

BADANIA WŁASNOŚCI WIBROIZOLATORÓW Z ELEMENTAMI MAGNETYCZNYMI

Praca dotyczy problemu wyznaczania wartości modułu Younga elementów elastycznych mogących mieć zastosowanie w układach wibroizolacji. W artykule przedstawiono opis dwóch metod pozwalających na wyznaczenie wartości modułu Younga materiałów elastomerowych oraz wstępne wyniki badań eksperymentalnych semi-aktywnego elementu wibroizolującego będącego w tym przypadku złożeniem elastomeru ze stałym magnese neodymowym.

WSTĘP

W dzisiejszych czasach występuje problem negatywnych oddziaływań dynamicznych transportu szynowego na otoczenie. Problem ten związany jest z przekazywaniem energii drgań od ruchu pojazdów szynowych zarówno na infrastrukturę budowlaną przemysłową i mieszkalną jak i na ludzi znajdujących się w tych budynkach. Długo trwale oddziaływanie dynamiczne na budynki prowadzi do ich uszkodzeń, które z kolei wpływają na jakość życia lub pracy ludzi, którzy mają styczność z wspomnianą infrastrukturą. Opisane trudności potęguje fakt rozwoju technicznego i urbanizacji, co prowadzi do wzrostu komunikacji w miastach. Na miejskich drogach pojawia się coraz więcej aut, po torowiskach coraz częściej poruszają się tramwaje oraz przy istniejących już liniach komunikacji powstają nowe obiekty budowlane. Aby poprawić komfort życia człowieka należy szukać rozwiązań, które ograniczą oddziaływania drgań na ludzi i budynki. Jednym z rozwiązań może być konstrukcja i budowa pojazdów o mniejszej emisji oddziaływań dynamicznych do otoczenia, lub zastosowanie układy wibroizolacji. Problem wibroizolacji transportu szynowego jest problemem niezmiernie złożonym cechującym się wymuszeniem zmiennym. Charakter wymuszenia wynika między innymi z postępu technologicznego, który wprowadził na tory różne modele pojazdów szynowych co doprowadziło do różnorodności pod względem wieku, masy i prędkości tych pojazdów. Drugim czynnikiem jest problem ilości oraz rozmieszczenia pasażerów. W przypadku godzin szczytu, ciężar pojazdu wraz z pasażerami będzie większy od ciężaru tego samego pojazdu w innych godzinach. Dodatkowo nie jest możliwe aby dokładnie przewidzieć rozkład ludzi w wagonach ponieważ jest on losowy.

Obecne rozwiązania wibroizolacji pojazdów szynowych opierają się na zastosowaniu elementów elastomerowych, które są wibroizolatorami pasywnymi, początek ich powszechnego użytkowania w transporcie szynowym przypada na lata 80,90 - XX wieku. Aby wspomniany wibroizolator elastomerowych spełniał swoje zadanie w sposób poprawny musi on zostać dokładnie dobrany w zależności od parametrów wymuszenia, które w tym przypadku są zmienne, co prowadzi do wniosku, że elastomer nie będzie spełniać swej roli w stopniu akceptowalnym. Dlatego wibroizolacja pojazdów szynowych w takich warunkach powinna być aktywna bądź semi-aktywna, aby była w stanie przystosować się do zmiennego wymuszenia.

Część wibroizolatorów aktywnych i semi-aktywnych jest budowana przy pomocy elementów magnetycznych lub reagujących na pole magnetyczne, takimi elementami są magnesy stałe, elektro-

magnesy czy płyny magnetoreologiczne. Najczęściej rozwiązania te w sposób pośredni lub bezpośredni korzystają z elektromagnesów, które wymagają doprowadzenia prądu do poprawnego działania wibroizolatora, który w tym wypadku znajduje się pod torowiskiem. Elementy magnetyczne nie są wykorzystywane na szeroką skalę w wibroizolacji.

Jednym z podstawowych zagadnień przy doborze systemu wibroizolacji jest przeprowadzenie badań własności fizyko-mechanicznych jednego z podstawowych składników tego systemu jakim jest element elastyczny (wibroizolujący) [1,2,3,5,6]. Do badań tych należy między innymi wyznaczenie wartości statycznego modułu Younga. W artykule przedstawiono wstępne wyniki badań eksperymentalnych związanych z wyznaczeniem modułu Younga układu elastomer-magnes neodymowy. Badania podstawowych własności wytrzymałościowych prowadzone są na maszynach wytrzymałościowych, którą w tym przypadku stanowiło urządzenie statyczno-dynamiczne typu Instron 8872 (rys.1) klasy 1 o dokładności pomiaru 0,5% wraz z komorą klimatyczną pracującą w zakresie temperatur $-60 \div 315$ °C z dokładnością ± 1 °C.



Rys. 1. Maszyna wytrzymałościowa statyczno-dynamiczna typu Instron 8872

1. METODY WYZNACZANIA STATYCZNEGO MODUŁU SPRĘŻYSTOŚCI

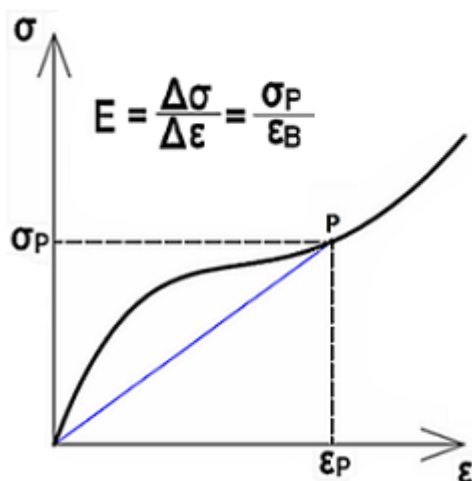
Sztywność materiałów określa się zazwyczaj modułem Younga (E). Matematyczny zapis prawa Hooke'a ma postać $\sigma = E \cdot \epsilon$, gdzie σ to naprężenie, a ϵ względna zmiana długości (ϵ definiujemy jako $\Delta l/l_0$, gdzie l_0 to długość początkowa próbki, a Δl to bezwzględna zmiana długości próbki) i jest to zależność liniowa. Oznacza to,

że prawo Hooke'a można stosować tylko dla opisu liniowej części krzywej rozciągania lub ściskania. W związku z tym, że początki krzywych doświadczalnych rozciągania i ściskania elastomerów nie są liniowe, dla tych materiałów nie można jednoznacznie określić modułu Younga. Jak podano w artykule [4] istnieje wiele sposobów wyznaczania modułu sprężystości dla materiałów elastomerowych, a w literaturze podając wartości E elastomerów często pomija się sposób jego wyznaczania. Można wyróżnić dwie podstawowe definicje modułów wyznaczanych z krzywej rozciągania lub ściskania:

- moduł sieczny,
- moduł styczny.

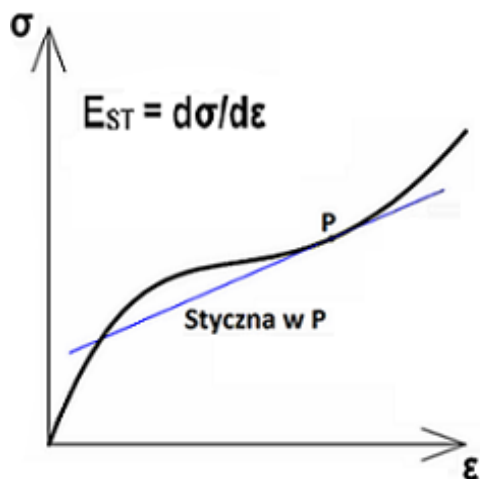
Definicje wymienionych modułów w odniesieniu do charakterystyki naprężenie - odkształcenie opisano poniżej i przedstawiono na rysunkach 2 oraz 3.

Moduł sieczny (rys. 2) jest to tangens kąta nachylenia siecznej poprowadzonej z początku układu współrzędnych do określonego punktu krzywej naprężenie-odkształcenie. Jest to iloraz naprężenia w danym punkcie pomiarowym, oraz względnego odkształcenia w tym punkcie, czyli $E = \sigma / \epsilon$.



Rys. 2. Moduł sieczny

Moduł styczny (rys. 3.) definiujemy jako nachylenie krzywej naprężenie-odkształcenie dla określonego naprężenia lub odkształcenia. Jest to wartość tangensa kąta nachylenia w danym punkcie wykresu naprężenia do odkształcenia względnego wyznaczona przez różniczkowanie krzywej rozciągania lub ściskania, czyli $E_{ST} = d\sigma / d\epsilon$.



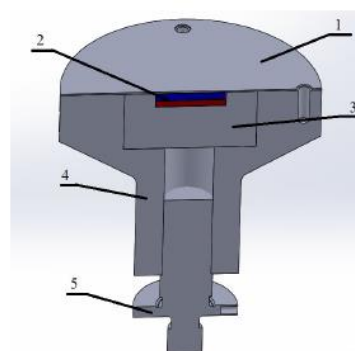
Rys. 3. Moduł styczny

2. WYNIKI WSTĘPNYCH BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

W celu przeprowadzenia badań zaprojektowano i wykonano specjalny uchwyt do maszyny wytrzymałościowej (rys. 4), który umożliwia przeprowadzenie prób ściskania układu złożonego z elastomeru i pary magnesów neodymowych (rys. 5).



Rys. 4. Zaprojektowany uchwyt



- 1) Pokrywa
- 2) Magnes
- 3) Wkładka
- 4) Korpus
- 5) Uchwyt do maszyny wytrzymałościowej

Rys. 5. Schemat badanego układu (dolny uchwyt)

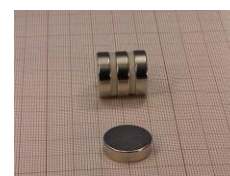
Autorzy przeprowadzili badania eksperymentalne dla układu złożonego z próbki materiału elastomerowego o wymiarach 70x80x15 mm (szerokość – długość – wysokość (rys. 6) wyciętej za pomocą metody „ciąć wodą” oraz dwóch typów stałych magnesów neodymowych oznaczonych w dalszej części artykułu jako „małe magnesy” (rys. 7) oraz „średnie magnesy” (rys. 8).



Rys. 6. Próbkę materiału elastomerowego



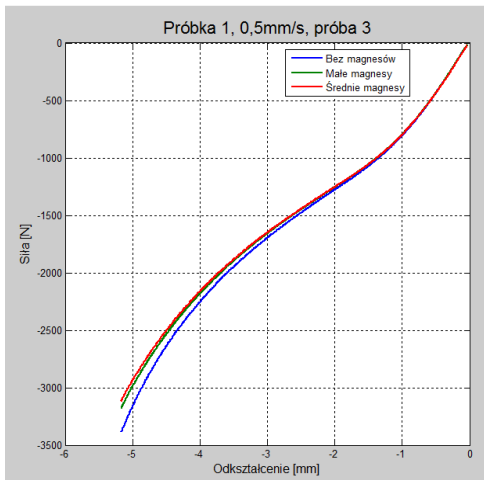
Rys. 7. „Mały magnes”



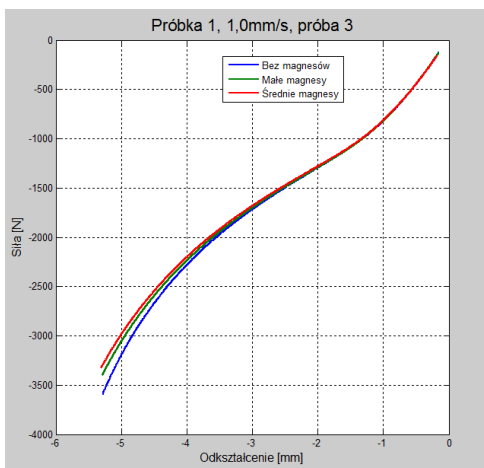
Rys. 8. „Średni magnes”

Źródło: www.magnesy.eu

Dla samego elastomeru układu złożonego z elastomeru oraz pary magnesów (małych lub średnich) przeprowadzono próby ściskania z czterema wartościami prędkości odkształcania - 0,1, 0,5, 1,0 oraz 3,0 [mm/s]. Przykładowe wykresy zależności odkształcenia elastomeru od siły ściskającej przedstawiono na rysunkach 9 i 10.

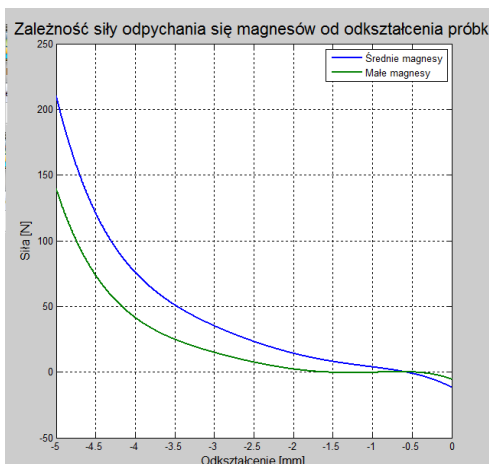


Rys. 9. Wykresy zależności odkształcenia elastomeru od siły ściskającej dla prędkości 0.5 [mm/s]

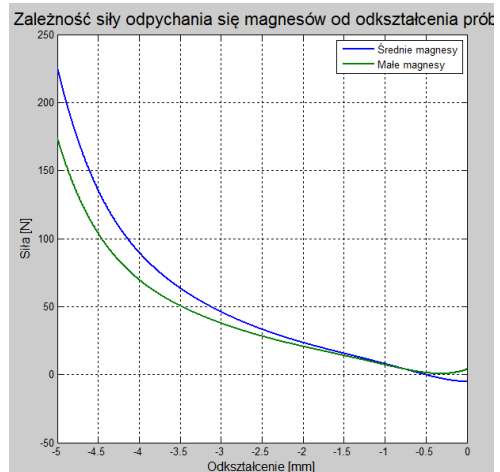


Rys. 10. Wykresy zależności odkształcenia elastomeru od siły ściskającej dla prędkości 1.0 [mm/s]

Przykładowe wykresy zależności siły odpychania magnesów od odkształcenia elastomeru przedstawiono na rysunkach 11 i 12.



Rys. 11. Wykresy zależności siły odpychającej magnesów od odkształcenia elastomeru dla prędkości 1.0 [mm/s]



Rys. 12. Wykresy zależności siły odpychającej magnesów od odkształcenia elastomeru dla prędkości 0.5 [mm/s]

Dla samego elastomeru układu złożonego z elastomeru oraz pary magnesów (małych lub średnich) dla wszystkich badanych prędkości odkształcania wyznaczone zostały wartości statycznego modułu Younga dwoma metodami opisanymi w rozdziale pierwszym artykułu. Wyniki badań zestawiono w tabelach 1, 2 i 3.

Tab.1. Moduł Younga [MPa] samego elastomeru

ε [%]	Prędkość odkształcania			
	0,1 mm/s		0,5 mm/s	
	E	E _{ST}	E	E _{ST}
5%	0,9935	0,9564	0,9999	0,9627
10%	0,9945	1,056	1,0019	1,0811
15%	1,0508	1,2941	1,0704	1,3479
20%	1,1582	1,7242	1,1919	1,8252
25%	1,3448	2,5481	1,4044	2,8228
30%	-	4,1173	-	5,0145
ε [%]	1,0 mm/s		3,0 mm/s	
	E	E _{ST}	E	E _{ST}
5%	0,9980	0,9677	1,0272	0,9167
10%	1,0057	1,0898	1,0344	1,1556
15%	1,0776	1,3650	1,1033	1,4141
20%	1,2024	1,8447	1,2324	1,8285
25%	1,4155	2,8282	1,4507	2,9144
30%	-	4,9990	1,8427	4,9531

Tab.2. Moduł Younga [MPa] układu elastomer-„małe magnesy”

ε [%]	Prędkość odkształcania			
	0,1 mm/s		0,5 mm/s	
	E	E _{ST}	E	E _{ST}
5%	0,9524	0,9032	0,9558	0,9257
10%	0,9440	0,9956	0,9621	1,0364
15%	0,9939	1,2116	1,0212	1,2766
20%	1,0920	1,5790	1,1329	1,6799
25%	1,2430	2,1907	1,3071	2,4158
30%	-	3,1400	-	3,8165
ε [%]	1,0 mm/s		3,0 mm/s	
	E	E _{ST}	E	E _{ST}
5%	0,9699	0,9422	0,9993	0,9874
10%	0,9780	1,0504	0,9999	1,0652
15%	1,0424	1,2952	1,0641	1,3178
20%	1,1528	1,7005	1,1811	1,7701
25%	1,3269	2,4335	1,3621	2,504
30%	-	3,8382	1,6568	3,8689

Tab.3. Moduł Younga [MPa] układu elastomer-„średnie magnesy”

ε [%]	Prędkość odkształcenia			
	0,1 mm/s		0,5 mm/s	
	E	E _{ST}	E	E _{ST}
5%	0,9288	0,8894	0,9537	0,9112
10%	0,9288	0,9796	0,9490	1,0088
15%	0,9764	1,1921	1,0017	1,2315
20%	1,0716	1,5456	1,1009	1,5967
25%	1,2203	2,1470	1,269	2,218
30%	-	3,1684	-	3,2956
ε [%]	1,0 mm/s		3,0 mm/s	
	E	E _{ST}	E	E _{ST}
	5%	0,9718	0,9265	1,0300
10%	0,9676	1,0249	1,0292	1,0892
15%	1,0191	1,2517	1,0853	1,3092
20%	1,1214	1,6204	1,1832	1,6841
25%	1,2756	2,2393	1,3401	2,3328
30%	1,5187	3,2978	1,5949	3,4596

PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonej analizy możliwości zastosowania układu sprężystego złożonego z elastomeru i dwóch magnesów stałych – neodymowych, można stwierdzić że koncepcja tego typu elementów wibroizolujących jest obiecująca. Według wyników wstępnych badań przedstawionych tabelach 1÷3, można stwierdzić, że istnieje możliwość zmiany wartości modułu Younga materiału elastomerowego w zakresie 5÷10 % co pozwala regulować sztywnością układu wibroizolacji a tym samym efektywniej spełniać warunek wibroizolacji i ograniczać amplitudę siły lub przemieszczeń mających wpływ na obiekt chroniony.

Należy, na podstawie dalszych badań, podjąć decyzję czy moduł Younga w przypadku tego typu układu wibroizolacji wyznaczać metodą styczną czy sieczną. Według tych wstępnych badań wydaje się że bardziej odpowiednią metodą jest metoda siecznej.

Należy również przeprowadzić badania wpływu zastosowania pola magnetycznego na zmianę sztywności dynamicznej oraz miary tłumienia.

Przedstawione powyżej wyniki badań są wstępnymi i wymagają dalszych prac w których należy wziąć pod uwagę konstrukcji samego wibroizolatora, problem zmiany biegunowości stosowanych magnesów oraz zmiany modułu Younga pod wpływem różnego typu obciążenia (kinematyczne, bezwładnościowe czy impulsowe) oraz tego wpływu w funkcji częstotliwości.

BIBLIOGRAFIA

1. Bednarz J., *The new methodology for assessing of the applicability of elastomeric materials in the vibration isolation systems of railway lines*, Archives of Acoustics, vol. 41 no. 3, 2016
2. Darlow M., Zorzi E., *Mechanical desing handbook for elastomer*, National Aeronautics and Space Administration, Scientific and Technical Information Branch, 1981.
3. Jones D. I.G., *Handbook of viscoelastic vibration damping*, John Wiley&Sons 2001.
4. Nadolny K., Jurkowski B., *Niektóre aspekty wyznaczania sztywności elastomerów*, Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, Vol. 26, nr 1, 2006.
5. Osiński Z., *Damping of vibrations*, A. A. BALEKMA, Rotterdam, Brookfield 1998.
6. Targosz J., *Układy wibroizolacji w transporcie szynowym i samochodowym*, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2007.

Analysis of the properties of vibroisolators with magnetic elements

The work concerns the problem of determining the value of Young's modulus of elastic elements that can be used in vibration isolation systems. The article describes two methods to determine the value of Young's modulus of elastomeric materials and the preliminary results of experimental research of the semi-active vibroisolating element, which is an elastomeric material with a permanent neodymium magnet.

Autorzy:

dr hab. inż. **Jan Targosz**, prof. AGH - AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Katedra Robotyki i Mechatroniki, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; jantargosz@interia.pl

dr inż. **Jarosław Bednarz** – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Katedra Robotyki i Mechatroniki, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; bednarz@agh.edu.pl