

XVII Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2024

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

15–18 października 2024

Wyboczenie kątownika wykonanego z naturalnych materiałów w zależności od przyjętego promienia zaokrąglenia naroża

Jarosław Gawryluk¹, Bartłomiej Wawerski², Dominika Wiśnios²

¹Katedra Mechaniki Stosowanej, Politechnika Lubelska

²Politechnika Lubelska

email: j.gawryluk@pollub.pl, bartlomiej.wawerski@pollub.edu.pl, dominika.wisnios@pollub.edu.pl

STRESZCZENIE: Naturalne materiały, które można wykorzystać na szeroką skalę do produkcji wytrzymałych kompozytów uzyskując przy tym jednocześnie mniejszy ślad węglowy od tradycyjnych materiałów, stają się obiektem intensywnych badań na całym świecie. Wynika to z obecnych uwarunkowań środowiskowych wymagających poszukiwania rozwiązań, które będą w jak najmniejszym stopniu oddziaływać na otoczenie. Z tego względu badaniom poddano cienkościenne laminaty wykonane z naturalnych włókien lnianych na biodegradowalnej osnowie PLA oraz na osnowie z żywicy epoksydowej. Analizie poddano wpływ promienia zaokrąglenia naroża kształtownika na wartość obciążenia krytycznego. Na podstawie uzyskanych rezultatów stwierdzono, iż odpowiednia modyfikacja promienia zaokrąglenia naroża może pozytywnie wpłynąć na wartość obciążenia krytycznego. Zaobserwowano również, iż wpływ wielkości promienia zaokrąglenia jest różny w zależności od materiału układu. W następnym kroku zostanie przeprowadzona dogłębna analiza opisanego problemu – badania stanu zakrytycznego układu.

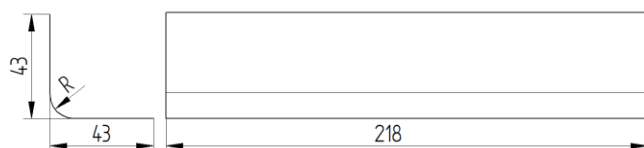
SŁOWA KLUCZOWE: wyboczenie, laminat cienkościenny, włókna lniane, PLA, biokompozyty

1. Cel pracy

Celem pracy jest zbadanie wpływu zmiany promienia zaokrąglenia naroża profilu o przekroju L na wartość obciążenia krytycznego. Analizie poddano laminaty wykonane z biodegradowalnego materiału – włókien lnianych na osnowie PLA (polilaktyd) oraz włókien lnianych na osnowie epoksydowej [1-3]. Analiza liniowa stanu krytycznego (wyboczenia) została wykonana na podstawie badań numerycznych wykonanych w oprogramowaniu Abaqus.

2. Opis badanego układu i metodologia badań

Badaniom poddano pięć konfiguracji profilu – K1 (bez zaokrąglenia naroża), K2 (promień zaokrąglenia 2 mm), K3 (promień zaokrąglenia 6 mm), K4 (promień zaokrąglenia 10 mm) oraz K5 (promień zaokrąglenia 12 mm). Każda konfiguracja posiadała identyczny układ warstw [0/0]. Analizę przeprowadzono dla dwóch rodzajów materiałów kompozytowych – włókien lnianych na osnowie PLA oraz na osnowie epoksydowej. Grubość ścianki wynosiła 1,6 mm. Wymiary badanych profili przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Wymiary badanego profilu

Modele były poddane analizie w złożeniu z dwiema podkładkami elastycznymi i dwoma płytami sztywnymi.

Podkładki elastyczne zostały zastosowane w celu zabezpieczenia profilu przed lokalną koncentracją naprężeń wywołaną stykiem naroży kształtownika z powierzchnią sztywnej płyty. Dla podkładki zastosowano zastępczy izotropowy model materiału o następujących parametrach: moduł Younga $E = 80 \text{ MPa}$, liczba Poissona $\nu = 0.49$ [4]. Obciążenie układu zostało zrealizowane poprzez przyłożenie siły ściskającej do górnej sztywnej płyty. Tabela 1 zawiera zestawienie stałych materiałowych dla materiałów użytych w badaniach.

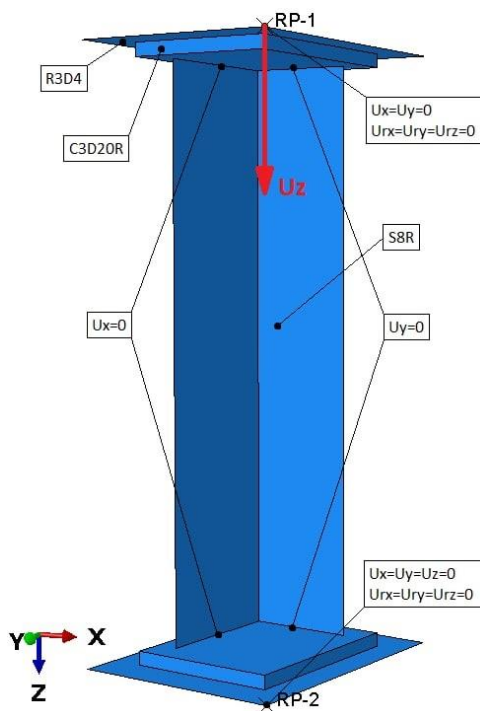
Tabela 1. Stałe materiałowe [5]

Parametr	len/PLA	len/epoksyd
E_1 [MPa]	9879.3	31420
E_2 [MPa]	6476.2	5580
G_{12} [MPa]	1861	2070
ν_{12} [-]	0.2566	0.353

3. Modelowanie numeryczne i symulacja

Do stworzenia modeli dyskretnych kształtowników zastosowano 8-węzłowe elementy powłokowe drugiego rzędu ze zredukowanym całkowaniem – S8R. Do dyskretyzacji elastycznej podkładki użyto bryłowych elementów typu C3D20R, dla zdyskretyzowania modelu sztywnej płyty użyto powłokowych elementów o liniowej funkcji kształtu – R3D4. Struktura kompozytu została zamodelowana techniką *Layup-Ply*. W miejscu styku poszczególnych komponentów zastosowano sztywne połączenie typu *tie*. Obciążenie układu zostało zrealizowane poprzez przyłożenie obciążenia jednostkowego w punkcie referencyjnym górnej sztywnej płyty RP1 (działające wzdłuż

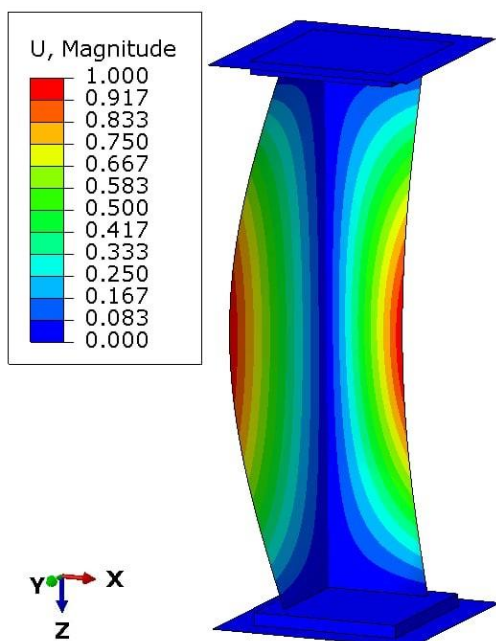
osi słupa Z). Rysunek 2 przedstawia model układu z oznaczeniem zastosowanych elementów skończonych oraz przyjętymi warunkami brzegowymi.



Rys. 2. Warunki brzegowe oraz rodzaj zastosowanych elementów skończonych

4. Wyniki symulacji i ich analiza

W wyniku przeprowadzonych badań otrzymano pierwszą postać wybočenja oraz odpowiadającą jej wartość siły krytycznej dla pięciu konfiguracji kształtownika. Dla wszystkich konfiguracji otrzymano tożsamą pierwszą postać wybočenja (rys. 3). We wszystkich przypadkach konfiguracje lniano-epoksydowe charakteryzowały się wyższą wartością obciążenia krytycznego w stosunku do laminatów len/PLA.



Rys. 3. Pierwsza postać wybočenja

Spośród wszystkich badanych konfiguracji, najwyższą wartość obciążenia otrzymano dla kształtownika z największym promieniem (K5) wykonanego z laminatu lniano-epoksydowego, natomiast najniższą wartość dla profilu z promieniem zaokrąglenia 6 mm (K3) wykonanego z laminatu len/PLA. Szczegółowe wyniki uzyskane na podstawie przeprowadzonej analizy liniowej wybočenja przedstawiono w tab. 2. W ostatniej kolumnie widnieje procentowa różnica wartości obciążeń krytycznych uzyskanych dla konfiguracji len/epoksyd w stosunku do wartości uzyskanych dla konfiguracji len/PLA.

Tabela 2. Wartość siły krytycznej dla pierwszej postaci wybočenja

Konfiguracja	len/PLA [N]	len/epoksyd [N]	Błąd względny [%]
K1	400.66	568.15	41.80
K2	398.14	565.44	42.02
K3	395.86	568.58	43.63
K4	419.85	628.47	49.69
K5	445.54	689.12	54.67

5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania pozwoliły zaobserwować, że wartość siły krytycznej kształtownika zależy od promienia zaokrąglenia naroża kątownika oraz od rodzaju zastosowanego materiału kompozytowego. Ponadto stosując materiały naturalne można opracować rozwiązanie charakteryzujące się wysoką sztywnością.

Zaobserwowanie powyższego mechanizmu pozwala na optymalne kształtowanie własności wytrzymałościowych układu w zależności od indywidualnych wymagań konstrukcji, co istotnie może przyczynić się do zwiększenia zastosowania materiałów naturalnych w konstrukcjach inżynierskich.

Badania zostały dofinansowane ze środków funduszu dyscyplin naukowych przyznanych Katedrze Mechaniki Stosowanej Politechniki Lubelskiej w ramach grantu nr FD-20/IM-5/032/2024.

Literatura

- [1] Nowak B., Pająk J.: Biodegradacja polilaktydu (PLA). *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*, 2010, nr 2, s. 1-10. Boczowska A. i in., *Kompozyty*, Wyd. 2, OW PW, Warszawa 2000.
- [2] Mahboob Z., El Sawi I., Zdero R., Fawaz Z., Bougherara H.: Tensile and compressive damaged response in Flax fibre reinforced epoxy composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2017; 92:118-133. doi: 10.1016/j.compositesa.2016.11.007.
- [3] Pil L, Bensadoun F, Pariset J, Verpoest I.: Why are designers fascinated by flax and hemp fibre composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2016; 83:193-205. doi: 10.1016/j.compositesa.2015.11.004.
- [4] Gawryluk J., Teter A.: Experimental-numerical studies on the first-ply failure analysis of real, thin-walled laminated angle columns subjected to uniform shortening, *Composite Structures* 2021;269:114046.
- [5] Gliszczyński A., Borkowski Ł., Urbaniak M.: Numerical studies on stability and load capacity of compressed channel section columns made of composite reinforced with flax fibers, *Composite Structures* 206 (2018) 960–966.