

prof. dr hab. inż. Tadeusz Niezgoda  
Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego  
Wydział Mechaniczny  
00-908 Warszawa  
ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2

Warszawa, 11.01.2016 r.

## **R e c e n z j a**

rozprawy doktorskiej mgr. inż. **Adama Jungowskiego**  
zatytułowanej  
**„TLUMIK DRGAŃ O NIEZALEŻNYM OD TEMPERATURY  
POZIOMIE DYSSYPACJI”**

### **1. Podstawa formalno-prawna recenzji**

Podstawą do opracowania niniejszej recenzji jest pismo z dn. 19.10.2015 r. (SIMR-29/38/2015) jakie wystosował Dziekan Wydziału Samochodów i Maszyn Roboczych (SiMR) prof. dr hab. inż. Stanisław Radkowski do prof. dr hab. inż. Tadeusza Niezgody.

W piśmie tym Dziekan SiMR informuje, że w związku z uchwałą Rady Wydziału z dnia 17.06.2015 r. prosi o opracowanie opinii o rozprawie doktorskiej mgr inż. Adama Jungowskiego.

### **2. Treść rozprawy**

Przedmiotem rozprawy są zagadnienia związane z „oceną możliwości zaprojektowania tłumika drgań, zachowującego jednakowe rozpraszanie energii niezależnie od zmiany temperatury otoczenia”. Założono, że rozważany tłumik będzie spełniał kryteria pasywności i symetryczności (o takim samym działaniu w kierunku rozciągania i ściskania). Ponadto założono, że nie będzie uwzględniany efekt rozgrzewania się podczas działania, co oznacza że będzie przewidziany do krótkotrwałej pracy.

Rozprawa przedstawiona jest na 122 stronach i składa się z 8 ponumerowanych rozdziałów, Bibliografii w rozdziale 9 oraz dwóch streszczeń w języku polskim i angielskim zamieszczonych na początku rozprawy przed spisem jej treści. Na końcu rozprawy zamieszczono w punktach 10, 11 i 12 załączniki zatytułowane:

- Załącznik nr I. Wybrane wyniki badań materiału Epunit 2,
- Załącznik nr II. Wyniki badań jednoosiowego ściskania tłumika Lord,
- Załącznik nr III. Kolejne położenia projektowanego wałka z elastomerem podczas wciskania w obudowę do pozycji pracy.

Bibliografia (rozdział 9) zawiera 60 pozycji, w ramach których występuje 5 pozycji współautorskich doktoranta, na które składają się: praca magisterska (autorzy: Andrzejuk A., Jungowski A. pt. „Badania doświadczalne materiałów hiperelastycznych w szerokim zakresie temperatur”, Politechnika Warszawska, 2007 r.), 1 artykuł w czasopiśmie Problemy Eksploatacji (lista B – 12 pkt.), 2 referaty konferencyjne i 1 rozdział w monografii (Dyk J., Jungowski A. and Osiński J. – “Irregular motion in the vibration systems with an elastomeric friction element”, Wydawnictwa Politechniki Łódzkiej DYNAMICAL SYSTEMS – Applications, Editors: Awrejcewicz J., Kaźmierczak M., Olejnik P. and Mrozowski J.), Łódź, 2013, str. 365-374) . Bezpośrednio po bibliografii Doktorant zamieścił :

1. Informacje firm lotniczych;
2. Normy wykorzystane w badaniach;
3. Informacje dotyczące drgań motocykli.

W ramach 1 rozdziału zatytułowanego „Tłumik o niezależnym od temperatury poziomie dyssypacji” Autor rozprawy zamieścił (po krótkim uzasadnieniu) cel i zakres pracy oraz wyjaśnił, że rozprawa jest kontynuacją wcześniejszych prac powstałych w wyniku współpracy Instytutu Podstaw Budowy Maszyn PW i Instytutu Lotnictwa w Warszawie (prace wymienione w bibliografii 2-9) oraz podstawowe monografie z zakresy tłumienia drgań [10, 11, 12]. To wyjaśnienie niestety nie usprawiedliwia braku rozdziału zawierającego przegląd literatury, w szczególności światowej. W dalszej części tego rozdziału przedstawione zostały badania elastomerowo-cierne tłumika drgań, w ramach których zaprezentowano przyjęte do badań rozwiązanie konstrukcyjne tłumika (wzorowane na istniejącej konstrukcji) oraz wykresy drgań cykli pracy dla zadanych częstotliwości, skoku tłoka i temperatury pracy tłumika. Rozdział kończy Tabela, w której zestawiono wyniki rozpraszanej energii dla przypadków z badań.

W rozdziale 2 zatytułowanym „Badania właściwości materiałów stosowanych w budowie tłumików” zawarte zostały omówienia właściwości materiałów hiperelastycznych oraz wyniki badań dla dwóch rodzajów tego typu materiału (Epunit), które różniły się udziałami molowymi segmentów sztywnych do giętkich.

Rozdział 3 zawiera badania wrażliwości tłumika na rozpraszanie energii w zależności od temperatury jego pracy. Autor wykazał, że dla spadku temperatury dla cyklu pracy o skoku 0,000254 występuje wzrost poziomu rozpraszanej energii (rys. 3.2).

Model numeryczny i analiza numeryczna, z wykorzystaniem środowiska programu ABAQUS, zostały przedstawione w rozdziale 4. Zawarto tu zasady i założenia wykorzystane przy budowie modelu oraz strategii rozwiązania numerycznego (COUPLED-TEMPERATURE-DISPLACEMENT, EXPLICIT). Uzasadniono również dobór elementu skończonego i punktów całkowania. Następnie zaprezentowano model numeryczny tłumika opracowany dla potrzeb analizy wrażliwości na zmiany temperatury, który został wykorzystany w zaproponowanej ścieżce wyznaczenia naprężeń kontaktowych oraz oceny rozpraszania energii w tłumiku.

W rozdziale 5 przedstawiono uproszczony model do wstępnej analizy poziomu rozpraszania energii, który opracowano poprzez zastąpienie rozkładu ciśnień kontaktowych średnim ciśnieniem rozłożonym równomiernie na całej powierzchni elementu elastomerowego. Naciski pomiędzy elementami tłumika obliczono wykorzystując liniową sprężystość i wzory Lamé. Przeprowadzono obliczenia numeryczne w celu oceny poziomu rozproszenia energii z zastosowaniem metod analogicznych do przedstawionych wcześniej w rozdziale 2 dla wymuszenia odpowiadającego jednemu cyklowi pracy.

Doktorant dodatkowo wykorzystał przedstawioną teorię do symulacji wytłumienia drgań shimmy. Otrzymane w tym rozdziale rezultaty pokazują, że po obniżeniu temperatury zmniejszyła się rozpraszana energia, a większe tłumienie w materiale powoduje zmniejszenie amplitud drgań powstających w momencie nawrotu.

W rozdziale 6 zatytułowanym „Ocena możliwości występowania tarcia konstrukcyjnego w tłumiku elastomerowo-ciernym” Doktorant wymienił pozycje literatury, w których można znaleźć rozważania dotyczące tego tematu (bez szczegółowej jej analizy) oraz przedstawił dwa warianty obliczeniowe o różnych wymiarach geometrycznych, ale nie zamieścił tych wymiarów na rysunkach. Konkluzja w tym rozdziale jest dość lakoniczna, tj. stwierdzenie „Omówiona poniżej ocena tłumika elastomerowo-ciernego pod względem występowania tarcia konstrukcyjnego została przedstawiona w monografii [54], w której autor rozprawy był współautorem rozdziału czwartego. Stwierdzono w nim, że rozpraszanie energii w połączeniu rośnie wraz ze wzrostem liczby Poissona materiału”. Na podstawie przedstawionych wyników obliczeń na dwu wykresach, odpowiednio dla każdego z wariantów Doktorant wyciąga wnioski, że „Poziom rozpraszania energii przez zjawisko tarcia konstrukcyjnego w tłumiku elastomerowym jest mały – zjawisko to praktycznie nie ma znaczenia w ocenie tłumika elastomerowo-ciernego”. Należy nadmienić, że brak tu jakichkolwiek rozważań ilościowych.

Rozdział 7 zatytułowany „Iteracyjny algorytm projektowania tłumika o pożądanym właściwościach” zawiera propozycję iteracyjnego algorytmu poszukiwania rozwiązania lepiej spełniającego pożądaną właściwość tłumika. W tym celu za rozwiązanie początkowe posłużył tłumik produkcji firmy LORD, zaś kolejne wersje tworzono poprzez zmianę średnic (przy zachowaniu wymiarów zewnętrznych), co powodowało zmiany siły wcisku. Za funkcję celu, przyjęto uzyskanie tłumika o większym i stałym poziomie dyssypacji niezależnie od zmian temperatury. Po szeregu obliczeń testowych Doktorant uzyskał tłumik (część stalowa – tłoczysko o średnicy 12 mm) spełniający założenie stałej dyssypacji energii równej 0,36 Nm w założonym przedziale temperatury.

W rozdziale 8. Zatytułowanym „Podsumowanie – wnioski” Doktorant przedstawił wnioski wynikające z badań i analiz numerycznych, których celem było opracowanie sposobu projektowania tłumika elastomerowo-ciernego oraz takiego doboru parametrów, aby zachowany był poziom rozpraszania energii w różnych temperaturach.

Z ważniejszych wniosków przedstawionych w tym rozdziale można wymienić:

- materiały elastomerowe wykazują znaczny wzrost sztywności i poziomu tłumienia wraz ze spadkiem temperatury,
- dominujące znaczenie ma rozpraszanie energii przez tarcie pomiędzy przemieszczającymi się względem siebie elementami, tłumienie wewnętrzne w materiale elastomerowym ma duże znaczenie w ujemnych temperaturach, rozpraszanie energii nazywane tradycyjnie tarcie konstrukcyjnym (rozpraszanie energii przez mikroślizgi w połączeniach nieruchomych) ma minimalne znaczenie w tłumiku elastomerowo-ciernym,
- do opisu hiperelastycznych właściwości elastomerów najlepszy jest model wielomianowy zredukowany.

W zakończeniu Doktorant, na podstawie wyników uzyskanych w Rozprawie, wskazuje, że dalsze badania „nad elastomerowo-ciernymi tłumikami drgań powinny rozwijać się w kierunku zastosowania ich do szybkich motocykli”.

### 3. Uwagi krytyczne do rozprawy

Po przeczytaniu rozprawy doktorskiej recenzent odniósł wrażenie, że napisana została w dużym pośpiechu i bez zapoznania się ze standardami, jakie w takim przypadku obowiązują.

Przede wszystkim brak jest przeglądu literatury krajowej i światowej. Przytoczone w Bibliografii pozycje literatury często nie mają nic wspólnego z pracą, a zostały zamieszczone bez bezpośredniej przyczyny. Nie uzasadniono, w sposób wyczerpujący, dlaczego do badań przyjęto akurat materiał Epunit i co o tym zdecydowało. Po zapoznaniu się z literaturą problemu, zwykle jest formułowany cel i zakres pracy. W niektórych środowiskach naukowych uważa się, że powinna być sformułowana teza badawcza, ale recenzent uważa, że nie jest to warunkiem koniecznym tym bardziej, że ustawa precyzuje, iż rozprawa doktorska „...*powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego...*”, a nie udowodnienie założonej tezy badawczej. Prace zespołu prof. Osińskiego związane z badaniami elastomerów są powszechnie znane, ale Doktorant powinien uzasadnić, że jego wkład stanowi oryginalne rozwiązanie problemu badawczego.

Następna uwaga dotyczy przytoczonych opisów, rysunków, wykresów i schematów. Zamieszczone opisy są dalece niewystarczające, czasami wręcz lakoniczne i nie objaśniają istoty sprawy. Przykładowo rysunki uzyskane z badań na maszynie wytrzymałościowej i zamieszczona na końcu rozdziału tabela mogłyby być szczegółowiej omówione z wynikającym z nich wskazaniem tendencji. Przykładowo do innych uchybień w tym zakresie zaliczam nieczytelne opisy rys. 2.5, 2.6, 2.7, 3.1 – brak linii 4. Na rysunkach – planach warstwicznych obrazujących naprężenia kontaktowe brak jest bezpośrednio dyskusji niesymetryczności rozkładów i ich przyczyn.

Przyjęta metodyka badawcza nie do końca odzwierciedla założenia przyjęte w pracy. Przykładem jest tutaj założenie o równomiernym utracie ciepła z całej objętości elastomeru (pomiar temperatury na powierzchni zewnętrznej próbki). Należy tutaj zauważyć, że elastomery należą do grupy materiałów o niskim współczynniku przewodzenia ciepła (należą do grupy izolatorów ciepła) i ich współczynnik przewodzenia ciepła jest ok. 100 razy mniejszy niż stali ( $58 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ ) i zbliżony do wartości współczynnika dla gipsu ( $0,51 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ ). Z tego powodu bez analizy procesu ocieplania się próbki, w tym odbioru ciepła poprzez kontakt z zewnętrzną, metalową tuleją i wynikającym z tego rozkładem temperatury w jej wnętrzu, trudno cokolwiek powiedzieć o wpływie temperatury na proces dyssypacji. Uważam, że Doktorant mógł się pokusić o opracowanie modelu termomechanicznej analizy numerycznej za pomocą MES, w którym mógłby uwzględnić proces wyznaczania zmiennych w czasie pól temperatury elementów, a w szczególności elastomerowego i przez to uwzględnić wpływ zmian ich temperatury na wartości siły nacisku w połączeniu tłocznisko – elastomer – rura aluminiowa (obudowa). Nie ma też w rozdziale 2 wyjaśnienia powodu zastosowania modelu tłumienia Rayleigha (zdefiniowany wyrażeniem 2.5) oraz przyjęcia wartości liczbowych dla oceny merytorycznej współczynników  $\alpha$  i  $\beta$  występujących w tym wyrażeniu.

#### **4. Ocena merytoryczna**

W pracy przedstawiono doświadczalne i numeryczne badania układu tłumika ciernego wykonanego z tłoczniska, na którym zamocowany był element elastomerowy przylegający do aluminiowej tulei. Doktorant przeprowadził badania eksperymentalne przyjętego do rozważań materiału typu Epunit w założonym przedziale temperatury.

Przedstawiona do recenzji praca ma charakter badawczy i w perspektywie aplikacyjny. Przeprowadzone badania i otrzymane rezultaty dowodzą celowości podjęcia prezentowanej tematyki. Na podstawie otrzymanych wyników zrealizowano główny cel pracy, którym było zbadanie możliwości opracowania tłumika drgań o niezależnym od temperatury poziomie

dyssypacji. Posługując się wynikami przeprowadzonych badań eksperymentalnych, jak również uproszczonymi modelami i zaawansowaną analizą numeryczną Doktorant wykazał, że taka możliwość istnieje i jest potencjalnie do zrealizowania. Za perspektywę kontynuowania tej tematyki wskazał sport motocyklowy.

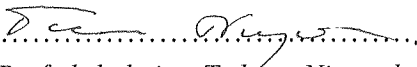
Niestety praca charakteryzuje się bardzo niestaranną edycją z brakiem poszanowania dla czytającego, który w tym wypadku często musi sięgać po lupę i domyślać się wielu treści ze względu na bardzo lakoniczne opisy. Nie znalazłem też w pracy rozdziału, w którym przedstawiony byłby opis procesu walidacji modelu numerycznego.

Podsumowując stwierdzam, że Doktorant wywiązał się z realizacji założonego celu rozprawy w stopniu dostatecznym. W trakcie jej wykonania wykazał się samodzielnością i umiejętnością twórczego myślenia. Treść rozprawy odpowiada jej tytułowi. Zawarte w niniejszej recenzji uwagi mają charakter głównie edycyjny i dotyczą przedstawionej treści w sposób zbyt lakoniczny. Uwagi te nie podważają osiągnięć Doktoranta przedstawionych w rozprawie. Przedstawione rezultaty poszerzają wiedzę z zakresu badań właściwości elastomerów oraz ich możliwości aplikacyjnych. Do części z nich Doktorant może ustosunkować się w trakcie obrony, ale część z nich, szczególnie badania literaturowe oraz poprawienie poprawności i komunikatywności tekstu rozprawy już opublikowanej może wymagać przeredagowania i ponownego jej wydania – decyzję w tej sprawie powinien podjąć Doktorant wspólnie z promotorami.

Według mojej opinii Doktorant w swojej rozprawie samodzielnie rozwiązał zadanie naukowe i zrealizował cel naukowy rozprawy, jakim było opracowanie tłumika drgań o niezależnym od temperatury poziomie dyssypacji.

## **5. Wniosek końcowy**

Stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Adama Jungowskiego zatytułowana „Tłumik drgań o niezależnym od temperatury poziomie dyssypacji”, odpowiada wymogom ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14.03.2003 r. w stopniu upoważniającym mnie (po naniesieniu w jej treści stosownych poprawek) do postawienia wniosku o dopuszczenie Autora rozprawy do jej publicznej obrony.

  
Prof. dr hab. inż. Tadeusz Niezgoda