

XVI Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2022

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

18–21 października 2022

Analiza liniowa cienkościennych profili kompozytowych osłabionych otworem

Katarzyna Falkowicz

Katedra Podstaw Konstrukcji i Mechatroniki, Politechnika Lubelska
email: k.falkowicz@pollub.pl

STRESZCZENIE: W pracy przedstawiono wyniki analizy numerycznej stateczności profili o przekroju ceowym wraz z określeniem wpływu parametrów geometrycznych otworów i ich rozmieszczenia na właściwości wytrzymałościowe profilu, wykonanego z wielowarstwowych materiałów kompozytowych w symetrycznym układzie warstw, który ulega odkształceniu pod wpływem działania siły ściskającej. Obliczenia numeryczne przeprowadzono w zakresie liniowym (rozwiązanie zagadnienia własnego – stan krytyczny) przy użyciu metody elementów skończonych (MES) z wykorzystaniem pakietu obliczeniowego ABAQUS. Na podstawie otrzymanych wyników możliwe było określenie wpływu typu i ilości otworów, ich rozmieszczenia oraz wymiarów geometrycznych na wartości obciążeń krytycznych jak i postacie wybożenia profilu.

SŁOWA KLUCZOWE: stateczność, kompozyty, MES, konstrukcje cienkościenne, analiza liniowa

1. Wstęp

Intensywny rozwój przemysłu wymaga od konstruktorów stosowania nowoczesnych materiałów posiadających korzystniejsze właściwości eksploatacyjne. Dodatkowo stale dąży się do redukcji masy elementów przy jednoczesnym zachowaniu lub zwiększeniu ich właściwości wytrzymałościowych i sztywnościowych. Głównym sposobem zapewnienia minimalnej wagi konstrukcji jest wykonanie różnego rodzaju wycięć w strukturach. Wycięcia mogą mieć różne kształty i rozmiary ale należy tu również mieć na uwadze obciążenie krytyczne, przy którym struktura może utracić stateczność i ulec zniszczeniu. W takim przypadku należy dobrać jak najbardziej optymalne rozwiązanie. W pracy poddano analizie powszechnie stosowane profile o przekroju ceowym, które mają zastosowanie m.in. w lotnictwie, w budownictwie, w konstrukcjach kartonowo-gipsowych czy też tworzeniu ram. Profile tego typu wykonywane są głównie ze stali czy aluminium a także kompozytu. Jednak w przypadku kompozytu wykonywane są głównie jako profile bez otworów. Analizami zagadnienia stateczności konstrukcji cienkościennych w warunkach eksploatacyjnych obciążeń statycznych zajęto się m.in. w pracach [1, 2].

W niniejszej pracy zajęto się słupami kompozytowymi o powszechnie występującym ceowym przekroju poprzecznym, osłabionych otworami. Analizowano wpływ wymiarów geometrycznych otworów i ich rozmieszczenia na wartość obciążenia krytycznego, a także na postacie utraty stateczności, w taki sposób aby pod warunkiem zminimalizowania masy konstrukcji uzyskać najwyższą wartość siły krytycznej. Profile te poddano osiowemu obciążeniu ściskającemu. Badania obejmowały stan krytyczny i słabo pokrytyczny celem wyznaczenia wartości sił, dla których struktura doznaje utraty stateczności.

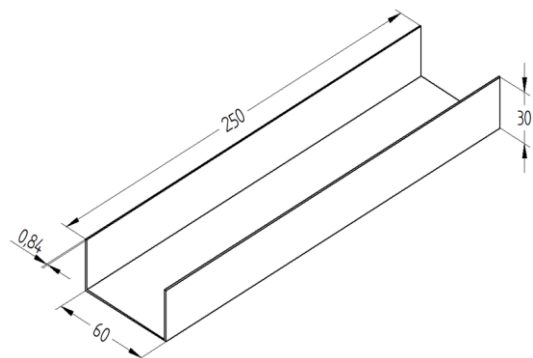
Istnieje wiele publikacji poświęconych badaniu stanu krytycznego, cienkościennych ustrojów kompozytowych, w aspekcie stateczności konstrukcji [3, 4].

Kluczowym aspektem było wyznaczenie wartości sił krytycznych gdzie konieczne było zastosowanie liniowego zagadnienia własnego, uwzględniającego kryterium minimum energii potencjalnej całego układu.

2. Przedmiot i metodologia badań

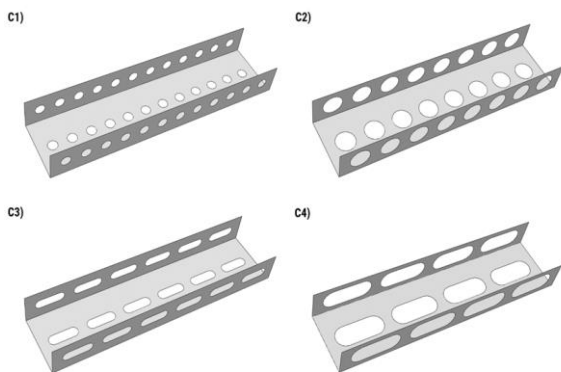
Przedmiotem badań były cienkościenne profile kompozytowe o przekroju ceowym z różnymi konfiguracjami otworów.

Schemat geometryczny przyjętych do badań profili o przekroju ceowym przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Wymiary geometryczne słupa o przekroju ceowym: długość słupa $l = 250$ mm, szerokość przekroju $h = 60$ mm, wysokość przekroju $s = 30$ mm, grubość ścian słupa $g = 0,84$ mm

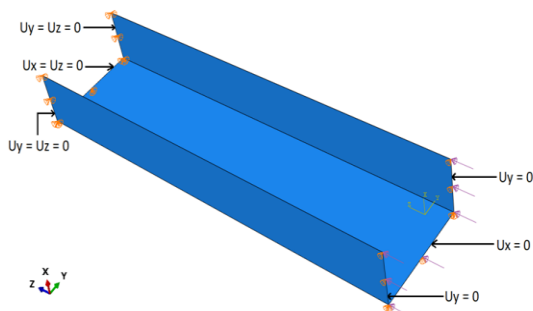
Badane słupy posiadały otwory kołowe i fasolkowe. Na rysunku 2 przedstawiono wybrane warianty rozmieszczenia otworów.



Rys. 2. Modele profili o przekroju ceowym w wariantach rozmieszczenia otworów na średnicy i półkach: C1) otwory okrągłe o średnicy 10 mm, C2) otwory okrągłe o średnicy 20 mm, C3) otwory fasolkowe o wymiarach 30 mm x 10 mm (R = 5 mm), C4) otwory fasolkowe o wymiarach 50 mm x 20 mm (R = 10 mm)

Badane profile składają się z ośmiu warstw laminatu o jednakowej grubości równej 0,105 mm. Warstwy ułożone są symetrycznie względem płaszczyzny środkowej laminatu w konfiguracji: [0/45/-45/90/90/-45/45/0]_T. Materiałem przyjętym do analizy był kompozyt węglowo – epoksydowy o oznaczeniu EP137-CR527/100-35.

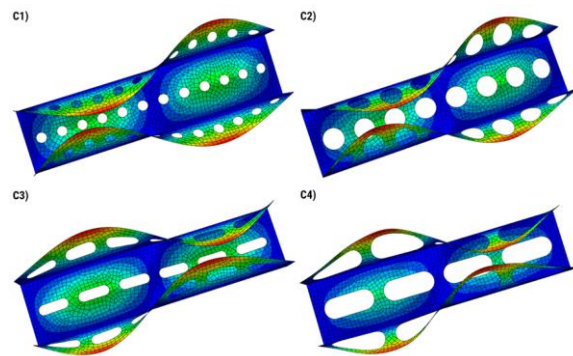
Zakres prowadzonych badań obejmował analizę stanu krytycznego przy wykorzystaniu metody elementów skończonych. Badania polegały na rozwiązaniu zagadnienia własnego, które pozwoliło na wyznaczenie obciążenia krytycznego dla każdego analizowanego modelu oraz wyznaczenie odpowiadającej mu postaci utraty stateczności. Analizę numeryczną przeprowadzono w programie ABAQUS. Obciążenie modelu profilu zrealizowano poprzez przyłożenie równomiernej siły ściskającej do wszystkich górnych krawędzi słupa. Warunki brzegowe dla profilu C przedstawione zostały na rys. 3.



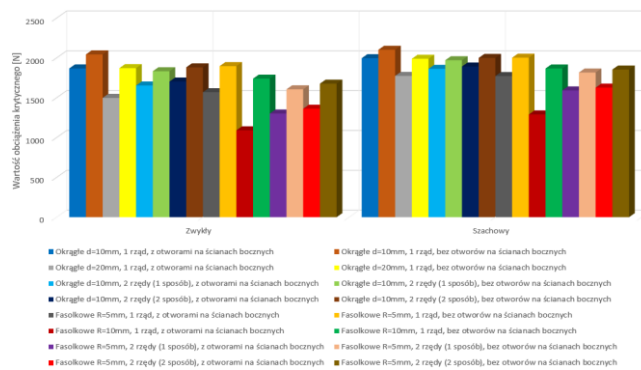
Rys. 3. Warunki brzegowe

3. Wyniki

W wyniku analizy numerycznej otrzymano wartości obciążeń krytycznych dla wszystkich badanych słupów o przekroju ceowym oraz o jednakowych wymiarach geometrycznych i różnych rodzajach otworów. Dodatkowo wyznaczono postacie utraty stateczności odpowiadające otrzymanym wcześniej wartościom obciążeń. Przykładowe postacie przedstawiono na rys. 4. Wartości obciążeń krytycznych dla wszystkich rozpatrywanych przypadków zostały zebrane i przedstawione w uporządkowany sposób w postaci wykresów (rys. 4).



Rys. 3. Wyniki badań numerycznych – modele profili o przekroju ceowym o wariantach rozmieszczenia otworów na średnicy i półkach: C1) otwory okrągłe o średnicy 10 mm, C2) otwory okrągłe o średnicy 20 mm, C3) otwory fasolkowe o wymiarach 30 mm x 10 mm (R = 5 mm), C4) otwory fasolkowe o wymiarach 50 mm x 20 mm (R = 10 mm)



Rys. 4. Wykres zależności wartości obciążeń krytycznych od rozmieszczenia otworów dla wszystkich analizowanych profili

4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej analizy oraz otrzymanych wyników możliwe było określenie wpływu typu i ilości otworów, ich rozmieszczenia oraz wymiarów geometrycznych na wartości obciążeń krytycznych jak i postaci wybożenia profilu o przekroju ceowym. Otrzymane wyniki wykazały istotny wpływ parametrów geometrycznych otworów i ich rozmieszczenia na wartość obciążenia krytycznego. Dzięki analizie numerycznej, która stanowi potężne narzędzie do badania stanu nośności w strukturach cienkościennych jesteśmy w stanie szybko znaleźć optymalne rozwiązanie i określić które z nich jest najkorzystniejsze.

Literatura

- [1] Kopecki T, Mazurek P, Lis T. *Experimental and numerical analysis of a composite thin-walled cylindrical structures with different variants of stiffeners, subjected to torsion*. Materials 2019;12:3230D
- [2] J. Singer, J. Arbocz, T. Weller. *Buckling experiments. Experimental methods in buckling of thin-walled structure. Basic concepts, columns, beams, and plates*, vol. 2, John Wiley & Sons Inc, New York (1998), p. 12002.
- [3] Debski H, Teter A, Kubiak T. *Numerical and experimental studies of compressed composite columns with complex open cross-sections*. Compos Struct 2014;118:28-36.
- [4] Rozyło P, Debski H, Wymuśki P, Falkowicz K. *Numerical and experimental failure analysis of thin-walled composite columns with a top-hat cross section under axial compression*. Compos Struct 2018;204:207-1.