



Politechnika Łódzka

Katedra Wytrzymałości Materiałów i Konstrukcji

prof. dr hab. inż. Zbigniew Kołakowski

E-mail: [zbigniew.kolakowski@p.lodz.pl](mailto:zbigniew.kolakowski@p.lodz.pl)



Łódź, 12.11.2019 r.

**Recenzja**  
**rozprawy doktorskiej mgr inż. Pawła Wysmulskiego**  
**pt. „Analiza wpływu nieosiowości obciążenia na stateczność ściskanych**  
**cienkościennych profili kompozytowych ”**

*Podstawą do opracowania niniejszej recenzji stanowi pismo Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej z dnia 1 października 2019 r.*

### 1. Omówienie pracy

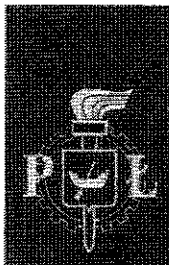
Przedmiotem przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej jest ocena wpływu nieosiowości obciążenia ściskającego na nieliniową stateczność i nośność cienkościennych krótkich słupów kompozytowych o przekrojach ceowym i zetowym, dla których wyniki obliczeń numerycznych MES zweryfikowano wynikami badań doświadczalnych.

Omawiana praca składa się z siedmiu rozdziałów, wykazu literatury i oznaczeń oraz streszczeń w językach polskim i angielskim. Liczy ona 143 strony tekstu.

Pracę otwiera wykaz oznaczeń. W rozdziale pierwszym dokonano obszernego przeglądu literatury dotyczącego nieliniowej stateczności i nośności cienkościennych konstrukcji kompozytowych z uwzględnieniem wpływu imperfekcji i kryteriów ich zniszczenia. W rozdziale drugim przedstawiono cel naukowy i tezę pracy.

W kolejnym rozdziale podano podstawowe założenia klasycznej teorii płyt oraz zależności geometryczne. W rozdziale czwartym zaprezentowano numeryczne metody wykorzystywane w MES. W następnym rozdziale omówiono badane numerycznie i doświadczalnie krótkie słupy kompozytowe o przekrojach ceowym i zetowym. Szczegółowo przedstawiono metodykę badań doświadczalnych i wyznaczania obciążeń konstrukcji rzeczywistych, a także numeryczny model słupów MES wraz z wykorzystywanym kryterium zniszczenia Tai-Wu.

W rozdziale szóstym, stanowiącym o wysokim poziomie pracy, wyniki badań doświadczalnych ściskanych mimośrodowo profili ceowych i zetowych zostały zweryfikowane numerycznymi wynikami obliczeń stateczności. Uzyskano bardzo dobrą zgodność wyników. Następnie przedstawiono wyniki badań profili dla stanów pokrytycznych aż do obciążenia odpowiadającego zniszczeniu pierwszej warstwy kompozytu (tzw. laminy) wyznaczonej numerycznie w oparciu o kryterium Tai-Wu. Natomiast w badaniach doświadczalnych wykorzystano metodę emisji akustycznej MEA, w której rejestrowano amplitudę sygnału, liczbę zdarzeń i zliczeń oraz energię sygnału. Wyznaczone pokrytyczne ścieżki dla mimośrodowo ściskanych słupów



# Politechnika Łódzka

Katedra Wytrzymałości Materiałów i Konstrukcji

zweryfikowano z wynikami MEA uzyskując zadawalającą zgodność wyników. Potwierdziło to adekwatność opracowanych modeli numerycznych do oceny stateczności i nośności kompozytowych słupów poddanych mimośrodowemu ściskaniu.

W rozdziale siódmym przedstawiono podsumowanie rozprawy doktorskiej i kierunki dalszych badań. Spis literatury obejmuje 169 pozycji, w tym jedną współautorstwa Doktoranta. Rozprawę kończą streszczenia w języku polskim oraz angielskim.

## 2. Ocena pracy

W praktyce inżynierskiej coraz szersze zastosowanie znajdują kompozyty o długich włóknach, które charakteryzują się między innymi: dobrą stabilnością wymiarową, łatwością dostosowania się do kształtu formy i przez to prostotą wytwarzania. Właściwości mechaniczne zależą od rodzaju włókien, kierunku ich ułożenia, udziału włókien w kompozycie i konfiguracji laminatu. Wytrzymałość kompozytów w kierunku ułożenia włókien wzmacniających może być kilkakrotnie wyższa niż w pozostałych kierunkach. Nieprzewidziana zmiana kierunku lub charakteru obciążenia może skończyć się zniszczeniem konstrukcji wykonanej z kompozytu. Konstrukcje takie wymagają przez to większej uwagi przy ich projektowaniu niż konstrukcje metalowe. Konieczność spełnienia wymagań dotyczących bezpieczeństwa i niezawodności wymusza rozwój teorii modelowania nowych materiałów, przeprowadzanie badań eksperymentalnych i opracowywanie nowych procesów technologicznych. Umożliwia to projektowanie nowych struktur dla złożonych parametrów obciążenia i warunków eksploatacji. W obecnej dobie inżynierzy-projektanci i konstruktorzy powinni umieć wykorzystywać wiedzę o nowoczesnych materiałach konstrukcyjnych i „rozumieć” specyfikę pracy takich konstrukcji. Wielu inżynierów nie wie, jak projektować konstrukcje kompozytowe. Jest to spowodowane trudnościami w zrozumieniu i opisie zachowania kompozytów poddanych złożonym obciążeniom.

Problematyka podjęta przez Doktoranta jest zatem ważnym zagadnieniem zarówno z punktu widzenia praktyki inżynierskiej, jak i celów poznawczych.

Mgr inż. Paweł Wysmulski dokonał oceny wpływu nieosiowości obciążenia ściskającego na stateczność, pokrytyczne ścieżki równowagi i nośność kompozytowych profili o przekrojach ceowym i zetowym. Zaproponował sposób modelowania kompozytowych słupów, który został zweryfikowany badaniami doświadczalnymi dla wielu modeli krótkich słupów. Uzyskał bardzo dobrą zgodność wyników dla stateczności słupów i zadawalającą dla pokrytycznych ścieżek równowagi wraz z nośnością. Moim zdaniem przeprowadzone badania doświadczalne stanowią o wysokim poziomie pracy. Wnioski wpływające z pracy mogą być łatwo adoptowane do zastosowań inżynierskich.

Mgr inż. Paweł Wysmulski posiada ogólną wiedzę teoretyczną w zakresie mechaniki cienkościennych konstrukcji kompozytowych oraz potrafi wykorzystać możliwości, jakie stwarzają współczesne techniki eksperymentalne i cyfrowe. Autor postawił sobie jasny cel i samodzielnie rozwiązał oryginalny problem naukowy. Układ pracy jest logiczny, poprawny i czytelny. Doktorant ma umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.



### 3. Uwagi krytyczne

Przy pozytywnej ocenie pracy muszę zwrócić uwagę na pewne jej mankamenty:

- Na str. 4 wprowadzono oznaczenie  $w$  jako szerokość i-tej płyty, zaś trzy wiersze dalej podano, że  $w_i$  jest składową przemieszczenia i-tej ściany. Trochę mylące.
- Na str. 4 wprowadzono oznaczenie naprężenia  $\sigma_{xx}$  ale zapomniano o odpowiadającym odkształceniu  $\varepsilon_{xx}$ .
- Na str. 6 jest stwierdzenie „Kompozyt stanowi nowoczesny materiał”, z którym trudno zgodzić się wiedząc, że kompozyty stosowane są od ponad trzech tysięcy lat.
- Na str. 18 w tezie pracy pojawia się stwierdzenie „cienkościenne struktury kompozytowe są wrażliwe na nieosiowość przyłożenia obciążenia ściskającego”, ale w dalszej części pracy brak odniesienia do tego stwierdzenia. Bardzo interesująca byłaby analiza wrażliwości (tzw. czułości) na mimośrodowość obciążenia.
- Na str. 20<sub>2</sub> pominięto  $\tau_{xy}$ , ale pojawia się na str. 21<sup>2</sup>. Brak precyzji.
- Na str. 36 i 37 we wzorach (1) i (2) przyjęto, że  $w_0=0$ , bez stwierdzenia tego w pracy.
- Na str. 44 i dalej Doktorant błędnie używa pojęcia „ilość” zamiast „liczba”.
- Na str. 50 w Tabeli 6.1 wartości siły krytycznej podano z dokładnością do 0,1 N. Zdaniem recenzenta to za duża dokładność. Podobnie w dalszej części pracy.
- Na str. 87 i 97 podano zmianę sztywności konstrukcji dla maksymalnych wartości mimośrodków przyłożenia obciążenia. Podobnie na str. 124 i str. 128 dla obciążenia inicjującego zniszczenie kompozytu w zależności od obu kierunków realizacji mimośrodu obciążenia ściskającego.
- W całej rozprawie Doktorant posługuje się pojęciem mimośrodowości przyłożenia siły ściskającej. Zdaniem recenzenta czytelność pracy poprawiłyby dodatkowe informacje o odpowiadających rozkładach naprężeń dla maksymalnych wartości mimośrodków obciążeń.

### 4. Wniosek końcowy

Uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Pawła Wysmulskiego pt. „Analiza wpływu nieosiowości obciążenia na stateczność ściskanych cienkościennych profili kompozytowych” odpowiada warunkom stawianym przez Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku (Dz. U. Nr 65, poz. 595) rozprawom doktorskim w dziedzinie nauk technicznych i na tej podstawie stawiam wniosek o przyjęcie i dopuszczenie pracy mgr inż. Pawła Wysmulskiego do publicznej obrony.

*Kofakowka*