

## [Akceptuję](#)

W ramach naszej witryny stosujemy pliki cookies w celu świadczenia państwu usług na najwyższym poziomie, w tym w sposób dostosowany do indywidualnych potrzeb. Korzystanie z witryny bez zmiany ustawień dotyczących cookies oznacza, że będą one zamieszczone w Państwa urządzeniu końcowym. Możecie Państwo dokonać w każdym czasie zmiany ustawień dotyczących cookies. Więcej szczegółów w naszej [Polityce Prywatności](#)

[Portal](#) [Informacje](#) [Katalog firm](#) [Praca](#) [Szkozenia](#) [Wydarzenia](#) [Porównania międzylaboratoryjne](#)  
[Kontakt](#)



[Laboratoria](#)  
[.net](#)  
[Innowacje](#)  
[Nauka](#)  
[Technologie](#)

[Logowanie](#) [Rejestracja](#) [pl](#)

Newsletter

[zapisz się](#)



- [Nowe technologie](#)
- [Felieton](#)
- [Tygodnik "Nature"](#)
- [Edukacja](#)
- [Artykuły](#)
- [Przemysł](#)

[Strona główna](#) > [Nowe technologie](#)

## Nowe rozwiązanie w zakresie tłumienia drgań

Do tłumienia drgań kładek dla pieszych, mostów czy wieżowców powszechnie stosowane są dynamiczne tłumiki drgań. Jesienią minionego roku nowa koncepcja adaptacyjnego dynamicznego tłumika drgań znalazła zastosowanie w układzie tłumienia drgań mostu w rosyjskim Wołgogradzie. Projekt opracowania tego układu realizowany był w Szwajcarii i Niemczech przy udziale dr inż. Marcina Maślanki z Katedry Automatykacji Procesów AGH. Układ jak dotąd działa bez zarzutu. Wcześniej na moście występowały intensywne drgania wzbudzone przez wiatr.



Dynamiczny tłumik drgań, nazywany też tłumikiem masowym, w skrócie TMD (z ang. tuned mass damper), jest powszechnie stosowanym układem redukcji drgań, którego podstawy projektowania opracowano w latach trzydziestych XX wieku. Układ ten, składający się z ruchomej masy, sprężyn i tłumika wiskotycznego, służy do tłumienia drgań m.in. obiektów inżynierii lądowej, takich jak mosty, kładki dla pieszych, wysokie budynki, maszty, wieże, kominy czy trybuny stadionów sportowych. Drgania tych obiektów mogą być wzbudzone przez wiatr, a także, w przypadku np. kładek dla pieszych lub trybun sportowych, przez ich użytkowników. Jeden ze znanych przykładów zastosowania układów TMD można znaleźć na kładce dla pieszych Millenium w Londynie, która w trakcie otwarcia i wejścia na nią tłumy ludzi zaczęła bardzo mocno falować (zobacz ). Wiele interesujących przykładów zastosowań układów TMD znajduje się np. w Japonii i USA, gdzie układy te są instalowane na najwyższych piętrach wieżowców, w celu ich ochrony przed skutkami oddziaływań sejsmicznych, a także w celu zapewnienia wymaganego komfortu ich użytkowania w warunkach silnych oddziaływań wiatru. Jeden z najbardziej znanych przykładów zastosowania takiego układu znajduje się na wieżowcu Taipei 101 na Tajwanie (zobacz ). Podczas wychylenia wieżowca masa wahadłowego układu TMD odchyła się w przeciwnym kierunku, przyczyniając się do redukcji amplitudy występujących oscylacji.

Choć układy TMD są powszechnie stosowane, ich efektywność w zakresie tłumienia drgań rezonansowych jest w pewnych przypadkach znacznie ograniczona. Układy te wymagają bowiem precyzyjnego dostrojenia (określenia ich masy, współczynnika sprężystości sprężyn oraz współczynnika tłumienia wiskotycznego) na podstawie znanych parametrów wybranej postaci drgań rezonansowych obiektu. Parametry te mogą jednak ulegać zmianom w czasie, np. pod wpływem zmian temperatury otoczenia lub zmian obciążenia. W praktyce, w przypadku gdy częstotliwość rozpatrywanej postaci drgań rezonansowych obiektu zmienia się o 10% już po instalacji układu TMD, efektywność tłumienia drgań za pomocą tego układu może ulec zmniejszeniu nawet ponad dwukrotnie. Z tego względu, w wielu przypadkach pożądanym byłoby zastosowanie adaptacyjnych układów TMD, to znaczy takich, które potrafią w sposób automatyczny dostrajać się do aktualnych drgań obiektu. W momencie zmiany parametrów obiektu układy adaptacyjne nadążają za zmianami, a przez to ich efektywność może być w tych warunkach znacznie wyższa niż konwencjonalnych układów TMD.

Prezentowane nowe rozwiązanie dotyczy adaptacyjnego układu TMD, w którym tłumik magnetoreologiczny zastępuje standardowo stosowany w TMD pasywny tłumik wiskotyczny. Rozwiązanie to wyróżnia nowatorski algorytm sterowania tłumikiem magnetoreologicznym. Opracowany algorytm umożliwia realizację za pomocą tłumika magnetoreologicznego wymaganego poziomu rozpraszania energii drgań przy jednoczesnym odwzorowaniu wymaganej siły sprężystości.

Takie sterowanie tłumikiem pozwala na dostrojenie częstotliwości własnej adaptacyjnego układu TMD do aktualnej częstotliwości drgań obiektu. Dzięki zastosowaniu tego algorytmu sterowania efektywność tłumienia drgań cechująca opracowany adaptacyjny układ TMD znacznie przewyższa efektywność konwencjonalnego układu TMD w warunkach niepewności parametrów obiektu, którego drgania mają być tłumione.

## **Prawie rok badań**

Opracowanie nowej koncepcji adaptacyjnego układu TMD to efekt współpracy dr Felixa Webera ze szwajcarskiego federalnego laboratorium EMPA w Dübendorfie oraz dr inż. Marcina Maślanki z AGH. Obaj naukowcy zajmowali się wcześniej m.in. zagadnieniami zastosowania tłumików magnetoreologicznych w układach redukcji drgań lin. Dr F. Weber zasłynął opracowaniem zaawansowanych układów tłumienia drgań lin mostu podwieszonoego w Dubrowniku na Chorwacji oraz mostów w Hiszpanii, Holandii i Chinach. Dr inż. M. Maślanka zagadnieniu semiaktywnego tłumienia drgań lin poświęcił natomiast swoją rozprawę doktorską. Prace nad koncepcją adaptacyjnego układu TMD obaj badacze wykonali wspólnie w laboratoriach EMPA w Szwajcarii, gdzie dr inż. M. Maślanka przebywał w ramach jedenastomiesięcznego stażu naukowego. Prace te były prowadzone we współpracy z niemiecką firmą Maurer Söhne. - W pierwszym etapie przeprowadziliśmy obszerne badania niewielkiego prototypu adaptacyjnego układu TMD, który został wcześniej odpowiednio wykonany i dołączony do dwudziestometrowego mostu laboratoryjnego w EMPA - dr inż. M. Maślanka przybliży szczegóły prac.

W odróżnieniu od zwykłych układów TMD, istotną cechą zastosowanego rozwiązania adaptacyjnego jest to, że w momencie wystąpienia drgań mostu, niezależnie od ich postaci, działanie każdego z adaptacyjnych układów TMD jest automatycznie dostrajane do aktualnej częstotliwości drgań.

Równoległe z badaniami laboratoryjnymi prototypu prowadzone były symulacje komputerowe. Celem tych wszystkich badań było określenie rzeczywistej efektywności opracowanego przez nas adaptacyjnego układu TMD, oraz przetestowanie jego działania w różnych warunkach i przy uwzględnieniu występujących ograniczeń praktycznych. Badaliśmy działanie prototypu dla dziewięciu konfiguracji mostu laboratoryjnego, którego drgania wymuszaliśmy odpowiednio sterowanym wzbudnikiem - dodaje.

Kolejny etap prac dotyczył badań tłumików magnetoreologicznych wykonanych przez firmę Maurer Söhne i wchodzących w skład adaptacyjnych układów TMD dla mostu wołgogradzkiego. - Badaliśmy każdy z dwunastu obrotowych tłumików magnetoreologicznych w jego konfiguracji docelowej, to znaczy takiej, jaka jest aktualnie na moście. Konfiguracja ta obejmowała m.in. te same czujniki przemieszczeń i siły tłumika, tak samo podłączone, oraz oczywiście ten sam mikroprocesorowy układ sterujący, na którym wcześniej zaimplementowaliśmy opracowane przez nas algorytmy sterowania. Badaliśmy między innymi zdolność tłumików magnetoreologicznych do odtworzenia z żadaną precyzją wymaganej siły. Wysoką precyzję sterowania siłą tłumików udało nam się uzyskać dzięki zastosowaniu modeli odwrotnych charakteryzujących pracę tłumików oraz słabego kompensującego sprzężenia zwrotnego od mierzonej siły tłumika. Badania każdego z tłumików wykonaliśmy dla wielu różnych amplitud i częstotliwości drgań z zakresu ich zmienności, która może wystąpić na moście. W celu realizacji pożądaných wymuszeń badania wykonaliśmy na oddzielnym stanowisku wykorzystując wzbudnik hydrauliczny o odpowiednich parametrach - uzupełnia dr inż. M. Maślanka.

Po pomyślnym zakończeniu tego etapu badań autorzy koncepcji przystąpili do testów drgań wymuszonych pojedynczego adaptacyjnego układu TMD dla mostu wołgogradzkiego. Testy te zostały przeprowadzone w Niemczech, na Uniwersytecie Bundeswehry w Monachium, wspólnie z firmą Maurer Söhne. Badany układ obejmował zestaw sprężyn, zawieszoną na sprężynach masę 5200 kg,

oraz tłumik magnetoreologiczny umieszczony wewnątrz, w centralnym miejscu układu. Pomyślny wynik tych testów pozwolił na zakończenie części badawczej projektu.

## Zastosowanie na moście

Instalacja układów na moście w Wołogradzie przeprowadzona została jesienią 2011 roku przez firmę Maurer Söhne. Celem instalacji jest tłumienie drgań wzbudzanych przez wiatr, które obserwowano na tym moście po raz pierwszy w maju 2010 roku (zobacz ). Rozwiązanie obejmuje dwanaście adaptacyjnych układów TMD o masie 5200 kg, odpowiednio umiejscowionych pod płytą mostu w trzech sekcjach po 4 układy. Każda z sekcji została wstępnie dostrojona do jednej z trzech odnotowanych wcześniej postaci drgań mostu, w ten sam sposób w jaki dostraja się konwencjonalne układy TMD. Dzięki temu zastosowane rozwiązanie zapewnia pewien poziom tłumienia drgań mostu nawet po odłączeniu sterowania, natomiast sterowanie tymi układami pozwala na adaptację ich działania do aktualnie występujących drgań. - W odróżnieniu od zwykłych układów TMD, istotną cechą zastosowanego rozwiązania adaptacyjnego jest to, że w momencie wystąpienia drgań mostu, niezależnie od ich postaci, działanie każdego z adaptacyjnych układów TMD jest automatycznie dostrajane do aktualnej częstotliwości drgań. Oznacza to, że na przykład te cztery układy z sekcji drugiej, wstępnie dostrojone do drugiej postaci drgań giętnych mostu o częstotliwości nominalnej 0.57 Hz, przyczyniają się do efektywnego tłumienia także pierwszej i trzeciej postaci drgań o częstotliwościach nominalnych odpowiednio 0.45 Hz oraz 0.68 Hz - opisuje dr inż. M. Maślanka. Adaptacyjność została osiągnięta dzięki właściwościom cieczy magnetoreologicznej i zastosowanemu algorytmowi sterowania. - Możliwość dostrojenia układów do aktualnej częstotliwości drgań została uzyskana dzięki opracowanemu przez nas algorytmowi sterowania, przy zastosowaniu którego tłumik magnetoreologiczny połączony równolegle z układem sprężyn wytwarza siłę, która odpowiednio zmniejsza lub zwiększa siłę sprężystości generowaną przez te sprężyny, a tym samym wpływa na zmianę wypadkowej sztywności układu i jego częstotliwości drgań własnych. - podsumowuje współautor rozwiązania.

Autorzy koncepcji zastosowali tłumik magnetoreologiczny do sterowania siłą tłumienia oraz siłą sprężystości i potwierdzili eksperymentalnie, że takie sterowanie siłą tłumika jest możliwe. Wykazali, że przy pewnych założeniach, oraz w pewnym ograniczonym zakresie, odpowiednie sterowanie tłumikiem magnetoreologicznym pozwala na realizację wymaganej składowej siły sprężystości. To właśnie sposób sterowania tłumikiem magnetoreologicznym stanowi podstawę wysokiej efektywności zaproponowanego przez nich adaptacyjnego układu TMD. Szczegóły rozwiązania, wybrane wyniki badań prototypu oraz badań pojedynczego adaptacyjnego układu TMD dla mostu wołogradzkiego można znaleźć w publikacji autorów w majowym numerze czasopisma Smart Materials and Structures.

Od czasu instalacji adaptacyjnych układów TMD na moście nie odnotowano oscylacji do jakich dochodziło wcześniej. Pełniejsza ocena działania tych układów będzie możliwa dopiero po ich dłuższym okresie eksploatacji.

*Autor: Anna Żmuda*

Źródło: <http://www.agh.edu.pl/>

<http://laboratoria.net/technologie/15557.html>

**Informacje dnia:** [Drugi rok pandemii i nastroje mieszkańców Polski nie najweselejsze](#) [Obraz depresji jest różny w mózgach kobiet i mężczyzn](#) [Co dziesiąta osoba może zakażać po więcej niż 10 dniach](#) [Dlaczego ludzie oszukują samych siebie?](#) [Jagody goji mogą chronić przed utratą wzroku związaną z wiekiem](#) [Badaczka z instytutu PAN - z prestiżowym grantem EMBO](#) [Drugi rok pandemii i nastroje mieszkańców Polski nie najweselejsze](#) [Obraz depresji jest różny w mózgach kobiet i mężczyzn](#) [Co dziesiąta osoba może zakażać po więcej niż 10 dniach](#) [Dlaczego ludzie oszukują samych siebie?](#) [Jagody goji mogą chronić przed utratą wzroku związaną z wiekiem](#) [Badaczka z instytutu PAN - z](#)

[prestizowym grantem EMBO](#) [Drugi rok pandemii i nastroje mieszkańców Polski nie najweselsze](#) [Obraz depresji jest różny w mózgach kobiet i mężczyzn](#) [Co dziesiąta osoba może zakażać po więcej niż 10 dniach](#) [Dlaczego ludzie oszukują samych siebie?](#) [Jagody goji mogą chronić przed utratą wzroku związaną z wiekiem](#) [Badaczka z instytutu PAN - z prestiżowym grantem EMBO](#)

## **Partnerzy**