

Dr hab. inż. Damian Gąsiorek, prof. PŚ.  
Katedra Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej  
Politechnika Śląska  
Wydział Mechaniczny Technologiczny  
Ul. Konarskiego 18A  
44-100 Gliwice  
e-mail: [Damian.Gasiorek@polsl.pl](mailto:Damian.Gasiorek@polsl.pl)

Gliwice 06.09.2022 r.

## RECENZJA

*Rozprawy doktorskiej mgr inż. Dawida Witkowskiego  
zatytułowanej*

*„Stateczność płyty prostokątnej o symetrycznie zmiennych właściwościach  
mechanicznych poddanej obciążeniom dynamicznym”.*

*Recenzję opracowano na podstawie zlecenia DIM.075.346.2022 Dziekana Wydziału  
Inżynierii Mechanicznej dr hab. inż. Olafa Ciszaka, prof. PP z dnia 06.07.2022 r.*

### 1. Zakres rozprawy

W poszukiwaniu materiałów coraz lżejszych, a z drugiej strony coraz bardziej wytrzymałych od wielu lat badacze podejmują się prac dotyczących ich sposobu wytwarzania. Z drugiej strony od lat konstruktorzy zmagają się z problemem określenia bezpieczeństwa konstrukcji. W przypadku prostych przypadków obliczeniowych stosując znane metody analityczne. Dużym problemem obliczeniowym są przypadki obliczeń dla materiałów gradientowych, której przykładem może być piana aluminiowa o zmiennej porowatości.

W niniejszej pracy Autor podjął próbę sformułowania wewnętrznie spójnej hipotezy deformacji uwzględniającej efekt ścinania dla przedstawionego w pracy uogólnienia materiałów gradientowych. Dodatkowo Autor podjął się wyprowadzenia modelu analitycznego płyty prostokątnej i porównania wyników z obliczeniami numerycznymi. Przedstawił również wyniki badań statycznej i dynamicznej utraty stateczności płyty prostokątnej. Założenie nieliniowej, autorskiej hipotezy deformacji przekroju normalnego do powierzchni środkowej płyty umożliwiło wyprowadzenie wyrażenia opisującego naprężenia tnące wzdłuż grubości płyty.



W pracy przedstawiono badania modelowe oraz analizę uzyskanych wyników. Jest to przykład pozytywnego wykorzystania wiedzy inżynierskiej, szczególnie w obszarze nowych technologii w zastosowaniu do materiałów gradientowych.

Autor zaproponował dwie tezy pracy:

#### Teza I

Możliwe jest sformułowanie indywidualnej hipotezy deformacji prostej normalnej do płaszczyzny środkowej płyty z zmiennymi właściwościami materiałowymi wzdłuż grubości, symetrycznie względem płaszczyzny środkowej, uwzględniającej podstawowe rodzaje struktur materiałowych (jednorodnych, gradientowych, trójwarstwowych) z analizą efektu ścinania, uzyskując rozkład naprężeń stycznych.

#### Teza II

Możliwe jest zastąpienie klasycznych konstrukcji szkieletowych nadwozi pojazdów szynowych konstrukcją półskorupową, wykonaną z zastosowaniem materiałów gradientowych, dla których spełnione są wymagania normatywne w zakresie wytrzymałości, stateczności oraz bezpieczeństwa pasywnego, uzyskując konstrukcję bezpieczniejszą, o korzystniejszych właściwościach strukturalnych oraz eksploatacyjnych.

Dodatkowo Doktorant zaproponował cele pracy doktorskiej:

- opracowanie modelu analitycznego płyty prostokątnej z uwzględnieniem efektu ścinania,
- opracowanie modelu numerycznego płyty prostokątnej w odniesieniu do modelu analitycznego,
- wzajemna walidacja zastosowanych metod obliczeniowych przez porównanie wyników badań analitycznych oraz numerycznych,
- wyznaczenie sił krytycznych oraz częstości drgań własnych płyty prostokątnej,
- implementacja wyników badań uzyskanych dla płyty prostokątnej w praktycznym procesie kształtowania i optymalizacji konstrukcji nadwozia wagonu osobowego.

W pracy nie przedstawiono zakresu pracy doktorskiej.

Rozprawa doktorska obejmuje 101 stron tekstu bez bibliografii, którą stanowi 74 pozycje literaturowe. Praca podzielona została na 4 rozdziały wraz z podrozdziałami. Zakończenie pracy stanowi streszczenie pracy w języku angielskim.

Recenzowana rozprawa mieści się w szeroko pojętej dyscyplinie naukowej – inżynieria mechaniczna.

## 2. Ocena merytoryczna rozprawy

**We wstępie pracy** Doktorant prezentuje podstawowe zagadnienia z zakresu nowoczesnych materiałów gradientowych, a w szczególności dokonuje przeglądu literaturowego dotyczącego modelowania płyt wykonanych z materiałów gradientowych. Dodatkowo Autor przedstawia sposób kształtowania konstrukcji nadwozia pojazdu szynowego opisując badania jakim poddaje się powyższe konstrukcje, a także wskazuje swój udział w pracach Sieci Badawczej Łukasiewicz – Poznańskim Instytucie Technologicznym. Prace dotyczyły wytrzymałości i stateczności konstrukcji pudeł wagonów, lokomotyw, platform towarowych i pojazdów specjalnych. Koniec rozdziału pierwszego zakończony jest dwoma tezami i sześcioma celami pracy. Pierwsza teza dotyczy indywidualnej hipotezy deformacji prostej normalnej do płaszczyzny środkowej płyty o zmiennych właściwościach materiałowych wzdłuż grubości, symetrycznie względem płaszczyzny środkowej. Druga teza wskazuje możliwość zastąpienia klasycznych konstrukcji szkieletowych nadwozi pojazdów szynowych konstrukcją półskorupową wykonaną z materiałów gradientowych. Zazwyczaj w pracach naukowych wstawia się albo cel pracy albo tezę (str. 15), brakuje zakresu pracy. Podane przez Autora cele pracy to:

- opracowanie modelu analitycznego płyty prostokątnej z uwzględnieniem efektu ścinania,
- opracowanie modelu numerycznego płyty prostokątnej w odniesieniu do modelu analitycznego,
- wzajemna walidacja zastosowanych metod obliczeniowych przez porównanie wyników badań analitycznych oraz numerycznych,
- wyznaczenie sił krytycznych oraz częstości drgań własnych płyty prostokątnej,
- badania stateczności statycznej i dynamicznej płyty prostokątnej,
- implementacja wyników badań uzyskanych dla płyty prostokątnej w praktycznym procesie kształtowania i optymalizacji konstrukcji nadwozia wagonu osobowego.

Czytając cele pracy, które wydają się raczej jej zakresem, zastanawiające jest jak modele obliczeniowe mogą się wzajemnie walidować. Do tego procesu zazwyczaj używa się wyników, które uważa się jako prawidłowe, a otrzymane wyniki z analiz numerycznych poddaje się walidacji.

Rozdział pierwszy stanowi zaledwie 10 stron pracy. Opis materiałów mógł być obszerniejszy, a wymienienie w pracy kto zajmował się poszczególnymi badaniami dotyczącymi materiałów gradientowych niewystarczające. Wymienienie jedynie, że badania wytrzymałościowe materiałów gradientowych zaprezentował w pracy np. Tuncer wydaje się niewłaściwe. W tej części pracy brakuje konkretnych wiadomości, które powinny dawać każdemu czytelnikowi pracy szersze pojęcie o tych materiałach i ich zastosowaniu. Czytelnik niekoniecznie musi być ekspertem w tym zakresie, a Doktorant powinien płynnie wprowadzić czytelnika do tematyki badań. Autor ma zwyczaj oznaczania rysunków jako opracowanie



własne. W pracach naukowych w ten sposób nie oznacza się rysunków własnych, a jedynie zapożyczone rysunki oznacza się odnośnikiem do literatury, z której pochodzą.

W **rozdziale drugim** Doktorant zajął się tematyką modelowania płyt z materiałów gradientowych. Rozdział ten składa się z 3 podrozdziałów i stanowi 69 stron pracy doktorskiej. W podrozdziale pierwszym przedstawił:

- badania analityczne płyty o symetrycznie zmiennych właściwościach na grubości,
- ich właściwości mechaniczne i fizyczne,
- hipotezę deformacji prostej normalnej do płaszczyzny środkowej płyty,
- zasadę Hamiltona – równania różniczkowe ruchu,
- obciążenia bifurkacyjne,
- analizę modalną – drgania własne,
- statyczne i dynamiczne ścieżki równowagi – stan zakrytyczne,
- rozkład naprężeń normalnych oraz stycznych – efekt ścinania.

Podrozdział drugi stanowi opis badań numerycznych płyty prostokątnej, na który składa się opis:

- dyskretyzacji funkcji zmian właściwości materiałowych,
- przyjętej siatki elementów skończonych,
- warunki brzegowe i obciążenia,
- wpływ imperfekcji.

Rozdział trzeci zakończony jest podrozdziałem, w którym Autor przedstawił wyniki badań analitycznych i numerycznych. Doktorant przedstawił dużo wykresów i rysunków ale brakuje komentarza, co one dają i oznaczają. Zestawienie tabelaryczne wyników porównania wartości obciążeń krytycznych oraz częstości drgań własnych również wymaga komentarza. W zaprezentowanej formie ta część pracy raczej powinna stanowić załącznik do pracy doktorskiej.

**Rozdział trzeci** dotyczy badań numerycznych konstrukcji nośnej wagonu. Rozdział ten stanowi 12 stron pracy, z czego 8 stron to rysunki z modelami i wykresami do pracy. Analizie poddano wpływ zastosowania materiałów porowatych o różnej porowatości na wybrane aspekty wytrzymałościowe wagonu, odnoszące się do kryteriów oceny zawartych w normach. Obliczenia numeryczne przeprowadził metodą elementów skończonych w środowisku Abaqus. Dla modelu pierwotnego w Abaqus standard, a dla konstrukcji zmodyfikowanej dla Abaqus standard i explicite. Szkoda, że Autor nie pokusił się o użycie tzw. „submodelingu”, który często stosuje się, dla tak dużych konstrukcji. Dodatkowo można było porównać wyniki z innymi metodami obliczeniowymi np. metodami bezsiatkowymi, które często stosuje się w przypadku dużych deformacji i dużych prędkości odkształceń.

W **rozdziale Czwartym** Doktorant przedstawił podsumowanie pracy doktorskiej oraz wnioski do pracy. Ta część pracy stanowi 3,5 strony i odnosi się do dwóch stawianych tez pracy oraz celów pracy. Dając dwie tezy pracy i sześć celów pracy Autor w podsumowaniu jedynie na końcu rozdziału w jednym zdaniu ustosunkował się, że postawione cele i tezy pracy zostały udowodnione. Brakuje odniesienia się do poszczególnych tez i celów pracy. Wnioski mogły być wypunktowane.

Brakuje rozdziału, gdzie Doktorant mógł wskazać kierunki dalszych badań. Kierunki badań można się doszukać w rozdziale czwartym poświęconym podsumowaniu badań i wioskom.

Po rozdziale 4 znajduje się spis literatury, a na końcu pracy streszczenie w języku angielskim.

### **3. Najważniejsze osiągnięcia pracy**

Doktorant zaproponował dwie tezy pracy doktorskiej:

Teza I

Możliwe jest sformułowanie indywidualnej hipotezy deformacji prostej normalnej do płaszczyzny środkowej płyty z zmiennych właściwościach materiałowych wzdłuż grubości, symetrycznie względem płaszczyzny środkowej, uwzględniającej podstawowe rodzaje struktur materiałowych (jednorodnych, gradientowych, trójwarstwowych) z analizą efektu ścinania, uzyskując rozkład naprężeń stycznych.

Teza II

Możliwe jest zastąpienie klasycznych konstrukcji szkieletowych nadwozi pojazdów szynowych konstrukcją półskorupową, wykonaną z zastosowaniem materiałów gradientowych, dla których spełnione są wymagania normatywne w zakresie wytrzymałości, stateczności oraz bezpieczeństwa pasywnego, uzyskując konstrukcję bezpieczniejszą, o korzystniejszych właściwościach strukturalnych oraz eksploatacyjnych.

**Do najważniejszych osiągnięć badawczych przedstawionej pracy doktorskiej należy zaliczyć:**

- W niniejszej pracy Autor podjął próbę sformułowania wewnętrznie spójnej hipotezy deformacji uwzględniającej efekt ścinania dla przedstawionego w pracy uogólnienia materiałów gradientowych
- Dodatkowo Autor podjął się wyprowadzenia modelu analitycznego płyty prostokątnej i porównania wyników z obliczeniami numerycznymi.
- Przedstawił również wyniki badań statycznej i dynamicznej utraty stateczności płyty prostokątnej.

- Założenie nieliniowej, autorskiej hipotezy deformacji przekroju normalnego do powierzchni środkowej płyty umożliwiło wyprowadzenie wyrażania opisującego naprężenia tnące wzdłuż grubości płyty.
- W pracy przedstawiono badania modelowe oraz analizę uzyskanych wyników.
- Jest to przykład pozytywnego wykorzystania wiedzy inżynierskiej, szczególnie w obszarze nowych technologii w zastosowaniu do materiałów gradientowych.

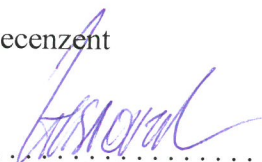
Uwagi krytyczne nie umniejszają osiągnięć Autora, często mają charakter dyskusji naukowej. Ponadto należy stwierdzić, że praca została zredagowana starannie i zgodnie z zasadami przygotowania rozpraw o charakterze naukowym.

#### 4. Wniosek końcowy

Po zapoznaniu się z treścią recenzowanej rozprawy stwierdzam, iż stanowi ona istotny przyczynek naukowy do badań dotyczących stateczności statycznej i dynamicznej płyty prostokątnej wykonanej z materiału gradientowego o symetrycznie zmiennych właściwościach fizycznych i mechanicznych na grubości płyty. Dodatkowo Doktorant wykonał analizę przy użyciu powyższego materiału do konstrukcji nośnej podwozia wagonu osobowego w odniesieniu do wybranych wymagań normatywnych ze szczególnym uwzględnieniem stateczności jego struktury. Doktorant wykazał się umiejętnością właściwego przygotowania warsztatu naukowego, przeprowadził ciekawe i trudne do realizacji badania modelowe. Uwagi krytyczne nie umniejszają osiągnięć Autora, często mają charakter dyskusji naukowej.

*Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzam, że w ocenie całościowej praca ta spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668 z zm.). Zrealizowana przez **mgr inż. Dawida Witkowskiego** praca pt. „**Stateczność płyty prostokątnej o symetrycznie zmiennych właściwościach mechanicznych poddanej obciążeniom dynamicznym**“ stanowi oryginalne rozwiązanie sformułowanego problemu naukowego i wnosi istotny wkład w dyscyplinę inżynieria mechaniczna. Ponadto wskazuje na zadowalający poziom wiedzy teoretycznej i praktycznej jej Autora. Reasumując stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska może być dopuszczona do publicznej obrony.*

Recenzent

  
.....