

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Justyny Anny Flis

pt. *"Optymalne projektowanie konstrukcji w przypadku utraty stateczności dynamicznej – zjawisko flutteru dla nadkrytycznych prędkości płynu"*,
promotor rozprawy: prof. dr hab. inż. Aleksander Muc.

Ocenę opracowano na zlecenie Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki
Krakowskiej.

1. CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY, CEL I ZAKRES PRACY

W przedstawionej do oceny rozprawie doktorskiej pt. *"Optymalne projektowanie konstrukcji w przypadku utraty stateczności dynamicznej – zjawisko flutteru dla nadkrytycznych prędkości płynu"* rozwiązano zagadnienie optymalizacji wielowarstwowych struktur kompozytowych oraz struktur porowatych o zmiennych własnościach poddanych obciążeniom aerodynamicznym w warunkach opływu z prędkościami nadkrytycznymi powyżej 1.5 M. Zagadnienie optymalizacji polegało na wyznaczeniu parametrów struktury w celu maksymalizacji krytycznego ciśnienia aerodynamicznego przy którym następuje utrata stateczności.

Podjęty temat badawczy uważam za ciekawy i ważny z naukowego i praktycznego punktu widzenia. Analizowane w pracy problemy mechaniki wielowarstwowych struktur kompozytowych oraz struktur porowatych o zmiennych własnościach (Functionally Graded Materials, FGM) wymagały od Doktorantki dogłębnego zrozumienia relacji fizycznych występujących w badanych strukturach oraz ich opisu matematycznego z uwzględnieniem dodatkowych efektów aerodynamicznych wywołanych opływem ponaddzwiękowym. Budowa modelu wymagała od Doktorantki przestudiowania zaawansowanej teorii sprężystości i aerosprężystości oraz mechaniki kompozytów. Ponadto w celu wyboru rozwiązań optymalnych konieczne była znajomość teorii optymalizacji.

Rozprawa doktorska składa się z siedmiu zasadniczych rozdziałów, trzech załączników, wykazu literatury oraz streszczeń w języku polskim i angielskim. W rozdziale pierwszym zawarto wstęp wraz z wprowadzeniem do tematyki pracy, cele i zakres pracy oraz bardzo krótki tabelaryczny przegląd literatury. Rzeczywisty przegląd literatury został dokonany przy

rozwiązywaniu zadań w kolejnych rozdziałach. W rozdziale drugim przedstawione zostały podstawy teoretyczne dotyczące laminowanych materiałów kompozytowych, materiałów gradientowych oraz krótko omówiono zasadę Hamiltona rozszerzoną na przypadek obciążeń wywołanych zmianą temperatury oraz sił niezachowawczych pochodzących od obciążeń aerodynamicznych. W kolejnym trzecim rozdziale przedstawiono podstawowe informacje na temat flatteru aerodynamicznego, zaprezentowano metody badania stateczności dynamicznej wybranych struktur, tj. metodę Rayleigh'a-Ritz'a, Bubnova-Galerkina, tzw. metodę analityczną oraz metodę elementów skończonych. Sformułowanie problemu optymalizacji przedstawione zostało w rozdziale czwartym. W rozdziale tym zdefiniowano funkcje celu oraz zmienne decyzyjne w odniesieniu do laminowanych struktur kompozytowych jak i struktur o zmiennych własnościach. Zmienne decyzyjne podzielono na zmienne materiałowe oraz geometryczne.

Szczegółową analizę wpływu parametrów strukturalnych na częstości drgań własnych prostokątnych płyt laminowanych przedstawiono w rozdziale piątym. Zbadano wpływ orientacji włókien, stosunku długości do szerokości płyty oraz warunków brzegowych na zmianę częstości własnych płyty. Ponadto w rozdziale tym przeprowadzono analizę zmiany częstotliwości drgań własnych materiałów funkcjonalnych na podstawie płyt porowatych o zadanych, zmiennych w przestrzeni, własnościach materiałowych. Przedstawiono wpływ różnych warunków brzegowych oraz zmianę częstości własnej jako funkcję porowatości płyty. Następnie, do zagadnienia własnego badanych płyt wprowadzono efekt oddziaływania aerodynamicznego. Na tej podstawie przeprowadzono analizę badanych struktur pod kątem możliwej utraty stateczności oraz wyboru „najlepszej” (optymalnej) konfiguracji. Dla wybranych układów zbadano również wpływ obciążeń wywołanych zmianą temperatury.

Warto podkreślić, że wybrane wyniki własne zweryfikowano poprzez odniesienie do wyników opublikowanych w literaturze.

Rozdział szósty poświęcony jest optymalnemu projektowaniu laminowanych paneli cylindrycznych poddanych obciążeniom aerodynamicznym. Przeprowadzono analizę wpływu konfiguracji panelu, kąta ułożenia włókien w stosunku do kierunku przepływu powietrza na wartość uzyskiwanego ciśnienia krytycznego. Wyniki analityczne porównano z wynikami uzyskanymi z metody elementów skończonych oraz wynikami dostępnymi w literaturze.

W rozdziale siódmym przedstawiono wnioski z uzyskanych badań oraz plan dalszych prac. W wykazie literatury zawarto 258 pozycji literatury, a w załącznikach A, B, C zawarto wzory użyte w sformułowaniu modelu i wyznaczeniu rozwiązań.

2. OCENA METODYKI BADAŃ ORAZ UZYSKANYCH WYNIKÓW

Przedstawiona praca stanowi oryginalne opracowanie Doktorantki w zakresie badań analitycznych i numerycznych oraz optymalnego projektowania struktur kompozytowych obciążonych aerodynamicznie. Zakres pracy jest bardzo obszerny, obejmuje on bowiem kilka ważnych działów mechaniki. Moim zdaniem każdy z podtematów przeanalizowany nieco dokładniej mógłby stanowić oddzielną rozprawę doktorską. Wyznaczenie rozwiązań dla wszystkich przypadków omówionych w pracy takich jak, laminowane płyty kompozytowe, panele zakrzywione, materiały gradientowe oraz dodatkowo uwzględnienie obciążeń wywołanych nadkrytycznym opływem płynu, czy też wpływu temperatury wymagało od Doktorantki dużego nakładu pracy oraz wykazania się odpowiednim przygotowaniem merytorycznym.

Do najważniejszych zagadnień zbadanych przez Autorkę należy zaliczyć opracowanie własnych algorytmów opartych na obliczeniach symbolicznych i numerycznych w celu wyznaczenia rozwiązań optymalnych. Na podstawie własnych modeli Doktorantka zbadała wpływ wybranych parametrów strukturalnych układu oraz wymuszeń na możliwość wystąpienia flatteru, a następnie dokonała wyboru rozwiązania optymalnego. Badania prowadzono na podstawie układów równań różniczkowych cząstkowych wyprowadzonych z zasady Hamiltona. W kolejnym kroku problem zredukowano do zagadnienia własnego badając wartości własne w funkcji wybranych parametrów. Wykonane powyżej badania i uzyskane wyniki teoretyczne są oryginalnym wkładem Autorki w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna. Uzyskane wyniki mogą być wykorzystane w praktyce w celu optymalizacji struktur kompozytowych w nadkrytycznym opływie płynu.

3. PYTANIA I UWAGI KRYTYCZNE

W pracy przedstawiono aż 258 pozycji literatury. Moim zdaniem jest to co najmniej dwukrotnie za duża liczba prac. Przegląd literatury nie jest przedstawiony dogłębnie, rozdział 1.3 zatytułowany „Przegląd literatury” zajmuje zaledwie półtora strony. Co prawda Doktorantka wprowadza odniesienia do literatury w pozostałych rozdziałach, ale są to jedynie bardzo krótkie wtrącenia np. na str.54 aż 19 prac skwitowano krótkim stwierdzeniem „...można to znaleźć w literaturze [127-145]”, na str.55 „Taki sam wniosek został sformułowany później w literaturze [149-158]”. Przegląd literatury nie jest przedstawiony w sposób systematyczny i uporządkowany. W poszczególnych rozdziałach znajdują się pewne informacje na temat obecnego stanu wiedzy, ale odniesione są one jedynie do pewnego podzadania, sprawia to

pewną trudność w oceniu co nowego w swojej pracy proponuje Autorka w stosunku do znanych już rozwiązań.

Na str.15. przedstawiono wykresy 1.6 (a) i (b). Proszę o wyjaśnienie czym różnią się te wykresy w kontekście warunku wystąpienia flatteru. Jaki jest sens fizyczny przecinania się krzywych dla postaci 2 i 3 na rys. 1.6 (b) ?

W rozdziale 2.3 przedstawiona jest zasada Hamiltona, jednak wyprowadzenie równań różniczkowych ruchu nie jest jasno przedstawione. Bardzo proszę o przedstawienie sposobu wyprowadzenia równań różniczkowych ruchu na publicznej obronie dla wybranych analizowanych przypadków oraz jawne przedstawienie tych równań, pokazania ich sprzężeń z równaniami opływu oraz na tej podstawie wskazanie na przyczynę wystąpienia flatteru.

Jako metody służące do wyznaczenia rozwiązań Doktorantka wymienia: metodę Rayleigh'a-Ritz'a, metodę Bobnova-Galerkina oraz metodę analityczną. Metody Rayleigh'a-Ritz'a, oraz Bobnova-Galerkina są również metodami analitycznymi. Mogą zostać zaadaptowane do procedur numerycznych ale oparte są na podejściu analitycznym.

W tabeli 3.1 podawany jest rząd równań różniczkowych: 10, 8 lub 6 rzędu. Proszę o wyjaśnienie jak definiowany jest rząd równania różniczkowego ?

W pracy błędnie używane jest pojęcie rzędu i stopnia. Mówimy o rzędzie równania różniczkowego i o stopniu wielomianu lub stopniu równania algebraicznego.

W rozdziale 4.5 przedstawiono bardzo prosty schemat blokowy optymalizacji natomiast brakuje opisu algorytmu optymalizacji oraz zastosowanych metod. Bardzo proszę o wyjaśnienie tej kwestii na publicznej obronie.

Proszę o wyjaśnienie ostatniego akapitu na stronie 64. Prawdopodobnie chodzi tutaj o uogólnione zagadnienie własne.

Odtworzenie zaprezentowanych w pracy wyników nie jest możliwe ze względu na brak niektórych informacji lub danych przyjętych do modelu, np. co oznacza n na rysunku 5.8 i jaka jest wartość współczynnika c_p .

Rysunek 2.1 nic nie wnosi i z powodzeniem może być pominięty.

Na str. 80 Doktorantka stwierdza, że „Wzrost właściwości materiału prowadzi do wzrostu częstotliwości drgań”, o jakie właściwości chodzi ?

Proszę o wyjaśnienie skąd wzięła się relacja (3.26), która została przyjęta jako pewnik bez dokładniejszego wyjaśnienia.

Usterki edytorskie i językowe

W pracy używany jest zwrot „przy zastosowaniu” (np. str.36 wiersz 1), poprawnie powinno być „z zastosowaniem”. Również zwrot „w oparciu o” nie jest poprawny, powinno być „oparty na”.

W wielu fragmentach pracy stosowane są skróty myślowe oraz styl pisania i zapożyczenia z języka angielskiego co utrudniało zrozumienie tekstu. Często występują nieścisłości lub niedomówienia i czytelnik musi się domyślać o co chodziło Autorce. Np. na str.86 tekst nad rys.6.2, jakie fale ma Doktorantka na myśli oraz co znaczy dobra aproksymacja i czego dotyczy ta aproksymacja. Czy też na dole str.88 „Postać warunków brzegowych ma istotny wpływ na rozkład częstotliwości własnych, a następnie na wartości ciśnień aerodynamicznych”. Ciśnienia aerodynamiczne wynikają z przepływu, a nie z warunków brzegowych.

W pracy część wykresów zawiera opisy w języku polskim a część w języku angielskim.

Str.13 wiersz 3, powinno być „częstotliwościami”

Str.21 wiersz 3, powinno być „Gros treści”

Na str. 45 γ oznacza stosunek ciepła właściwego gazu. Proszę o wyjaśnienie. A ponadto w wykazie oznaczeń γ oznacza kąt.

4. OCENA ROZPRAWY I WNIOSEK KOŃCOWY

Recenzowana praca zawiera oryginalne wyniki badań naukowych uzyskanych przez Doktorantkę. Zastosowane metody analityczne i numeryczne pozwoliły na opracowanie i zweryfikowanie metody optymalnego projektowania struktur kompozytowych oraz struktur porowatych o zmiennych własnościach poddanych naddźwiękowym obciążeniom aerodynamicznym.

Biorąc pod uwagę całość pracy tj. jej wartość poznawczą oraz wkład własny Autorki stwierdzam, że pomimo uwag krytycznych, rozprawa doktorska mgr inż. Justyny Anny Flis pt. *"Optymalne projektowanie konstrukcji w przypadku utraty stateczności dynamicznej – zjawisko flutteru dla nadkrytycznych prędkości płynu"* spełnia wymagania stawiane w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym w odniesieniu do prac doktorskich. Wnioskuje zatem o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Jerzy Warmiński

