

# Wielokryterialna Ocena Stateczności Dynamicznej Cienkościennych Profili FML

Radosław J. Mania

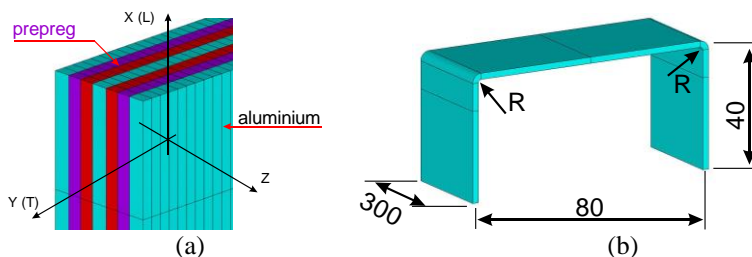
Politechnika Łódzka, 90-924 Łódź, Stefanowskiego 1/15

Radoslaw.Mania@p.lodz.pl

**Streszczenie.** Praca dotyczy analizy odpowiedzi dynamicznej cienkościennych profili wykonanych z materiałów typu Fiber Metal Laminate, poddanych obciążeniom impulsowym o skończonym czasie działania. Za pomocą metody elementów skończonych wyznaczono wartość dynamicznego obciążenia krytycznego. Dokonano oceny zastosowania poszczególnych kryteriów stateczności dynamicznej oraz kryteriów zniszczenia stosowanych w analizie materiałów warwowych i kompozytowych.

## WPROWADZENIE

Analiza stateczności dynamicznej cienkościennych konstrukcji płytowych pod wpływem obciążeń impulsowych działających w ich płaszczyźnie prowadzona jest w kontekście czasu trwania impulsu oraz jego amplitudy i kształtu [4]. Koncentrując uwagę na impulsach o czasie trwania zbliżonym do okresu podstawowych giętych drgań własnych oraz o umiarkowanej amplitudzie siły ściskającej, możemy mówić o wyboczeniu dynamicznym [3]. Przy tak zdefiniowanym obciążeniu dynamicznym pomija się mechanizm przekazywania obciążenia wzdłuż konstrukcji oraz efekty tłumienia materiału. Wyboczenie następuje zazwyczaj w czasie trwania impulsu lub bezpośrednio po ustaniu jego działania [5]. W przypadku konstrukcji cienkościennych o ścianach płaskich (płyty) przy dynamicznym wyboczeniu nie zachodzi utrata stateczności typu bifurkacyjnego. Proces dynamicznego wyboczenia ścian lub ścian, można interpretować jako wzrost ugięcia płyty/ściany z początkowymi imperfekcjami kształtu (ugięciami). Wobec braku możliwości analitycznego wyznaczenia wartości dynamicznego obciążenia krytycznego konieczne jest zdefiniowanie pojęcia dynamicznego wyboczenia oraz w jego efekcie, ustalenia kryterium pozwalającego na określenie wartości dynamicznego obciążenia krytycznego [2].

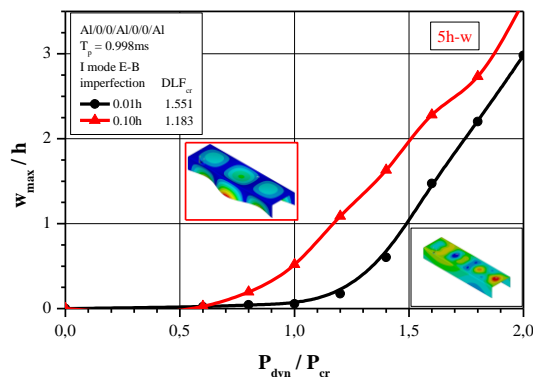


RYSUNEK 1. Struktura FML (a) oraz wymiary profilu (b)

W pracy rozważane były profile o otwartym kształcie przekroju poprzecznego - zetownik, ceownik oraz profil omega. Ich ściany wykonane były w materiale warstwowego typu Fiber Metal Laminate (Rys. 1), które w ostatnim czasie znajdują rosnące zastosowanie w konstrukcjach lotniczych [1]. Analizowane struktury FML składały się z warstw aluminium o grubości 0,3 mm rozdzielonych podwójną warstwą kompozytu włóknistego - żywica epoksydowa wzmocniona włóknem szklanym (GFRP). Grubość pojedynczej warstwy prepregu szklanego wynosiła

0,26 mm. Profile FML wykonane były techniką autoklawową ‘na mokro’. Właściwości materiałowe warstw składowych FML podano w pracy [6].

W przypadku materiałów warstwowych dodatkowym aspektem, który należy rozważać w analizie stateczności jest proces zniszczenia. Z uwagi na względnie niewielkie grubości warstw i różnorodność materiałów, z których są wykonane, poziom naprężeń towarzyszący wyboczeniu zarówno statycznemu jak i dynamicznemu może być wysoki. To może prowadzić do stanu, w którym o nośności decyduje wytrzymałość struktury, bądź wyboczenie przebiega na strukturze np. rozwarstwionej. W przypadku konstrukcji warstwowych do oceny ich wytrzymałości stosuje się kryteria zniszczenia. Przyjmując analogiczne podejście jak praktykowane w materiałach izotropowych, gdzie jednym z kryteriów stateczności dynamicznej jest odniesienie do naprężeń granicznych - np. granicy plastyczności [7], kryteria zniszczenia mogą być również podstawą do oceny dynamicznego zachowania hybrydowej konstrukcji cienkościennej FML.



RYSUNEK 2. Zależność ugięcia od amplitudy impulsu dynamicznego

## WYNIKI ANALIZY NUMERYCZNEJ

W przypadku konstrukcji warstwowych obciążonych dynamicznie, gdzie postać deformacji konstrukcji jest często efektem wyboczenia sprzężonego narzędzia numeryczne - w sposób szczególny MES, są jedynym skutecznym sposobem przeprowadzenia analizy dynamicznej odpowiedzi konstrukcji. Włączenie do niej procesu monitorowania procesów zniszczenia w oparciu o wspomniane kryteria zniszczenia, jest obecnie realizowane jedynie na tej drodze.

Wykres na Rys. 2 jest przykładowym odwzorowaniem zależności ugięcia referencyjnego punktu ściany profilu ceowego w funkcji amplitudy impulsu. Stosując dla poszczególnych krzywych wybrane kryterium stateczności dynamicznej określa się poziom dynamicznego obciążenia krytycznego dla analizowanego profilu [3]. Wynik tego oszacowania w bezpośredni sposób zależy jednak od przyjętego kryterium.

## REFERENCES

1. R. Alderliesten, Fatigue and fracture of Fibre Metal Laminates, (Springer, Cham, 2017).
2. Ari-Gur J. and Simonetta S.R., “Dynamic pulse buckling of rectangular composite plates”, Composites Part B, 28B, 301-308 (1997).
3. K. Kowal-Michalska, Stateczność dynamiczna kompozytowych konstrukcji płytowych, (WNT, Warszawa, 2007).
4. K. Kowal-Michalska and R. J. Mania, ”Wielokryterialna ocena stateczności dynamicznej płyt prostokątnych”, w Mat. VII Konferencja Naukowo-Techniczna Programy MES w komputerowym wspomaganii analizy, projektowania i wytwarzania, Rynia, (2003).
5. R. J. Mania, “Dynamic buckling of orthotropic viscoplastic column”, Thin-Walled Structures, 49, 5, 591-588 (2011).
6. R. J. Mania, “Dynamic buckling of FML thin-walled panels”, in Proc. of Stability of Structures XV-th Symposium, Zakopane, 97-98 (2018).
7. D. Petry and G. Fahlbusch, “Dynamic buckling of thin isotropic plates subjected to in-plane impact”, Thin-Walled Structures 38, 267-283 (2000).