

Modelowanie numeryczne mikrostruktury kompozytu polimerowego zbrojonego włóknami szklanymi

Danuta Miedzińska¹, Maciej Sychała¹, Marcin Dejewski²

¹Instytut Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Wojskowa Akademia Techniczna

²Instytut Robotów i Konstrukcji Maszyn, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Wojskowa Akademia Techniczna
email: danuta.miedzinska@wat.edu.pl, maciej.sychala@wat.edu.pl, marcin.dejewski@wat.edu.pl

STRESZCZENIE: Kompozyty o osnowie polimerowej wzmocnione włóknami węglowymi, kevlarowymi i szklanymi wiodą prym w rynku materiałów kompozytowych. Powszechne zastosowanie w inżynierii jest konsekwencją bardzo dobrych właściwości wytrzymałościowych. Zastosowanie wzmocnienia osnowy polimerowej krótkimi włóknami i wykonanie takiego detalu metodą wtryskania pozwala wytwarzać skomplikowane kształty o wysokiej wytrzymałości. Niejednorodność struktury kompozytów stanowi wyzwanie nie tylko dla technologów i konstruktorów, ale również dla specjalistów od analiz numerycznych. Jednym z podejść do rozwiązania tego problemu jest modelowanie mikro mechaniczne, które pozwala przewidywać interakcje po-między mikro- i makrostrukturą materiałów. Podejście to zostało wykorzystane w niniejszym artykule. Celem prac przedstawionych w artykule jest analiza numeryczna wpływu adhezji między włóknami kevlarowymi a osnową HDPE na właściwości wytrzymałościowe kompozytu.

SŁOWA KLUCZOWE: kompozyt, MES, mikrostruktura

1. Wprowadzenie

Kompozyty o osnowie polimerowej wzmocnione włóknami węglowymi, kevlarowymi i szklanymi wiodą prym w rynku materiałów kompozytowych. Powszechne zastosowanie w inżynierii jest konsekwencją bardzo dobrych właściwości wytrzymałościowych. Z drugiej strony, materiały kompozytowe nie należą do tanich materiałów konstrukcyjnych. Nie tylko sam surowiec, ale również technologia wytwarzania kompozytu jest kosztowna. Dla przykładu, koszt wykonania karoserii samochodu miejskiego z żywicy zbrojonej włóknem węglowym to 17,8 \$/kg, natomiast ze stali 0,8 \$/kg [1,2]. Kolejnym poważnym minusem stosowania jest problem z recyklingiem takich kompozytów. Z tego powodu wiele instytutów badawczych prowadzi prace ukierunkowane na ponowne wykorzystanie postkonsumenckich odpadów kompozytowych czy też postprodukcyjnych odpadów włókien. Tak powstały hybrydowy materiał jest tańszy ze względu na dodanie wypełniacza. Wypełniacz zazwyczaj zmienia właściwości materiału znacznie je pogarszając. Taki materiał, charakteryzujący się losową strukturą, jest trudny w opisie modelowym. Problemy technologiczne z ujednorodnieniem kompozycji osnowy z wypełniaczem często prowadzi do tworzenia się aglomeracji wypełniacza, co lokalnie obniża wytrzymałość. Sam wypełniacz jeżeli pochodzi z recyklingu często zawiera zanieczyszczenia, które trudno scharakteryzować i ocenić ich wpływ na strukturę docelowej kompozycji. Zależą stosowania drobnociąskiego zbrojenia, np. w formie ciętych włókien/pulpy, czy drobnociąskiego proszku pozwala na

poszerzenie wachlarza technologii wytwarzania kompozytów zbrojonych o np. wtryskanie.

Zastosowanie wzmocnienia osnowy polimerowej krótkimi włóknami i wykonanie takiego detalu metodą wtryskania pozwala wytwarzać skomplikowane kształty o wysokiej wytrzymałości [3]. Udział włókien w osnowie ma swój optymalny zakres. Dla przykładu, kompozyt zbrojony ukierunkowanymi włóknami kevlarowymi w osnowie z żywicy epoksydowej wykazuje największą wytrzymałość na rozciąganie gdy udział objętościowy włókien zawiera się w przedziale 30-60 % [4,5].

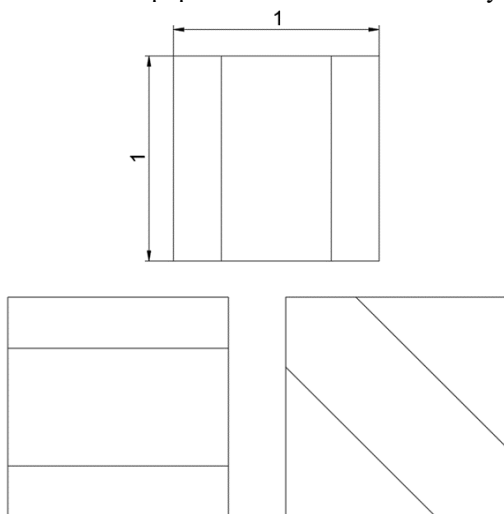
Proces produkcji ma istotny wpływ na parametry wytrzymałościowe fabrykatów, a dla każdej kompozycji inne parametry procesów produkcji będą optymalne. Główną rolę w dobrych właściwościach kompozycji polimerowych odgrywa adhezja pomiędzy fazami składników.

Celem prac przedstawionych w artykule jest analiza numeryczna wpływu adhezji między włóknami kevlarowymi a osnową HDPE na właściwości wytrzymałościowe kompozytu.

2. Model numeryczny

Przygotowanie losowego modelu materiału hybrydowego, którego osnową jest żywica epoksydowa, a wypełnieniem cięte włókna kevlarowe, poprzedzało wyznaczenie zastępczej gęstości oraz wytrzymałości elementów modelu. Są to komórki o różnym ułożeniu włókna, tj. 0°, 45°, 90° i wymiarach 1 x 1 mm rys. 1. Ułożenie włókna odpowiadało działaniu siły rozciągającej w wirtualnej próbie rozciągania jednoosiowego: włókno

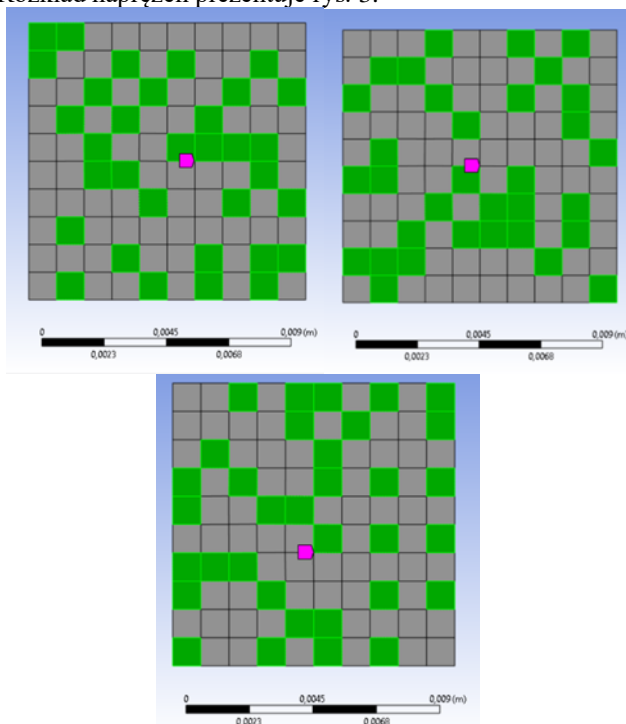
kevlarowe ułożone wzdłuż osi działania siły, włókno kevlarowe ułożone skośnie do osi działania siły. włóko kevlarowe ułożone poprzecznie do osi działania siły.



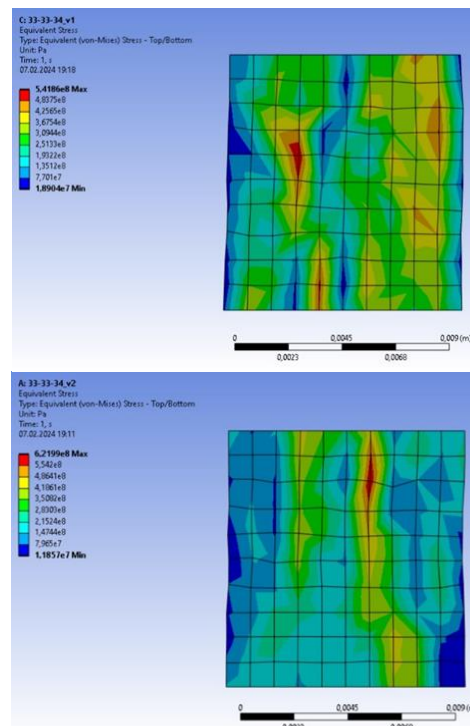
Rys. 1 Komórki modelu losowego z różnym ułożeniem włókien, od lewej: 0°, 90°, 45°

Symulacje wykonano w środowisku Ansys Workbench, Static Structural (wersja studencka). Za-stosowano podstawowy model konstytutywny – liniowy model sprężystości (Linear Elastic, Iso-tropic Elasticity). W pierwszym kroku nie zdefiniowano kontaktu pomiędzy włóknom, a osnową (Bonded). Następnie zmieniano adhezję poprzez wprowadzenie kontaktu z różnymi współczynnikami tarcia.

Losowo dobrany układ elementów w geometrii zawierającej 100 elementów został zaprezentowany na rys. 2. Wynikiem symulacji jest reakcja w utwierdzeniu. Rozkład naprężeń prezentuje rys. 3.



Rys. 2 Losowe elementy modelu, losowanie 1. Od lewej – włókna wzdłużne, poprzeczne, skośne



Rys. 3 Rozkład naprężeń zredukowanych, do lewej: losowanie 1, losowanie 2

Tabela 1 Wyniki symulacji materiału o udziałach włókien wzdłużnych/poprzecznych/skośnych odpowiednio 74/74/77

	Reakcja
losowanie 1	2371
losowanie 2	2205
losowanie 3	2418
losowanie 4	2375
Średnia arytmetyczna	2342
Odchylenie standardowe	82
Odchylenie względne	3,5%

3. Podsumowanie

Losowy układ elementów skończonych z parametrami odpowiadającymi referencyjnej komórce kompozytu nie wykazuje dużą niejednorodność. Naprężenia zawierają się w przedziale od 8,5 MPa w miejscach skupisk bardziej podatnych komórek z włóknami skośnymi dochodząc do 415 MPa dla skupisk komórek z włóknami wzdłużnymi.

Praca została wykonana w ramach projektu UGB 716/2024 010040, finansowanego przez Wojskową Akademię Techniczną.

Literatura

- [1] <https://www.forbes.com/forbes/1999/1115/6412162a.html?sh=531e7b3b42ee>, dostęp na dzień 04.02.2024.
- [2] <https://www.engineering.com/story/can-carbon-fiber-replace-steel-in-the-automotive-industry>, dostęp na dzień 04.02.2024.
- [3] [14] Daniel I.M., Ishai O., Engineering mechanics of composite materials, 2nd edition, Oxford University Press, 2006.
- [4] Weinberg A., Schwartz P., Effect of fiber volume fraction on the strength of Kevlar-29/epoxy strands, Journal of Materials Science letters, Vol. 6, pp. 183-184, 1987.
- [5] [16] DuPont/Advanced Fibers Systems, Technical Guide for Kevlar Aramid Fiber, USA, 2017.