

Prof. dr hab. inż. Jerzy Rojek
Instytut Podstawowych Problemów Techniki
Polskiej Akademii Nauk
ul. Pawińskiego 5B
02-106 Warszawa
e-mail: jrojek@ippt.pan.pl
tel. 600 202 430

Warszawa, 11.03.2024 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Piotra Jankowskiego pt. „Wybrane zagadnienia drgań i stabilności niejednorodnych belek Reddy’ego w skali nano”

Podstawa: Uchwała nr 21/2023 Rady Naukowej Wydziału Mechanicznego Politechniki Białostockiej z dnia 13.12.2023 r. przekazana w piśmie Przewodniczącego Rady Naukowej Wydziału Mechanicznego Politechniki Białostockiej prof. dr. hab. inż. Romualda Mosdorfa z dnia 19 stycznia 2024 r.

1. Ogólna charakterystyka pracy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Piotra Jankowskiego pt. „Wybrane zagadnienia drgań i stabilności niejednorodnych belek Reddy’ego w skali nano” została przygotowana pod kierunkiem promotora dr. hab. inż. Krzysztofa Kamila Żura, profesora PB. Została napisana w języku polskim. Praca, o łącznej objętości 121 stron, składa się ze Wstępu, 5 numerowanych rozdziałów, 2 dodatków oraz bibliografii obejmującej 189 pozycji. Rozprawa doktorska jest przygotowana w zakresie dyscypliny naukowej: inżynieria mechaniczna.

Przedmiotem pracy jest analiza drgań i stabilności niejednorodnych nanobelek opisanych za pomocą teorii ścinania wyższego rzędu Reddy’ego. Głównym celem pracy doktorskiej było wyznaczenie charakterystyk dynamiki i stabilności nanobelek o różnych właściwościach materiałowych i geometrycznych poddanych z uwzględnieniem obciążenia zewnętrznego w postaci sił elektromechanicznych oraz sprężystego podłoża.

Tematykę rozprawy zarysowano we Wstępie. We Wstępie zostały sformułowane cel i zakres rozprawy. Autor przedstawił również krótki opis metodyki badań oraz tezę pracy doktorskiej. Ponadto Autor zamieścił listę swoich publikacji oraz wystąpień konferencyjnych związanych z rozprawą.

Rozdział 1 stanowi szersze wprowadzenie do tematyki rozprawy, podkreślono w nim jej ważność i aktualność. Autor dokonał przeglądu literatury teorii i modeli stosowanych do opisu nanobelek, w tym teorii Eulera-Bernoulliego, Tomoszenki oraz teorii ścinania wyższego rzędu. Na podstawie przeglądu literatury Doktorant zidentyfikował obszary niedostatecznie zbadane. Stwierdził brak prac przedstawiających kompleksową analizę wpływu gradientowości i porowatości materiału na wyboczenie oraz drgania swobodne nanobelek modelowanych za pomocą teorii ścinania trzeciego rzędu Reddy’ego.

W rozdziale 2 przedstawiono podstawy teorii Reddy'ego oraz teorii nielokalnej sprężystości i gradientu odkształceń, które będą podstawą sformułowań stosowanych w dalszych rozdziałach. W rozdziale 3 omówiono ponadto właściwości struktur gradientowych (ang. functionally graded materials – FGM).

W rozdziale 3 przedstawiono rozwiązanie zagadnienia drgań swobodnych i wyboczenia bifurkacyjnego swobodnie podpartej nanobelki z uwzględnieniem sprężystego podłoża. Zbadano wpływ parametrów materiału oraz sprężystego podłoża na stabilność i drgania nanobelki.

W rozdziale 4 rozpatrywano stabilność i drgania niejednorodnej nanobelki ze sprzężeniem elektro-sprężystym

W rozdziale 5 przedstawiono podsumowanie oraz perspektywy dalszych badań.

2. Ocena pracy

Znaczenie i aktualność problemu badawczego

W wielu rozwiązaniach inżynierskich stosuje się obecnie zminiaturyzowane urządzenia wiążące elementy mechaniczne i elektroniczne, tzw. MEMS (ang. microelectromechanical systems) lub NEMS (ang. nanoelectromechanical systems). Układy te charakteryzują się czułością, dokładnością a także szybką odpowiedzią. Wiele z tych urządzeń zawiera w sobie jako podstawowy element w postaci nanobelki charakteryzującej się niejednorodną warstwową strukturą. Ich zasada działania wykorzystuje charakterystykę dynamiczną, a czułość jest optymalna w zakresie obciążeń zbliżonych do obciążeń krytycznych, często wykorzystane są efekty piezoelektryczne. Wymienione tu zjawiska są przedmiotem badań w omawianej pracy doktorskiej. Wobec tego z całą pewnością można stwierdzić, że tematyka pracy doktorskiej dotyczy ważnego i aktualnego problemu badawczego.

Poprawność metody badawczej

W pracy rozwiązano zagadnienia własne opisujące drgania swobodne oraz wyboczenie niejednorodnych nanobelki z funkcjonalnie gradientowego materiału oraz z funkcjonalnie gradientowego rdzenia pokrytego warstwami piezoelektrycznymi. Zagadnienia te zostały opisane liniowym modelem matematycznym w którym wykorzystano nielokalną teorię sprężystości oraz uwzględniono sprzężenie elektro-sprężyste. Układy równań różniczkowych stanowiące model matematyczny wyprowadzono korzystając z zasady Hamiltona z uwzględnieniem założeń teorii trzeciego rzędu Reddy'ego. Korzystając z metody Naviera rozwiązania układów równań ruchu belek przedstawiono w postaci nieskończonego szeregu Fouriera. Końcowe rozwiązanie otrzymano numerycznie za pomocą metody Newtona-Raphsona implementowanej w programie Mathematica. Przeprowadzono analizę zagadnień zakładając różne kombinacje parametrów badając wpływ poszczególnych parametrów na wielkość obciążenia krytycznego oraz częstość drgań własnych.

Otrzymane wyniki badań numerycznych i doświadczalnych pozwalają stwierdzić, że: (i) cel pracy został zrealizowany, (ii) aby to osiągnąć zastosowano właściwą metodę badawczą. Zastosowana w pracy analityczno-numeryczna metoda stanowi interesującą alternatywę powszechnie stosowanych metod numerycznych takich jak metoda elementów skończonych.

Elementy oryginalne

Do oryginalnych i najbardziej wartościowych wyników pracy zaliczam:

- sformułowanie modelu matematycznego niejednorodnych belek z uwzględnieniem sprzężenia elektro-sprężystego z wykorzystaniem teorii ścinania trzeciego rzędu (Reddy'ego) oraz teorii nielokalnej sprężystości i gradientu odkształceń
- opracowanie metody rozwiązania numerycznego układów równań opisujących zagadnienia własne nanobelek
- analizę wpływu zewnętrznego napięcia elektrycznego na wartość obciążenia krytycznego oraz częstość drgań swobodnych nanobelek

Uwagi krytyczne o charakterze ogólnym:

Przy pozytywnej ocenie ogólnej, praca ma pewne niedociągnięcia, które wymieniam w poniższych uwagach:

1. Brak jest precyzyjnego ogólnego sformułowania badanego zagadnienia lub badanych zagadnień. Zagadnienia są formułowane odrębnie w poszczególnych rozdziałach wskutek czego praca jest mniej spójna. Brak precyzji widoczny już na początku przy wprowadzaniu teorii Reddy'ego, począwszy od równania (2.2), a właściwie również obejmując równanie (2.1), w której wprowadzone są wielkości stosowane dalej. Wielkości stosowane w równaniach (2.1)-(2.3) są tylko funkcjami położenia (x,z) , zaś w równaniu (2.4) pojawia się niezdefiniowana zmienna t . Domyślać się należy, że chodzi o czas. Zmienna t nie występuje w równaniach (2.5)-(2.15), a pojawia się znów w równaniach (2.16) i (2.17).
2. W przypadku niejednorodnych belek dodatkowej dyskusji wymaga ustalenie osi obojętnej. Definiuje się ją jako linię nie podlegającą wydłużeniu, wzdłuż której nie występują odkształcenia ani naprężenia. W przypadku przedstawionym na rys. 2.3a na którym porowatość jest symetryczna nie ma wątpliwości, że powierzchnia środkowa wyznacza oś (powierzchnię) obojętną. Natomiast w przypadku przedstawionym na rys. 2.3b z niesymetrycznym rozkładem porowatości, przeniesienie momentu gnącego nastąpi na pewno przy niesymetrycznym rozkładzie naprężeń. W rozprawie równania są w dalszym ciągu definiowane względem powierzchni środkowej. I tak też sugeruje rys. 2.3b. Wyznaczenie osi obojętnej belki o niejednorodnym przekroju można znaleźć np. pod linkiem https://www.ae.msstate.edu/tupas/SA2/chA13.9_text.html. Wyznaczenie osi obojętnej jest ważne bo względem niej powinny być liczone momenty gnące w przekroju. Natomiast Momenty np. w równaniu (3.19) są liczone przy definicji $z=0$ na powierzchni środkowej (np. str. 38). Przypadek zginania z jednoczesnym obciążeniem podłużnym jest bardziej złożony, ale tam również należy odpowiednio liczyć momenty gnące.
3. Belka jest określona jako element konstrukcyjny, pracujący na zginanie, którego jeden wymiar jest znacznie większy od dwóch pozostałych (szerokości i wysokości przekroju poprzecznego). W rozprawie uwzględnia się jedynie długość i wysokość belki, nic nie mówi się o trzecim wymiarze.
4. W pracy rozważa się wyboczenie belek. Belka jest elementem konstrukcyjnym pracującym na zginanie, a więc jako taki element właściwie nie podlega wyboczeniu bifurkacyjnemu, w którym pręt ściskany osiowo gwałtownie przechodzi w stan mimośrodowego ściskania, któremu towarzyszy zginanie.

Pomimo przedstawionych uwag krytycznych ogólna ocena rozprawy oraz osiągniętych wyników jest pozytywna.

3. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę opisane osiągnięcia oraz ich oryginalny charakter, stwierdzam, że mgr inż. Piotra Jankowski jest autorem rozprawy, w której przedstawił oryginalne rozwiązanie problemu naukowego z dyscypliny inżynieria mechaniczna, wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie inżynieria mechaniczna oraz pokazał umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Tym samym recenzowana praca mgr. inż. Piotra Jankowskiego spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r., poz. 742) i wnioskuję o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.



prof. dr hab. inż. Jerzy Rojek