

OCENA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Wojciecha Smagowskiego

„Eksperymentalna weryfikacja obciążeń bifurkacyjnych krótkich słupów laminowanych o przekroju zetowym podlegających równomiernemu skróceniu”

(opinia sporządzona na podstawie pisma RDN/IM/382/2022 Z-cy Przewodniczącego ds. stopni naukowych Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Lubelskiej z dnia 12.10.2022 r.)

1. Informacje ogólne

Promotorem rozprawy doktorskiej jest prof. dr hab. inż. Andrzej Teter.

Rozprawa doktorska napisana jest w języku polskim i składa się z półtorastronicowego wprowadzenia, opisu aktualnego stanu wiedzy na kolejnych siedmiu stronach dotyczącego tematu pracy, w tym utraty stateczności elementów konstrukcji, symulacji numerycznych metodą elementów skończonych i badań eksperymentalnych. Następnie sformułowane są cel i teza rozprawy. Na kolejnych 61 stronach przedstawione są badany problem i otrzymane wyniki. W rozprawie doktorskiej wymieniono 151 prac w bibliografii, a następnie zamieszczono jednostronicowe streszczenie w języku polskim oraz jednostronicowe w języku angielskim. W aneksie, na ostatnich 17 stronach rozprawy, przedstawiono na wykresach i w tabelach wyniki otrzymane metodą elementów skończonych.

2. Treść rozprawy, sformułowanie i rozwiązanie problemu naukowego

Przedmiotem rozprawy doktorskiej są ściskane, cienkościenne słupy o zetowym przekroju poprzecznym. Każda ze ścian rozważanych słupów jest 18. warstwowym laminatem. W szczególności rozważano cztery różne konfiguracje ułożenia warstw.

W rozdziale 4 rozprawy opisano stan dokrytyczny i pokrytyczny krótkich słupów ściskanych oraz metody wyznaczania oszacowania obciążeń bifurkacyjnych. Badano problem lokalnego wyboczenia. Natomiast celem pracy było oszacowanie obciążeń bifurkacyjnych o najmniejszej wartości na podstawie wyników otrzymanych doświadczalnie. Badania dotyczące obciążeń bifurkacyjnych rzeczywistych słupów przeprowadzono dwoma metodami: numeryczną (metodą elementów skończonych) z uwzględnieniem imperfekcji wstępnych oraz doświadczalną.

Zaproponowano metodę szacowania obciążenia bifurkacyjnego o najmniejszej wartości ściskanego słupa cienkościennego o przekroju zetowym, z uwzględnieniem wstępnego ugięcia, którego amplituda nie jest większa od połowy grubości ściany słupa. Wskazano, że na podstawie wykresu przedstawiającego zależność pomiędzy obciążeniem słupa

a zmniejszaniem odległości pomiędzy jego końcami można oszacować obciążenie bifurkacyjne. Uzyskane wartości oszacowań porównano z otrzymanymi na podstawie znanych z literatury metod, w tym metody P- w^2 , Koitera, punktu przegięcia i P-w.

Oszacowanie obciążeń bifurkacyjnych o najmniejszej wartości dla rzeczywistych słupów z niedoskonałościami geometrycznymi wyznaczono metodą elementów skończonych i opisano w rozdziale 5 rozprawy. Wyznaczono ścieżki równowagi dokrytycznej i pokrytycznej oraz zależność pomiędzy obciążeniem słupa a zmniejszaniem odległości pomiędzy jego końcami. Ponadto, zbadano wrażliwość zastosowanych metod na amplitudę wstępnych ugięć słupa. Badania numeryczne wykonano dla wszystkich rozważanych konfiguracji ułożenia warstw laminatu.

Oszacowania obciążeń bifurkacyjnych o najmniejszej wartości, dla rzeczywistych słupów i wszystkich rozważanych konfiguracji ułożenia warstw laminatu, wyznaczono również doświadczalnie w laboratorium na maszynie wytrzymałościowej, a w celu wyznaczenia przemieszczeń zastosowano system Aramis. Wyznaczone w badaniach doświadczalnych zależności pomiędzy obciążeniem słupa a zmniejszaniem odległości pomiędzy jego końcami oraz ścieżki równowagi umożliwiły oszacowanie wartości obciążeń bifurkacyjnych metodami P- Δ , P- w^2 oraz punktu przegięcia.

3. Ocena wartości naukowej rozprawy

Magister inż. Wojciech Smagowski poprawnie sformułował tezę, określił cel oraz zakres rozprawy i wskazał na kierunek dalszych badań.

Doktorant zbadał problem lokalnego wyboczenia cienkościennych słupów o przekroju zętowym poddanych ścisaniu oraz oszacował obciążenia bifurkacyjne, w szczególności zbadał wrażliwość zastosowanych metod na amplitudę wstępnych ugięć słupa. Ponadto, na potwierdzenie sformułowanej tezy rozprawy opracował metodę umożliwiającą oszacowanie obciążeń bifurkacyjnych o najmniejszej wartości dla rzeczywistych słupów z niedoskonałościami geometrycznymi.

Oszacowanie obciążeń bifurkacyjnych, w szczególności oszacowanie dolne, jest istotne w projektowaniu cienkościennych konstrukcji, a zaproponowana przez mgra inż. Wojciecha Smagowskiego metoda może być zastosowana do szacowania obciążeń bifurkacyjnych innych, niż przedstawione w rozprawie, krótkich słupów cienkościennych.

Niektóre zdania lub wzory mogły być uzupełnione w rozprawie o pewne bardziej szczegółowe wyjaśnienia w celu lepszego opisu rozważanego zagadnienia, np. Autor napisał:

na str. 16

„Zaleta tego wykresu polega na tym, że skrócenie w stanie dokrytycznym jest równe praktycznie zeru i linia aproksymacyjna (linia – 2 na rys. 4.3) jest pionowa. Zmiana sztywności następuje w momencie utraty stateczności, gdzie ugięcie powoduje gwałtowny przyrost skrócenia (linia – 1 na rys. 4.3).” – do stanu krytycznego występuje skrócenie (zgodnie z prawem Hooke’a), natomiast po uzyskaniu stanu krytycznego, gdy następuje zmiana sztywności, stwierdzenie nie jest poprawne.

na str. 19

„To siły i momenty przekrojowe można zapisać w postaci: ...” i podano równania (4.5), w którym występuje $\{\varepsilon^0\}$, które nie jest opisane w pracy, a następnie zapisano wyrażenia (4.6) bez szczegółowego opisu.

W rozdziale dotyczącym badań numerycznych Autor napisał na str. 37

„Z porównania krzywych pracy wynika, że przyrost amplitudy ugięć wstępnych istotnie zmniejsza różnicę w nachyleniu prostych opisujących stan dokrytyczny i zakrytyczny, co prowadzi do efektu, że przy dużych ugięciach wstępnych nie można określić punktu ich przecięcia.”

i dalej na str. 44 (zgodne z powyższym zdaniem ze str. 37)

„Przedstawiona metoda szacowania obciążeń bifurkacyjnych okazała się bardzo dobra dla bardzo małych ugięć wstępnych nie przekraczających 0,1 mm. Im mniejsze ugięcia wstępne tym mniejszy błąd.”

W rozdziale dotyczącym badań doświadczalnych Autor napisał na str. 56:

„Z zebranych wyników dla wszystkich próbek sporządzono krzywe pracy przedstawione na rys. 6.9.”

Na str. 60

„Wyniki dla poszczególnych próbek cechują się dużym rozrzutem, co związane jest z wpływem różnych typów imperfekcji charakterystycznych dla każdej próbki.”

„Do dalszych porównań wyznaczono medianę dla każdej serii próbek zetowników.” – **dłaczego medianę?**

„Na rys. 6.10 porównano mediany eksperymentalne i rozwiązania numeryczne MES, gdy amplituda ugięcia wstępnego wynosiła 0,4 mm, oraz ich błędy dla wszystkich omawianych zetowników.” – **dłaczego porównanie dotyczy ugięcia wstępnego o wartości 0,4 mm? Dlaczego nie porównano wyników otrzymanych doświadczalnie z numerycznymi, w przypadku gdy amplituda ugięcia wstępnego wynosiła 0,01 mm lub 0,1 mm – z uwagi na wnioski z badań numerycznych opisanych na str. 37 i 44?**

4. Ocena redakcyjna rozprawy

Układ rozprawy doktorskiej jest przemyślany i logiczny, a otrzymane wyniki przedstawione na wykresach i w tabelach w czytelny sposób. Praca jest zredagowana na ogół poprawnie, aczkolwiek zawiera nieprecyzyjnie sformułowane zdania lub tzw. skróty myślowe, przykładowo:

na str. 4

„Laminaty włókniste charakteryzują się wysoką wytrzymałością właściwą, lekkością oraz dużą sztywnością.”,

„Najniższa postać własna zależy od długości, rodzaju przekroju poprzecznego, własności mechanicznych użytego materiału może być dowolną z nich.”,

na str. 6

„Dobierając postacie należy wybrać postać globalną oraz lokalną, bo lokalne imperfekcje geometryczne promują interakcję pomiędzy globalną i lokalnymi postaciami.”,

na str. 8

„W pracach [67, 135-136] zajmowano się, wpływem macierzy B na nośność graniczną równomiernie ściskanych cienkościennych FML-FGM słupów o zamkniętych [67] i otwartych [136] przekrojach poprzecznych.”,

na str. 10

„Wpływem amplitudy niedokładności dla ściskanych struktur płytowych na zachowanie w stanie krytycznym i zakrytycznym zajmowali się: (...)”,

na str. 15

„Płytowa struktur cienkościennych o przekroju zetowym poddana ściskaniu/skróceniu”,

na str. 24

„W metodzie Koitera część ścieżki zakrytycznej jest aproksymowana symetryczną funkcją kwadratową typu $P = aw^2 + P_{cr}$, gdzie a – stała.”,

na str. 27

„Założono, że struktura ma tylko małe odchyłki od kształtu idealnego w postaci najniższej formy wybożenia o założonej amplitudzie.”,

na str. 37

„Przyjmując założenie, że wykresy są wymiarowe stwierdzono ich zgodność jakościową różnice ilościowe opisujące ugięcie.”,

na str. 40

„Zakrytyczną część ścieżki równowagi aproksymowano symetrycznymi parabolami.”,

na str. 40, 42, 43

„W przypadku wymiarowych ścieżek równowagi aproksymowano zarówno ścieżkę równowagi wyznaczoną dla ugięć środka jak i dla ugięć ramion.”

Wyżej wskazane uwagi nie mają wpływu na wartość merytoryczną pracy.

5. Wniosek końcowy

Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i niewątpliwie wymagało od Doktoranta znajomości zagadnienia dotyczącego utraty stateczności cienkościennych konstrukcji kompozytowych, metod numerycznych, umiejętności posługiwania się specjalistycznymi programami komputerowymi wspomagającymi obliczenia oraz wiedzy dotyczącej umiejętnego przeprowadzenia doświadczalnych badań w zakresie wybożenia w stanie krytycznym i pokrytycznym.

Można stwierdzić, że rozprawa doktorska mgra inż. Wojciecha Smagowskiego spełnia warunki określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz.U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). Wnioskuję, na podstawie powyższego, o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie Doktoranta do publicznej obrony.

E. Pasquiel - Brand