

XVII Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2024

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

15–18 października 2024

Wpływ układu warstw kompozytu na stateczność i nośność konstrukcji o zamkniętym przekroju prostokątnym

Kuba Roslaniec¹, Patryk Różyło¹

¹Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn i Mechatroniki, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska
email: k.roslaniec@pollub.edu.pl, p.rozylo@pollub.pl

STRESZCZENIE: Celem pracy było przeprowadzenie badań dotyczących wpływu układu warstw na stateczność oraz nośność cienkościennych profili kompozytowych o prostokątnym przekroju zamkniętym, przy użyciu technik eksperymentalno-numerycznych. Badane struktury kompozytowe zostały wytworzone techniką autoklawową. W badaniach doświadczalnych wykorzystano uniwersalną maszynę wytrzymałościową, emisję akustyczną, optyczny system pomiaru odkształceń oraz mikroskop cyfrowy z mobilną głowicą roboczą. Symulacje numeryczne, oparte na metodzie elementów skończonych, przeprowadzono równoległe z badaniami doświadczalnymi. Przeprowadzone badania numeryczne bazujące na progresywnej analizie zniszczenia, oraz badania eksperymentalne umożliwiły szczegółową analizę wpływu układu warstw na stateczność oraz nośność cienkościennych konstrukcji kompozytowych o jednakowych wymiarach gabarytowych. Badania były prowadzone w ramach realizacji projektu z Narodowego Centrum Nauki nr. rej. 2021/41/B/ST8/00148.

SŁOWA KLUCZOWE: utrata stateczności, zniszczenie, badania numeryczne, badania doświadczalne, materiały kompozytowe.

1. Wytyczne ogólne

Cienkościennie konstrukcje kompozytowe należą do grupy elementów nośnych, charakteryzujących się wysoką sztywnością i wytrzymałością przy relatywnie niskiej masie własnej. Struktury te klasyfikowane są m.in. według rodzaju przekroju poprzecznego, wyróżniając konstrukcje o przekroju zamkniętym i otwartym [1].

Elementy te zdolne są do efektywnego przenoszenia obciążeń ściskających, zwłaszcza w przypadku konstrukcji o przekrojach zamkniętych. W wyniku osiowego ściskania tego typu elementów może dojść do utraty stateczności konstrukcji. Wyboczenie konstrukcji, mimo że jest zjawiskiem niepożądanym, nie jest jednoznaczne z utratą zdolności przenoszenia obciążenia przez konstrukcję. Jednym z czynników decydujących o wartości siły krytycznej i nośnej jest układ warstw struktury kompozytowej [1-2].

Realizacja badań z zastosowaniem interdyscyplinarnych metod, takich jak uniwersalna maszyna wytrzymałościowa, optyczny system pomiaru deformacji, emisja akustyczna i symulacje numeryczne przeprowadzone metodą elementów skończonych, przy wykorzystaniu kryteriów dedykowanych materiałom kompozytowym, umożliwiła wyznaczenie wartości sił oraz ocenę stanu krytycznego i pokrytycznego, aż do całkowitego zniszczenia badanych elementów [2,3].

Nowością w pracy jest nie tylko interdyscyplinarne podejście do badań stateczności i nośności konstrukcji, ale przede wszystkim sam przedmiot badań.

2. Przedmiot Badań

Przedmiotem badań były cienkościennie słupy wykonane z kompozytu węglowo-epoksydowego (CFRP) o

wewnętrzny przekroju poprzecznym wynoszącym 60x20 mm, jednakowej grubości ścianek 1,24 mm oraz wysokości profili wynoszącej 200 mm. Badane profile (9 szt.) posiadały trzy różne układy warstw: 1 [0/90/0/90]_s, 2 [45/-45/90/0]_s, 3 [90/-45/45/0]_s.

Właściwości materiału kompozytowego wyznaczono przy użyciu statycznych prób wytrzymałościowych [4].

Tabela 1. Stałe materiałowe

Materiał	E ₁ [MPa]	E ₂ [MPa]	ν [-]	G ₁₂ [MPa]
		103014	7361	0,37
F _{T0°} [MPa]	F _{C0°} [MPa]	F _{T90°} [MPa]	F _{C90°} [MPa]	F _{S±0°} [MPa]
1277	572	31	104	134



Rys. 1. Przykładowa próbka badawcza

3. Metodyka badań

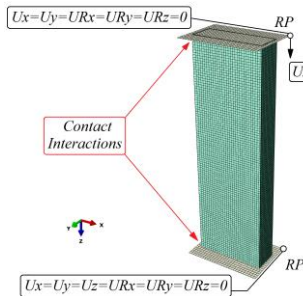
Badania osiowego ściskania przeprowadzono przy użyciu uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej Zwick Z100, optycznego systemu pomiaru deformacji Aramis 2D, emisji akustycznej AMSY-5 oraz mikroskopu cyfrowego Keyence VHX-970F z mobilną głowicą roboczą. Badania doświadczalne umożliwiły wyznaczenie postaci utraty

stateczności oraz ścieżek równowagi. Wartości obciążeń odpowiadających wyobczeniu wyznaczono na podstawie wyników badań doświadczalnych, przy użyciu metod aproksymacyjnych bazujących na podstawie przebiegów ścieżek równowagi [2,3].



Rys. 2. Stanowisko do badań doświadczalnych

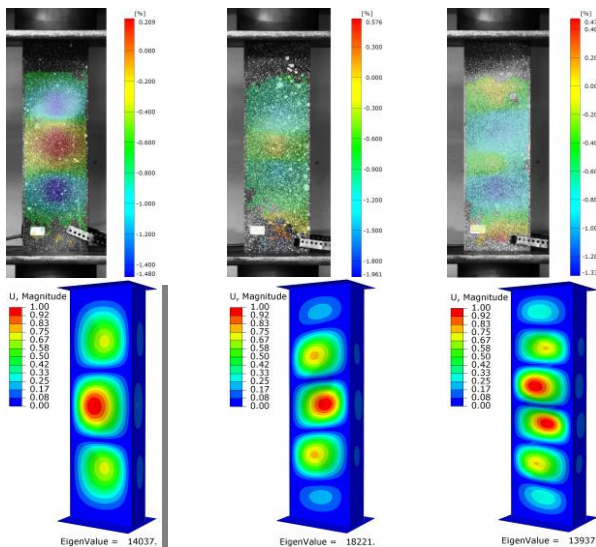
Symulacje numeryczne przeprowadzono przy użyciu metody elementów skończonych z wykorzystaniem oprogramowania komercyjnego – Abaqus®. Postać wyobczeniową oraz siłę krytyczną określono poprzez rozwiązanie zagadnienia własnego. Nośność konstrukcji wyznaczono poprzez rozwiązanie nieliniowego zagadnienia, przy użyciu progresywnej analizy zniszczenia [2,3].



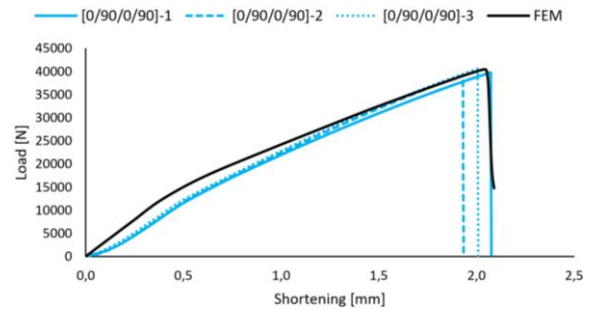
Rys. 3. Model dyskretny z warunkami brzegowymi

4. Wyniki badań

Ocenę wpływu układu warstw na wartość siły krytycznej oraz maksymalnej siły nośnej dokonano na podstawie przeprowadzonych badań.



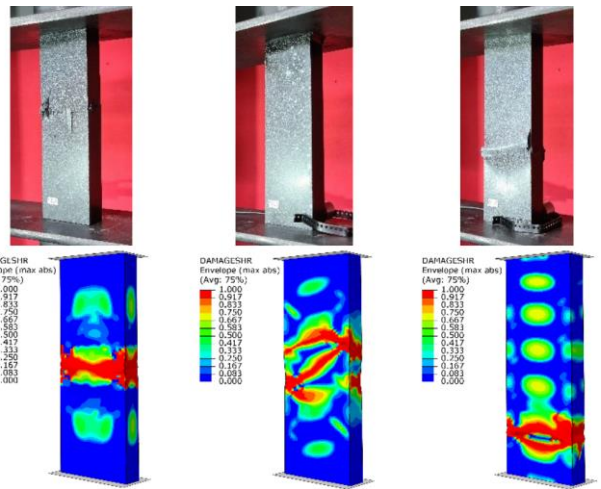
Rys. 4. Wyniki wyobczenia



Rys. 5. Przebieg ścieżek równowagi – układ $[0/90/0/90]_s$

Tabela 2. Wartości obciążeń granicznych

Próbka	P_b [N]		P_d [N]		P_f [N]	
	Eks _(śr)	MES	Eks _(śr)	MES	Eks _(śr)	MES
1	13485	14037	30504	31074	39841	40463
2	17201	18221	26758	27103	34148	34457
3	13537	13937	22708	24577	30679	31885



Rys. 6. Wyniki utraty nośności

5. Podsumowanie

Zastosowanie interdyscyplinarnych metod badawczych umożliwiło przeprowadzenie kompleksowych badań. Za pomocą badań doświadczalnych oraz numerycznych wykazano istotny wpływ konfiguracji układu warstw na obserwowaną postać wyobczenia oraz wartość siły krytycznej i nośnej. Dodatkowo stwierdzono, że analizowane struktury charakteryzowały się znacznym zapasem nośności, gdzie wartość siły nośnej była około dwukrotnie większa od wartości siły krytycznej.

Badania zostały przeprowadzone w ramach projektu z Narodowego Centrum Nauki nr. rej. 2021/41/B/ST8/00148.

Literatura

- [1] Roslaniec K., Różyło P., *Stability of Thin-Walled Composite Structures with Closed Sections Under Compression*, Advances in Science and Technology Research Journal, 2024, 18(3), 188-199
- [2] Różyło P., Debski H. *Stability and load carrying capacity of thin-walled composite columns with square cross-section under axial compression*, Composite Structures, 2024, 329, 117795..
- [3] Różyło P. *Stability and failure of compressed thin-walled composite columns using experimental tests and advanced numerical damage models*, Int J Numer Methods Eng, 2021, 122, 5076–99.
- [4] Różyło P., Smagowski W., Pasnik J. *Experimental research in the aspect of determining the mechanical and strength properties of the composite material made of carbon-epoxy composite*. Advances in Science and Technology Research Journal, 2023, 17(2), 232–46.