

**Recenzja osiągnięcia naukowego w postaci jedno-tematycznego cyklu
osiemnastu publikacji naukowych zatytułowanego:
„Nieliniowa dynamika oraz odzyskiwanie energii w wahadłowym
eliminatorsie drgań z aktywnym zawieszeniem”
oraz dorobku naukowego dr inż. Krzysztofa Kęcika**

Opis osiągnięcia naukowego

Zaprezentowany cykl prac poddaje analizie numerycznej oraz weryfikacji eksperymentalnej oryginalnie zaprojektowany układ mechaniczny składający się z wahadła, zamocowanego na ruchomej masie oscylatora wykonującej ruch pionowy (zwany układem autoparametrycznym) oraz jego aktywnego zawieszenia, zawierającego elementy o modyfikowalnej charakterystyce (tłumik z cieczą magneto-reologiczną MRF oraz sprężyna wykonana ze stopu z pamięcią kształtu SMA).

Celem przedstawionego cyklu prac jest:

- a) zdobycie wiedzy o efektywności i skuteczności zastosowania proponowanego zawieszenia w przypadku zaistnienia niebezpiecznych zjawisk dynamicznych (dynamiczna eliminacja drgań), a także kontrola powstałej dynamiki poprzez sterowanie drganiami regularnymi i chaotycznymi,
- b) oszacowanie możliwości odzyskania energii w wahadłowych tłumikach drgań a także zbadanie stopnia odzyskania energii w warunkach efektywnej eliminacji drgań.

Analizowany układ złożony z oscylatora i wahadła może pełnić rolę dynamicznego eliminatora drgań, z obszarami niestabilności dynamicznej (chaotyczne kołysanie oraz rotacja wahadła) w sąsiedztwie głównego rezonansu parametrycznego. Dlatego też, wahadło, pełniące rolę stabilizatora dynamicznego, może powodować destabilizację odpowiedzi układu przy niekorzystnych wzbudzeniach zewnętrznych. Analiza numeryczna, wraz z weryfikacją eksperymentalną wykonaną na oryginalnie zaprojektowanym i wykonanym demonstratorze, przedstawiona została w publikacji (18).

W publikacjach (14, 16) zaproponowano zastosowanie tłumika z cieczą MRF do efektywnego sterowania charakterystyką zawieszenia tak, aby unikać stref niestabilnej odpowiedzi układu oraz aby zwiększyć efektywność tłumienia. Zastosowany tu model nieliniowego tłumienia tłumika MRF nie uwzględniał efektu histerezy, co zostało dodatkowo uwzględnione w pracy (7).

W publikacjach (14, 17) analizowano wpływ nie tylko nieliniowego tłumienia, lecz także nieliniowej sprężystości zawieszenia na dynamiczną eliminację drgań, wykazując (na drodze analitycznej, numerycznej i eksperymentalnej) skuteczność adaptacji sterowalnego

zawieszenia do zewnętrznie wymuszanego wzbudzenia (amplitudy i częstości wymuszeń zewnętrznych).

Powyższa koncepcja kontynuowana jest w pracach (2, 3, 8), zakładając, że sprężyna w zawieszeniu wykonana jest ze stopu SMA z pamięcią kształtu, co daje możliwość skutecznego sterowania własnościami zawieszenia tak, aby eliminować drgania poprzez odpowiednią adaptację do zmiennego wymuszenia zewnętrznego.

W pracach (9, 11) dr Kęcik przedstawił analizę numeryczną wykorzystania proponowanego przez siebie aktywnego zawieszenia do odzyskiwania energii mechanicznej wzbudzonej w oscylatorze w postaci energii elektrycznej (tzw. *energy harvesting*). W publikacji (1), natomiast, poszukiwał pewnego obszaru kompromisu pomiędzy konfliktowymi celami eliminacji drgań i *energy harvesting*.

Ocena osiągnięcia naukowego

Główne osiągnięcia Autora.

Za główne osiągnięcia naukowe Autora uważam zaproponowanie oryginalnego, aktywnego zawieszenia dla oscylatora wykonującego ruch pionowy, sformułowanie szeregu problemów badawczych związanych z tłumieniem jego drgań oraz z odzyskiwaniem energii, a także, rozwiązywanie tych problemów na drodze analitycznej, numerycznej i eksperymentalnej.

W szczególności, na uwagę zasługuje:

- opracowanie nowej koncepcji aktywnego zawieszenia bazującego na tłumiku magneto-reologicznym oraz sprężynie wykonanej ze stopu z pamięcią kształtu (2, 3, 5, 8).
- opracowanie nowej koncepcji urządzenia do odzyskiwania energii z dynamicznego eliminatora drgań bazującej na zjawisku lewitacji magnesu (1),
- opracowanie koncepcji odzyskiwania energii z ruchu obrotowego wahadła (2, 9, 11),
- opracowanie algorytmów sterowania aktywnym zawieszeniem, dedykowanych dynamicznej eliminacji drgań oraz odzyskiwaniu energii (6, 12),
- autorskie opracowanie i wykonanie laboratoryjnego demonstratora nowej technologii i weryfikacja eksperymentalna symulacji numerycznych badanych zjawisk.

Wnioski ogólne

- Rozprawa stanowi udaną próbę kompleksowej analizy zaproponowanego systemu adaptacyjnego zawieszenia układu mechanicznego poddawanego zmiennym wymuszeniom
- W konsekwencji przeprowadzonej wnikliwej analizy różnorodności dynamicznych odpowiedzi systemu na zmienne wymuszenia zewnętrzne, zaproponowano skuteczne algorytmy sterowania (za pośrednictwem zastosowanych materiałów funkcjonalnych) realizujące eliminację drgań lub odzyskiwanie energii wibracji.
- Na podkreślenie zasługuje kompleksowość metodyki badawczej, obejmująca podejście analityczne, symulacje numeryczne oraz weryfikację eksperymentalną, wraz z wykonaniem demonstratora nowej technologii.

Komentarze i uwagi polemiczne

- Sformułowanie problemu uniwersalnego zawieszenia układu mechanicznego, mającego na celu eliminację drgań dla szerokiego spektrum wymuszeń zewnętrznych, a także odzyskiwanie energii wibracji i przetwarzanie jej na energię elektryczną (*energy harvesting*) jest ciekawe i efektowne z akademickiego punktu widzenia, lecz mniej efektywne technologicznie, biorąc pod uwagę inżynierskie zastosowania. Kryteria eliminacji drgań i odzyskiwania energii są na tyle konfliktowe, że wymaganie spełnienia ich obu przy pomocy jednego urządzenia mogą okazać się mało skuteczne (por. poszukiwanie obszaru kompromisowego w pracy (1)).
- Podobnie, trudno się spodziewać, aby proponowane uniwersalne zawieszenie aktywne (ze sterowanymi charakterystykami tłumienia) było równie skuteczne dla różnych form wymuszenia (np. uder, drgania wywołane uderem, wymuszenie falą trzęsienia ziemi, zmienne wymuszenie harmoniczne) przy braku wyspecjalizowanych algorytmów sterowania. W prezentowanym cyklu publikacji za mało miejsca poświęcono wyczerpującemu omówieniu stanu wiedzy w tym zakresie. Przykładowo, bardzo skuteczną techniką tłumienia drgań własnych jest semi-aktywne (dwustanowe „on-off”) przełączanie dobrze rozłokowanych więzów konstrukcyjnych (Ref. a, b), gdzie geometria struktury odgrywa zasadniczą rolę.
- Z technicznego punktu widzenia rozwiązania semi-aktywne (tzw. adaptacyjne) są dużo bardziej atrakcyjne w zastosowaniach niż rozwiązania w pełni aktywne, ze względu na ich mniejszy stopień zawodności i koszt. W swej istocie, zarówno tłumik MRF jak i sprężyna ze stopu SMA mogą być traktowane jako urządzenia semi-aktywne, modyfikujące swe charakterystyki na skutek aktywacji a nie, jako aktywatory, dostarczające do układu dodatkową energię. Dlatego też, powinniśmy nazywać zaproponowane zawieszenie jako *adaptacyjne*, nie zaś *aktywne*. Natomiast, łączenie dwóch materiałów funkcjonalnych (cieczy MRF oraz stopu z pamięcią kształtu SMA) w jednym urządzeniu jest mało przekonujące, tym bardziej, że czas odpowiedzi dla SMA może stanowić barierę aplikacyjną.
- Brakuje w zaprezentowanym cyklu prac odniesień do alternatywnych technik stabilizacji odpowiedzi dynamicznej układu mechanicznego, np. adaptacyjnego podwozia lotniczego bazującego na szok-absorberze olejowym (lub pneumatycznym) ze sterownym w czasie rzeczywistym piezo-zaworze (Ref. c, d) lub bazującego na sterownym szok-absorberze MRF (Ref. e, f). Także, technikę unikania wzbudzeń rezonansowych poprzez adaptacyjne sprężanie, powodujące przesunięcia częstości własnych, można przytoczyć jako działanie alternatywne przy zmiennych wymuszeniach harmonicznych.
- W szczególności, modelowanie tłumików MRF ma bogatą literaturę prezentującą różnorakie podejścia do symulacji zachowania się tej cieczy funkcjonalnej (np. Ref. f) i powinno znaleźć swoje odbicie w cytowanej literaturze.
- Powyższe uwagi o charakterze aplikacyjno-technologicznym nie umniejszają w żadnym stopniu mojej jednoznacznie pozytywnej opinii o wysokiej wartości poznawczej zaprezentowanej koncepcji (opisanej w języku teorii sterowania) wielofunkcyjnego, adaptacyjnego zawieszenia.

- Przykładowe referencje uzupełniające:

- a) L. Gaul and R. Nitsche, "The role of friction in mechanical joints," *Applied Mechanics Reviews*, vol. 54, no. 2, pp. 93–105, 2001
- b) A. Mroz, J. Holnicki and J. Biczysk, Adaptive joint, *Patent pending* P 407763, 2015
- c) G. Mikułowski J. Holnicki-Szulc, (2007) Adaptive landing gear concept – feedback control validation, *Smart Materials and Structures*, 16, pp 2146-2158
- d) R. Wiszowaty (2016) Projektowanie i badanie adaptacyjnych, pneumatycznych absorberów energii uderzenia, *rozprawa doktorska*, IPPT-PAN
- e) G. Mikułowski, R. LeLetty, Advanced Landing Gears for Improved Impact Absorption, Proc. of the 11th International Conference on New Actuators – ACTUATOR'08, Bremen, Germany, 9-11 June 2008
- f) G. Mikułowski (2009) Adaptive impact absorbers based on magnetorheological fluids, *rozprawa doktorska IPPT-PAN*

Ocena dorobku naukowego Habilitanta

Dr inż. Krzysztof Kęcik opublikował po doktoracie następujące prace naukowe:

Lp	Prace naukowe	samodzielne	współautorskie	Razem
1	Publikacje z listy JCR	3	15	18
2	Monografie i rozdziały (w tym indeksowane w WOS)	1(0)	8(2)	9(2)
3	Prace opublikowane w innych czasopismach	4	5	9
4	Materiały konferencyjne (w tym indeksowane w WOS)	2(0)	24(3)	26(3)
	Razem	10	52	62

Wynika z powyższego zestawienia, że dorobek publikacyjny dr. Krzysztofa Kęcika jest wystarczający do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego. Pewien niedosyt może pozostawiać niewielka liczba artykułów samodzielnych (3 w grupie JCR), choć widać w tym świadomą decyzję Habilitanta, przedkładającego kompleksowe badania prowadzone zespołowo (prace analityczne + symulacje numeryczne + eksperyment) nad cząstkowymi badaniami indywidualnymi (oświadczenia współautorów o ich udziale procentowym zostały zamieszczone w dokumentacji).

Omówiony wyżej ogólny dorobek publikacyjny Habilitanta jest bogaty, zwarty tematycznie, wartościowy poznawczo i ważny dla praktycznego wykorzystania.

Habilitant uczestniczył w 8 krajowych i europejskich projektach badawczych (dwukrotnie w roli kierownika projektu i dwukrotnie jako główny wykonawca) w zakresie eliminacji drgań i odzyskiwania energii. Jest współautorem zgłoszenia patentowego oraz jednego wdrożenia wyników prac badawczo rozwojowych.

Index Hirscha Habilitanta w bazie WOS wynosi 6, zaś liczba cytowań 86.

Ocena aktywności dydaktycznej i organizacyjnej Habilitanta

Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki lub sztuki

Autorstwo programów nauczania oraz skryptów dydaktycznych:

1. Opracowanie programu nauczania z przedmiotów: *Mechanika Techniczna, Modelowanie Układów Mechanicznych, Mechanika i Fizyka Ciała Stałego, Historia Lotnictwa (przedmiot obieralny)*, 2010-2015.
2. Organizacja laboratorium *Mechaniki Technicznej* na kierunku Mechatronika (I stopień), laboratorium *Modelowania Układów Mechanicznych* na kierunku Mechatronika (II stopień), *Mechanika i Fizyka Ciała Stałego* na kierunku Inżynieria Produkcji (II stopień), 2014.
3. Opracowanie autorskie dwóch ćwiczeń laboratoryjnych na kierunku Inżynieria Biomedyczna (I stopień), 2011.
4. Opracowanie jednego ćwiczenia laboratoryjnego do „Workbooka”, dla studentów z programu Erasmus, 2015.
5. Współautorstwo skryptu dydaktycznego „Laboratorium Dynamiki Maszyn” pod red. Kazimierza Szabelskiego i Jerzego Warmińskiego, wyd. PL – autor 4 ćwiczeń laboratoryjnych, 2006.
6. Uczestnictwo w kolegium zajmującym się przygotowaniem sylabusów i siatek godzin, 2013-2015.
7. Opracowuje raporty katedralne do badań statutowych, 2010-2015.

Prowadzenie zajęć dydaktycznych

1. Mechanika Ogólna i Techniczna (wykłady, ćwiczenia i laboratoria na kierunkach: Mechanika i Budowa Maszyn, Mechatronika).
2. Drgania Mechaniczne (ćwiczenia i laboratoria na kierunku: Mechanika i Budowa Maszyn).
3. Mechanika Analityczna (ćwiczenia na kierunku: Mechanika i Budowa Maszyn),.
4. Wytrzymałość Materiałów (ćwiczenia i laboratoria na kierunku: Mechanika i Budowa Maszyn, Mechatronika).
5. Biomechanika Inżynierska (laboratoria na kierunku: Inżynieria Biomedyczna).
6. Modelowanie Układów Mechanicznych (wykład i laboratoria na kierunku: Mechatronika).
7. Mechanika i Fizyka Ciała Stałego (laboratoria na kierunku: Mechanika i Budowa Maszyn, Zarządzanie i Inżynieria Produkcji).
8. Historia Lotnictwa (przedmiot obieralny) wykład na kierunku: Mechanika i Budowa Maszyn.
9. Czterokrotne referaty wygłaszane w ramach: Lubelskim Festiwalu Nauki, Sympozjum Kół Naukowych Politechniki Lubelskiej, PTMTiS oraz XV Komisji Nauk Nieliniowych, Oddział PAN w Lublinie.

Opieka naukowa nad studentami i doktorantami

1. Opieka nad sześcioma pracami magisterskimi oraz trzema pracami inżynierskimi (Politechnika Lubelska)
2. Promotorstwo pomocnicze: Krzysztof Ciecieląg. 2013 - do teraz, Wpływ warunków frezowania na strukturę geometryczną powierzchni wybranych kompozytów polimerowych’’. Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny.

Uczestnictwo w programach europejskich oraz międzynarodowych i krajowych projektach badawczych

1. Habilitant uczestniczył (w charakterze wykonawcy) w 3 programach badawczych typu *Centre of Excellence, Maria Curie Fellowship* oraz *POIG*

2. Habilitant był kierownikiem dwóch krajowych projektów badawczych (NCN oraz MNiSW)
3. Habilitant był głównym wykonawcą dwóch projektów badawczych (NCN oraz MNiSW)
4. Habilitant był wykonawcą projektu NCN oraz trzech projektów europejskich

Członkostwo w międzynarodowych i krajowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych

1. Polskie Towarzystwo Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej o. Lublin, członek od 2003r. W kadencji 2013-2014 – sekretarz, w kadencji 2015-2016 członek komisji rewizyjnej.
2. Komisja XV Nauk Nieliniowych Oddziału Polskiej Akademii Nauk (PAN) w Lublinie członek od 2007r.
3. European Mechanics Society (Euromech), Membership EM 130196, członek w roku 2013.
4. Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Mechaników Polskich (SIMP), członek w latach 2005-2010.
5. Rada Naukowa Politechniki Lubelskiej dla specjalności Mechatronika, 2012-2016.
6. Członek Komisji Kształcenia dla kierunku Mechatronika.

Widać z powyższego wyliczenia, że dorobek dydaktyczno - organizacyjny Habilitanta jest wyjątkowo bogaty.

Wniosek końcowy

Wyrażone powyżej opinie o wartości naukowej zgłoszonego cyklu publikacji, o dorobku naukowym dr Krzysztofa Kęcika oraz o Jego aktywności dydaktycznej i organizacyjnej jednoznacznie upoważniają mnie do stwierdzenia, że w świetle obowiązującej Ustawy (z dnia 14 marca 2003r z późn. zm.) o stopniach naukowych i tytule naukowym wyczerpują one wymagania stawiane kandydatom ubiegającym się o nadanie stopnia doktora habilitowanego. Stawiam wniosek o przyznanie dr Krzysztofowi Kęciowi stopnia doktora habilitacyjnego w dziedzinie nauk technicznych, w dyscyplinie *mechanika*

Warszawa, 30 września 2016 r.



Jan Holnicki-Szulc