

XVII Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2024

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

15- 18 października 2024

Stany graniczne ściskanych cienkościennych profili kompozytowych o przekrojach zamkniętych

Patryk Różyło¹, Kuba Roslaniec¹

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

STRESZCZENIE: Celem pracy było przeprowadzenie badań doświadczalno-numerycznych stateczności i zniszczenia ściskanych cienkościennych profili kompozytowych o przekrojach zamkniętych. Przedmiotem badań były cienkościennie profile kompozytowe wykonane z kompozytu węglowo-epoksydowego techniką autoklawową. W przypadku badań doświadczalnych wykorzystano uniwersalną maszynę wytrzymałościową, optyczny system pomiaru deformacji, emisję akustyczną oraz mikroskop cyfrowy z mobilną głowicą roboczą. Równoległe do badań doświadczalnych prowadzono symulacje numeryczne z wykorzystaniem metody elementów skończonych. W ramach badań doświadczalnych i symulacji numerycznych główny nacisk został położony na ocenę zjawiska utraty stateczności, inicjacji uszkodzenia oraz utraty nośności. W symulacjach numerycznych wykorzystano progresywną analizę zniszczenia – co umożliwiło ocenę złożonego mechanizmu zniszczenia materiału kompozytowego. Badania były prowadzone w ramach realizacji projektu z Narodowego Centrum Nauki nr. rej. 2021/41/B/ST8/00148.

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

1. Wprowadzenie

Cienkościennie profile kompozytowe stanowią grupę ustrojów nośnych, które charakteryzują się szczególnymi właściwościami – m.in. wykazują niską masę własną, przy zachowaniu wysokiej wytrzymałości [1].

Tego typu profile niezależnie od tego czy posiadają otwarty [2], czy też zamknięty [3] kształt przekroju poprzecznego, w warunkach osiowego ściskania ulegają utracie stateczności [1-3]. Istotna jest także wnikliwa analiza pokrytycznego zachowania konstrukcji, w kontekście oceny zjawiska inicjacji uszkodzenia oraz utraty nośności [1-3].

Badania umożliwiające ocenę stanu krytycznego i pokrytycznego zwykle realizowane są w oparciu o interdyscyplinarne metody badawcze, tj. uniwersalna maszyna wytrzymałościowa, emisja akustyczna, optyczny system pomiaru deformacji, zaś w przypadku symulacji numerycznych badania prowadzone są z wykorzystaniem metody elementów skończonych (m.in. progresywna analiza zniszczenia) [1,3].

Nowością pracy jest m.in. badanie wpływu kształtu zamkniętego przekroju poprzecznego cienkościennych profili kompozytowych na stateczność i nośność konstrukcji, z wykorzystaniem interdyscyplinarnych metod.

2. Przedmiot Badań

Przedmiotem badań były cienkościennie konstrukcje wykonane z kompozytu węglowo-epoksydowego (CFRP) o układzie warstw $[0^\circ/90^\circ/0^\circ/90^\circ]$. Profile (9 szt.) posiadały trzy różne przekroje poprzeczne, pierwszy o wymiarach wewnętrznych przekroju A 40x40 mm, drugi B 50x30 mm, trzeci C 60x20 mm, o jednakowej grubości ścianek przekroju 1,24 mm i wysokości profili 200 mm.

Właściwości materiału kompozytowego wyznaczono za pomocą statycznych prób wytrzymałościowych [4].

Tabela 1. Właściwości materiałowe

Materiał	E_1 [MPa]	E_2 [MPa]	ν [-]	G_{12} [MPa]
CFRP	103014	7361	0,37	4041
F_{T0° [MPa]	F_{C0° [MPa]	F_{T90° [MPa]	F_{C90° [MPa]	$F_{S\pm 45^\circ}$ [MPa]
1277	572	31	104	134

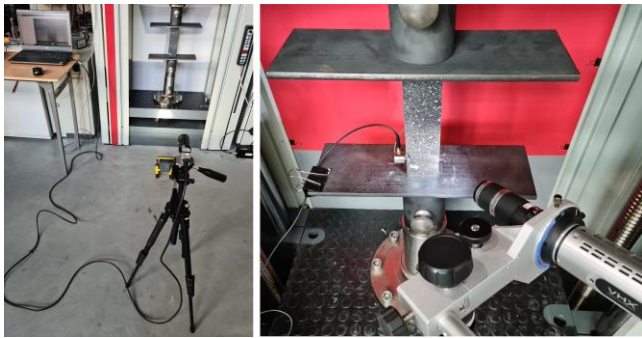


Rys. 1. Próbkki badawcze

3. Metodyka badań

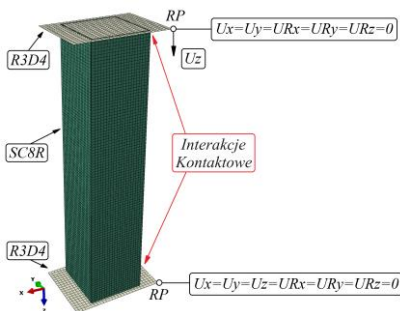
Badania przeprowadzono z wykorzystaniem kilku interdyscyplinarnych metod. W trakcie badań osiowego ściskania konstrukcji, szczególną uwagę poświęcono zjawisku utraty stateczności oraz nośności. W związku z powyższym wykorzystano uniwersalną maszynę wytrzymałościową Zwick Z100, optyczny system pomiaru deformacji Aramis 2D, aparaturę do badania emisji akustycznej AMSY-5 oraz mikroskop cyfrowy Keyence VHX-970F z mobilną głowicą roboczą. W trakcie badań

doświadczalnych wyznaczono postacie wybożenia oraz odpowiadające im wartości obciążeń krytycznych z wykorzystaniem metody aproksymacyjnej przecięcia prostych [3]. Na podstawie pokrywanych ścieżek równowagi określono wartości obciążeń granicznych [1,3].



Rys. 2. Stanowisko do badań doświadczalnych

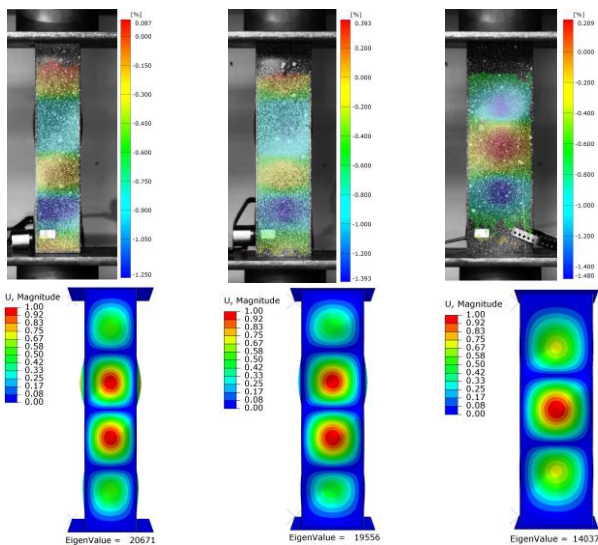
W przypadku symulacji numerycznych badania prowadzono z wykorzystaniem metody elementów skończonych – Abaqus®. Zjawisko utraty stateczności określono na podstawie rozwiązania liniowego zagadnienia własnego, zaś nośności na podstawie analizy nieliniowej – z użyciem progresywnej analizy zniszczenia [1,3].



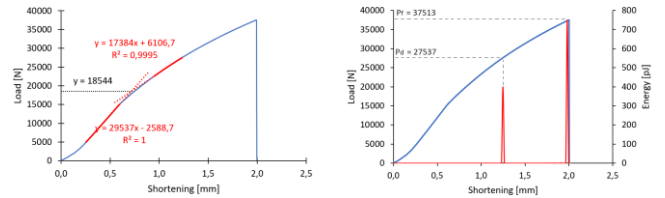
Rys. 3. Model dyskretny z warunkami brzegowymi

4. Wyniki badań

Na podstawie przeprowadzonych badań stanu krytycznego dokonano oceny utraty stateczności i nośności cienkościennych konstrukcji kompozytowych.



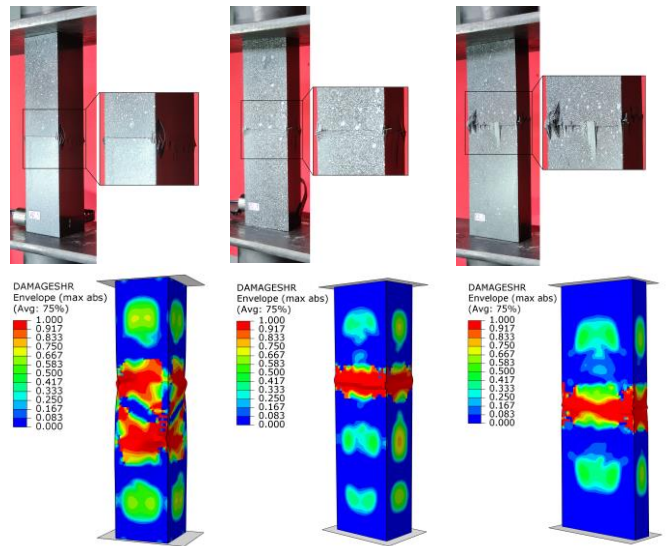
Rys. 4. Wyniki utraty stateczności



Rys. 5. Przykładowe doświadczenie wyznaczone wartości obciążeń granicznych – profil typu B

Tabela 2. Wartości obciążeń granicznych

Próbka	P_b [N]		P_d [N]		P_f [N]	
	Eks(śr)	MES	Eks(śr)	MES	Eks(śr)	MES
A	18894	20671	21611	24694	37357	38358
B	18736	19556	27356	28679	38458	38703
C	13485	14037	30504	31074	39841	40463



Rys. 6. Wyniki utraty nośności

5. Podsumowanie

Na podstawie badań zaobserwowano, iż profile kompozytowe charakteryzowały się wysokim zapasem nośności (wybożenie występowało około dwukrotnie wcześniej niż zniszczenie). Zauważono, że wpływ kształtu zamkniętego przekroju poprzecznego ma znaczący wpływ na utratę stateczności, a niewielki na utratę nośności – gdyż wszystkie słupy kompozytowe niszczyły się w obszarze połowy wysokości konstrukcji.

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

Literatura

- [1] Rozyło 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.
- [2] Gliśczyński A., Kubiak T. *Progressive failure analysis of thin-walled composite columns subjected to uniaxial compression*, Compos Struct, 2017, 169, 52–61.
- [3] Rozyło P., Debski H. *Stability and load carrying capacity of thin-walled composite columns with square cross-section under axial compression*, Compos Struct, 2024, 329, 117795.
- [4] Rozyło 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.