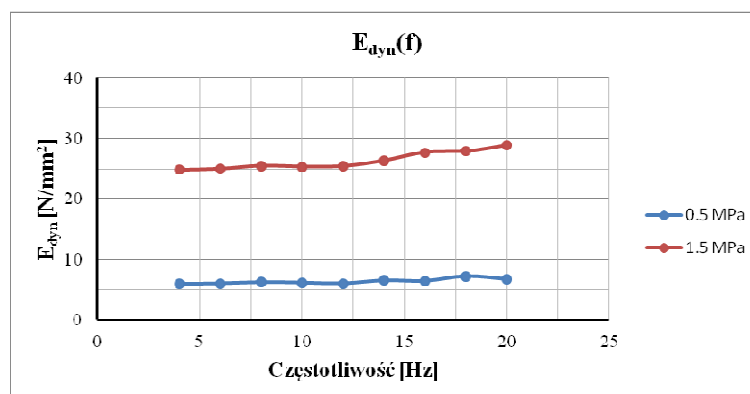
$\Delta l$  - maksymalna zmiana grubości próbki pod działaniem siły  $P_{max}$ .

Na rysunku 3 przedstawiono wyznaczone zależności pomiędzy wartością dynamicznego modułu sztywności, a częstotliwością wymuszenia dla obydwu badanych próbek materiałów elastomerowych.

a)



b)



**Rys. 3.** Wartość dynamicznego modułu sztywności próbek materiału Cisador B (a) and Cipremont (b) w funkcji częstotliwości wymuszenia

Źródło: opracowanie własne autorów

Następnie wyznaczono wartość dynamicznego objętościowego modułu sprężystości dla danej częstotliwości  $C_{g,dyn}(\sigma_D, f)$  na podstawie zależności:

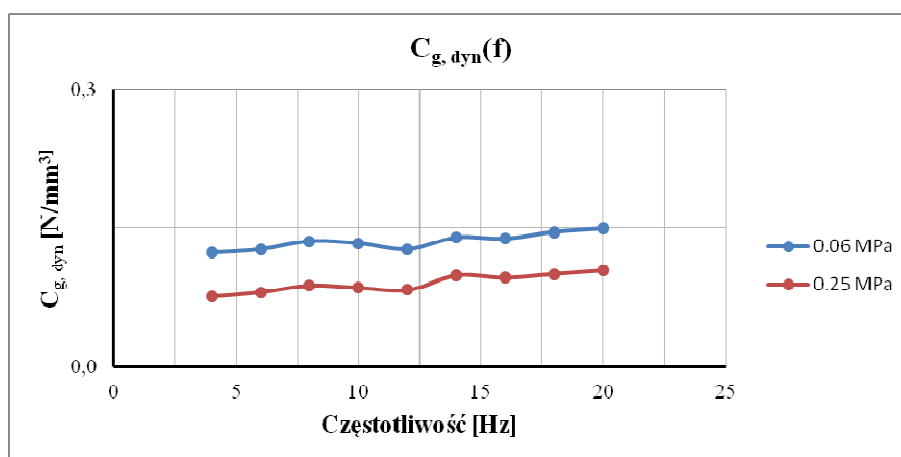
$$C_{g,dyn}(\sigma_D, f) = \frac{E_{dyn}(\sigma_D, f)}{d_0} \quad (3)$$

gdzie:

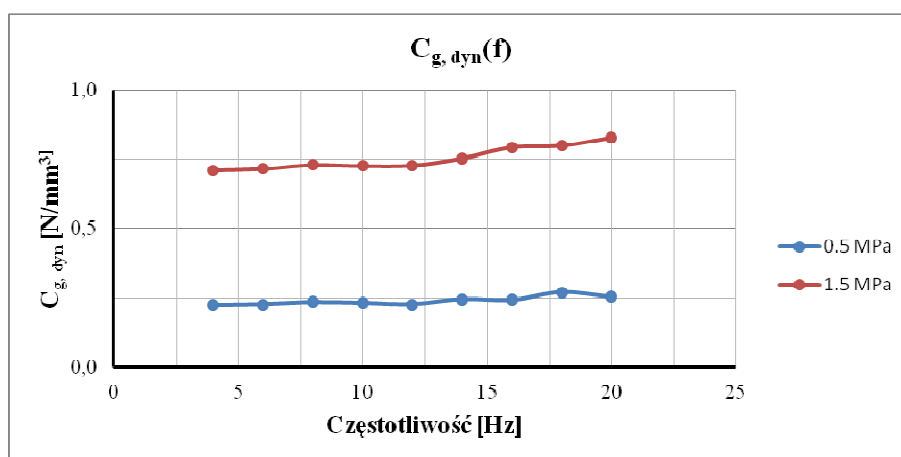
$E_{dyn}(\sigma_D, f)$  - moduł sztywności dynamicznej badanej próbki dla zadanej wartości obciążenia wstępnego i zadanej częstotliwości.

Na rysunku 4 przedstawiono wyznaczone zależności pomiędzy wartością dynamicznego objętościowego modułu sprężystości, a częstotliwością wymuszenia dla obydwu badanych próbek materiałów elastomerowych.

a)



b)



**Rys. 4.** Wartość dynamicznego objętościowego modułu sprężystości próbek materiału Cisador B (a) and Cipremont (b) w funkcji częstotliwości wymuszenia

Źródło: opracowanie własne autorów

W kolejnym kroku wyznaczono wartości dynamicznego współczynnika tłumienia  $\vartheta(\sigma_D, f)$  dla zadanej częstotliwości na podstawie wzoru:

$$\vartheta(\sigma_D, f) = \frac{C_{g,dyn}(\sigma_D, f) \cdot \sin \varphi_{F,z}}{4 \cdot \pi \cdot f} \cdot \sqrt{\frac{g}{C_{g,dyn}(\sigma_D, f) \cdot \sigma_D \cdot \cos \varphi_{F,z}}} \quad (4)$$

gdzie:

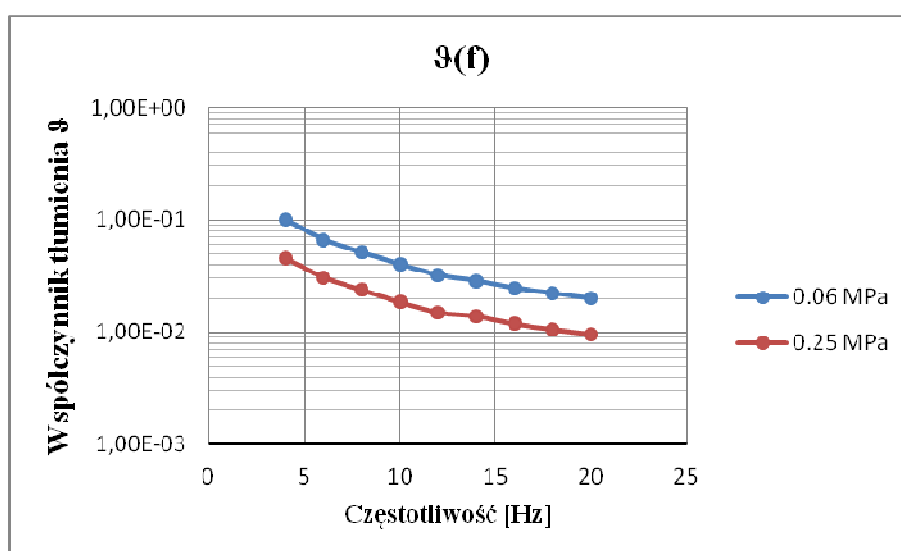
$C_{g,dyn}(\sigma_D, f)$  - dynamiczny objętościowy moduł sprężystości badanej próbki dla zadanej wartości obciążenia wstępnego i zadanej częstotliwości,

$f$  - zadana częstotliwość,

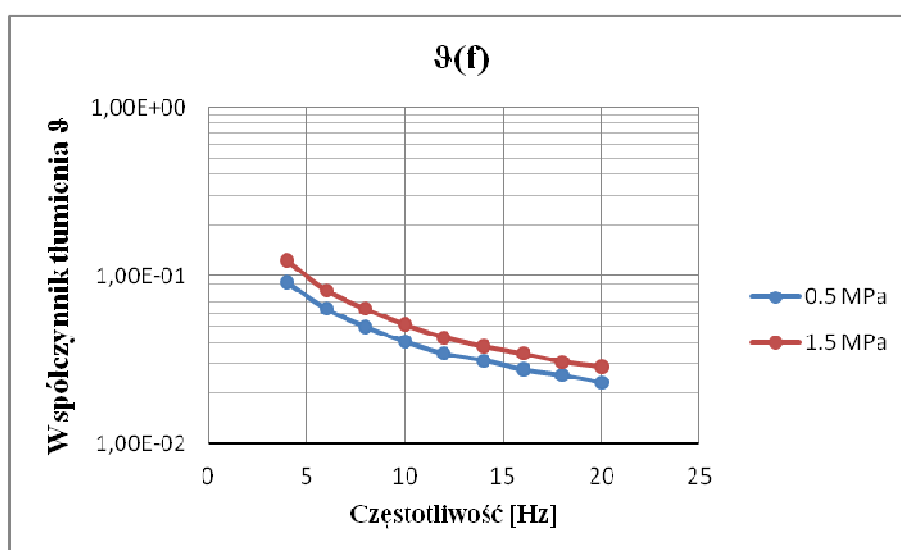
$\varphi_{F,z}$  - kąt przesunięcia fazowego pomiędzy przebiegiem siły osiowej i odpowiadającego mu odkształcenia.

Na rysunku 5 przedstawiono wyznaczone zależności pomiędzy wartością dynamicznego współczynnika tłumienia, a częstotliwością wymuszenia dla obydwu badanych próbek materiałów elastomerowych.

a)



b)



**Rys. 5.** Wartość dynamicznego współczynnika tłumienia próbek materiału Cisador B (a) and Cipremont (b) w funkcji częstotliwości wymuszenia

Źródło: opracowanie własne autorów

## PODSUMOWANIE

Rezultaty badań eksperymentalnych próbek materiałów elastomerowych prowadzonych przez autorów nie w pełni potwierdziły wyniki badań przeprowadzonych przez ich producenta [1, 2, 3, 4]. Różnice w wynikach mogą być spowodowane:

1. wielkością badanych próbek,
2. nieliniowymi własnościami badanych próbek mat elastomerowych,
3. warunkami zewnętrznymi, w których przeprowadzono badania.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że materiały elastomerowe wykazują silnie nieliniowe własności oraz są bardzo wrażliwe na warunki ich pracy, rozmiar użytych mat oraz zadane naprężenie wstępne. Zmiany wartości parametrów fizyko-mechanicznych w funkcji wielkości stosowanych elementów elastomerowych, wartość wstępnego naprężenia oraz zakresu częstotliwości ich pracy muszą być wzięte pod uwagę w procesie projektowania układów wibroizolacji z ich wykorzystaniem.

Na podstawie przeprowadzonych przez autorów badań eksperymentalnych można stwierdzić, że w procesie projektowania układów wibro- i dźwiękoizolacji z wykorzystaniem materiałów elastomerowych należy bezwzględnie wziąć pod uwagę:

1. wartość wstępnego naprężenia ściskającego, które będzie oddziaływać na matę elastomerową,
2. prawidłowy dobór powierzchni (objętości) wykorzystywanego elementu elastomerowego tak aby wartość wstępnego ugięcia statycznego próbki nie przekraczała wartości kilku procent jej grubości,
3. konieczność przeprowadzenia statycznych i dynamicznych badań eksperymentalnych próbek materiałów tak aby określić rzeczywiste wartości ich parametrów fizyko-mechanicznych pod kątem ich zastosowania jako elementy elastyczne w danym układzie wibro- lub dźwiękoizolacji.

## BIBLIOGRAFIA

1. Calenberg Ingenieure GmbH, *Erfüllung höchster qualitätsansprüche an elastomere lagerungs-technik im bauwesen*, Salzhemmendorf 2010.
2. <http://www.calenberg-ingenieure.com/index.html>
3. *Prüfbericht 03/09 Bestimmung des statischen und dynamischen Materialverhaltens von Flächenlagern des Typs Cipremont NR*, Technische Universität Dresden, Institut für Festkörpermechanik, 2009.
4. *Raport z badań 30/08 Określenie statycznych i dynamicznych cech materiałowych elastycznych podkładek elastomerowych typu Cisador*, Technische Universität Dresden, Institut für Festkörpermechanik, 2008.
5. Sikora, J., Turkiewicz, J., *Sound absorption coefficients of granular materials*, Mechanics and Control, vol. 29, no 3, pp. 149-157, Kraków 2010.
6. Sikora, J., *Warstwy gumowe w rozwiązaniach zabezpieczeń wibroakustycznych*, Wydawnictwa AGH, Kraków 2011.
7. Targosz, J., *Analiza i badania właściwości fizykomechanicznych ustrojów elastomerowych, minimalizujących dynamiczne oddziaływanie podtorza kolejowego na otoczenie*, TTS - Technika Transportu Szynowego, no. 5-6, pp. 87-91, 2008.
8. Targosz, J., *Układy wibroizolacji w transporcie szynowym i samochodowym*, Wydawnictwa Naukowo- Dydaktyczne AGH, Kraków 2007.
9. Zhai, W. M., Wang, K. Y., Lin J.H., *Modelling and experiment of railway ballast vibrations*, Journal of Sound and Vibration, v. 270, 2010.



# ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF THE APPLICATION OF ELASTOMERIC MATERIALS IN VIBRATION ISOLATION SYSTEMS

## *Abstract*

*Solution of the problem of limiting the spread of the dynamic and acoustic emissions from rail and road traffic requires application of new elastomeric materials are characterized by both high acoustic insulation as well as being part of vibroisolation system between the source of vibration associated with the movement of vehicles and construction engineering structure. In the new solutions of vibro- and sound-proof isolation based on the new elastomer materials should be taken into account a strong correlation between physico-mechanical properties of these material and the values of static and dynamic load, which affect on these materials. Another problem, which is associated with the use of elastomer materials is the influence of the volume of used item on their physico-mechanical parameters. Therefore, the use of elastomer materials in vibro- and sound-proof isolation systems requires at the stage of selecting of materials a number of studies that will allows to specify the properties of materials for a specific application. A properly conducted process of selection of materials will help to achieve the desired effect which is to build a well-functioning vibro- and sound-proof isolation system. Without a properly conducted process of selection of materials can be achieved counterproductive result. In the paper the results of experimental studies carried out to determine the physico - mechanical elastomer material that could be used as a flexible bearing in structural engineering constructions are presented. Flexible nodes bearing can be classified as the latest generation of vibroisolation systems. The studies were also performed to assess the possibility of using such materials in sound-proof isolation in concert halls and conference rooms. In the paper the new methodology of assessment of physico-mechanical elastomer materials that could be a standard for the design of vibro- and sound-proof isolation systems and based on such materials in the newly designed civil engineering structures.*

## **Autorzy:**

dr inż. **Jarosław Bednarz** – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Katedra Robotyki i Mechatroniki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: bednarz@agh.edu.pl

dr hab. inż. **Jan Targosz** – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Katedra Robotyki i Mechatroniki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: jantargosz@interia.pl