



**POLITECHNIKA POZNAŃSKA**



**WYDZIAŁ ELEKTRYCZNY**

**Instytut Matematyki**

ul. Piotrowo 3A, 60-965 Poznań, tel. +48 61 665 2320, fax +48 61 665 2348

e-mail: office\_math@put.poznan.pl, www.put.poznan.pl

dr hab. inż. Ewa Magnucka-Blandzi  
email: ewa.magnucka-blandzi@put.poznan.pl

Poznań, 11 stycznia 2019 r.



## RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Jarosława Gawryluka**

**„Wirujące struktury kompozytowe o sterowalnych właściwościach mechanicznych”**

*(opinia sporządzona na podstawie pisma WM/552/2018 Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej z dnia 27.12.2018 roku)*

### 1. Informacje ogólne

- a. Promotor: dr hab. inż. Andrzej Teter, prof. PL
- b. Układ rozprawy doktorskiej
  - 112 stron,
  - 6 rozdziałów, streszczenie, spis rysunków i tabel, literatura (115 wymienionych prac), wykaz publikacji doktoranta, załącznik.

### 2. Treść rozprawy, sformułowanie i rozwiązanie problemu naukowego

Przedmiotem rozprawy doktorskiej są wirujące struktury laminatowe. Opisane zostały wyniki analizy dotyczącej możliwości zastosowania elementów aktywnych (piezoelektrycznych materiałów kompozytowych typu MFC – *Macro Fibre Composite*) w celu zmiany częstości drgań własnych przedmiotowych struktur. Wykonano badania numeryczne (korzystając z systemu ABAQUS) i doświadczalne. Ponadto, podjęta została próba opisu analitycznego z uwzględnieniem hipotezy Eulera-Bernoulliego dotyczącej pola przemieszczeń przekroju poprzecznego belki. W szczególności wyprowadzono równania ruchu dla kompozytowej belki wspornikowej.

W pierwszym rozdziale wprowadzono do przedmiotowej tematyki i opisano wybrane artykuły (w tym współautorskie doktoranta), które dotyczą aktywnych struktur, dynamiki wirujących belek oraz sterowania układami w celu redukcji drgań. Wskazano na aktualność tematyki prowadzonych badań oraz na niewielką liczbę artykułów dotyczących sterowania strukturą aktywną, w szczególności z aktywatorem typu MFC. Ponadto wskazano na fakt, że dostępne w literaturze wyniki dotyczą przede wszystkim doświadczalnych badań.

W drugim rozdziale Doktorant sformułował tezę i określił cel oraz zakres rozprawy.



**POLITECHNIKA POZNAŃSKA**

**WYDZIAŁ ELEKTRYCZNY**

**Instytut Matematyki**

ul. Piotrowo 3A, 60-965 Poznań, tel. +48 61 665 2320, fax +48 61 665 2348

e-mail: office\_math@put.poznan.pl, www.put.poznan.pl



W trzecim został przedstawiony matematyczny model wspornikowej belki kompozytowej, w którym uwzględniono hipotezę Eulera-Bernoulliego. Wyznaczono analitycznie formuły na częstość drgań własnych oraz ugięcie belki.

Kolejny rozdział dotyczy numerycznych badań belkowych struktur z aktywnymi elementami. Obliczeniowe procedury zweryfikowano na dwóch belkach znanych z literatury. Opracowano uproszczony model aktywnego elementu typu MFC, dla którego określono właściwości mechaniczne i piezoelektryczne oraz wykonano doświadczalne badania w celu weryfikacji. Następnie opracowano model wirnika z jedną i trzema łopatkami z aktywnymi elementami typu MFC oraz badano drgania i ich postaci z uwzględnieniem różnych typów wymuszenia. Ostatecznie, sprawdzono wpływ zastosowania aktywnych elementów na częstość drgań własnych.

W piątym rozdziale opisano badania doświadczalne, w tym analizę modalną nieruchomego trójpłatowego i jedнопłatowego wirnika. Zastosowano dwie metody: kontaktową i bezkontaktową. Wyznaczono postaci i częstości drgań własnych wirnika oraz określono pierwszą częstość drgań własnych dla trójpłatowego wirnika obracającego się ze stałą prędkością obrotową. Ponadto wykonano badania dynamiczne wspornikowej belki laminatowej z elementem MFC obciążonej siłą harmoniczną.

W ostatnim rozdziale autor rozprawy podsumowuje przeprowadzone i opisane badania teoretyczne oraz doświadczalne, jak również wskazuje na kierunek dalszych badań.

### **3. Ocena wartości naukowej rozprawy**

Magister inż. Jarosław Gawryluk poprawnie sformułował tezę i wyraźnie określił cel oraz zakres rozprawy. Doktorant przeprowadził ocenę możliwości zastosowania elementów aktywnych typu MFC do zmiany częstości drgań własnych struktury kompozytowej. Badania teoretyczne dotyczą przede wszystkim analizy numerycznej metodą elementów skończonych. Opracowane zostały odpowiednie modele numeryczne w komercyjnej wersji systemu ABAQUS. Niezwykle istotnym są badania doświadczalne (stanowiskowo-laboratoryjne) opisane w rozprawie doktorskiej, dzięki którym możliwa była weryfikacja opracowanych modeli teoretycznych, w szczególności numerycznych. Doświadczalne badania przeprowadzono na laboratoryjnym stanowisku wyposażonym w aktywne elementy i niezbędne czujniki pomiarowe. W badaniach metodą elementów skończonych zaproponowano zastępczy model numeryczny aktywnego elementu, który posiada jednorodną strukturę piezoelektryczną.

Dużą wartość pracy stanowią doświadczalne badania. Jednakże, doświadczenie, którego badawcze stanowisko przedstawiono na rys. 4.7 (str. 52) budzi wątpliwość z uwagi na przyłożone obciążenie (prawie skupione, a nierozłożone na całej szerokości pasma).

Opisane wyniki badań oraz sformułowane wnioski w pracy wskazujące na znaczne różnice pomiędzy wynikami doświadczalnymi a teoretycznymi są bardzo istotne, z uwagi na fakt, że dają podstawę do zaproponowania zastosowania hipotezy Zig-Zag w modelowaniu matematycznym kompozytowych belek. Autor rozprawy zaobserwował rozbieżność wyników



**POLITECHNIKA POZNAŃSKA**



**WYDZIAŁ ELEKTRYCZNY**

**Instytut Matematyki**

ul. Piotrowo 3A, 60-965 Poznań, tel. +48 61 665 2320, fax +48 61 665 2348

e-mail: office\_math@put.poznan.pl, www.put.poznan.pl

analitycznych i numerycznych na poziomie 21% i stwierdził, że zastosowanie teorii Timoszenki zmniejszy różnicę. W wyniku zastosowania tego modelu belki, w którym jest uwzględniony efekt ścinania, otrzymane wyniki dla wielowarstwowych struktur będą również przybliżonymi wartościami i z pewnością dokładniejszymi niż po zastosowaniu modelu belki Eulera-Bernoulliego. Jednakże w dalszych badaniach bardziej zasadnym byłoby zastosowanie np. teorii Zig-Zag.

Ponadto Doktorant zaobserwował w pewnych przypadkach różnice pomiędzy wynikami numerycznymi a doświadczalnymi. Opisane różnice również stanowią istotną wartość tej rozprawy doktorskiej z uwagi na fakt, że są inspiracją do dalszych badań i wskazują na potrzebę szczegółowego opracowania teorii zginania belek oraz płyt o złożonych strukturach i porównania wyników do otrzymanych doświadczalnie.

Układ rozprawy doktorskiej jest przemyślany i logiczny. Doktorant wykazał prawdziwość sformułowanej tezy rozprawy doktorskiej, że aktywatory mogą być stosowane do zmiany zachowania mechanicznych wirujących struktur kompozytowych. Otrzymane wyniki badań mogą stanowić podstawę w projektowaniu takich struktur.

Autor wskazał kierunki dalszych badań, w których warto byłoby uwzględnić inne teorie niż Eulera-Bernoulliego czy Timoszenki, tzn. nieliniowe hipotezy przekroju poprzecznego belki, które uwzględniają efekt ścinania, np. teorię Zig-Zag.

#### **4. Ocena redakcyjna rozprawy**

Praca jest zredagowana dość starannie. Układ rozprawy doktorskiej jest przemyślany i logiczny, a większość otrzymanych wyników przedstawiona na wykresach w czytelny sposób.

W pracy można znaleźć nie do końca zrozumiałe sformułowania, przykładowo:

- na str. 16: „rozszerzonej zasady Hamiltona”,
- na str. 19: „stosując teorię Eulera-Bernoulliego z uwzględnieniem nieliniowej krzywizny”,
- na str. 30: „od płaszczyzny środkowej”,
- na str. 32: „w celu rozdzielenia zmiennych zastosowano metodę Galerkina”
- na str. 66: „nieliniowe charakterystyki twarde albo miękkie”,

lub nieprecyzyjne sformułowania, jak np.:

- na str. 49: „ścinanie przekroju poprzecznego”.

Autor nie uniknął błędów edycyjnych, przykładowo:

- na str. 27: wyrażenie na kąt odkształcenia postaciowego  $\chi_y$  (wzór 3.6) jest niepoprawne, podobnie błąd jest we wzorach (3.7),
- na str. 36: we wzorze (3.63) powinien być wyznacznik macierzy, a nie macierz.

Sformułowanie „laminowana belka” jest zamiennie stosowane do „laminat” (np. str. 31)



POLITECHNIKA POZNAŃSKA



WYDZIAŁ ELEKTRYCZNY

Instytut Matematyki

ul. Piotrowo 3A, 60-965 Poznań, tel. +48 61 665 2320, fax +48 61 665 2348

e-mail: office\_math@put.poznan.pl, www.put.poznan.pl

W pracy użyto tych samych oznaczeń do różnych wielkości, np.

- $\omega$  oznacza:
  - na str. 37 częstość drgań własnych belki,
  - na str. 68 początkową częstotliwość,
  - na str. 71 częstość wymuszenia.

Ponadto brakuje informacji, dla jakich danych wyznaczono wartości liczbowe np. przedstawione w rozdziale 4, np. na str. 43.

Wyżej wskazane uwagi nie mają wpływu na wartość merytoryczną pracy.

## 5. Wniosek końcowy

Przeprowadzenie analizy teoretycznej, w tym numerycznej jak również badań doświadczalnych przedmiotowych struktur kompozytowych wymagało niewątpliwie od Doktoranta znajomości zagadnień dynamicznych, statycznych oraz znajomości metody elementów skończonych. Magister inż. Jarosław Gawryluk wykazał się umiejętnością sformułowania problemu, opracowania modeli numerycznych w systemie ABAQUS wspomagającym obliczenia oraz umiejętnością przeprowadzenia laboratoryjnych badań. Można stwierdzić, że Doktorant wykazał się ogólną wiedzą w zakresie mechaniki konstrukcji, w szczególności drgań kompozytowych struktur.

Ponadto warto zauważyć, że niektóre wyniki badań dotyczące tych struktur zostały już opublikowane w znaczących czasopismach posiadających *Impact Factor* (część A wykazu MNiSW). Doktorant jest współautorem czterech takich artykułów. Również w swoim dorobku naukowo-badawczym ma cztery prace opublikowane w czasopismach bez *Impact Factor* (część B wykazu MNiSW), dwa w materiałach konferencyjnych oraz trzy jako rozdziały w monografiach. Na szczególną uwagę również zasługuje fakt, że przedmiotowa tematyka badań, w szczególności niektóre z otrzymanych wyników były prezentowane na krajowych i międzynarodowych konferencjach.

Podsumowując, można stwierdzić, że rozprawa doktorska mgr inż. Jarosława Gawryluka spełnia warunki określone w Dzienniku Ustaw z dnia 14 marca 2003 roku z późn. zm. Wnioskuje, na podstawie powyższego, o jej przyjęcie i dopuszczenie Doktoranta do publicznej obrony.

*E. Magnucka-Blandzi*

.....  
dr hab. inż. Ewa Magnucka-Blandzi