

## Streszczenie

W pracy doktorskiej przedstawiono analizę mechaniczną w różnych stanach obciążenia cylindrycznych próbek kompozytowych wykonanych metodą nawijania. Pierwszy rozdział opisuje historię rozwoju metody nawijania z uwzględnieniem różnych zastosowań. W drugim rozdziale przytoczono podstawowe parametry technologii nawijania, taki jak kąt nawijania, szerokość wiązki i wzór mozaikowy, na który zwrócono szczególną uwagę. W następnej części opisano mechanikę materiałów kompozytowych. Zwrócono uwagę na definicję materiału anizotropowego i ortotropowego oraz klasyczną teorię laminatów. Następnie wybrane kryteria zniszczenia materiałów kompozytowych zostały zdefiniowane, mianowicie kryterium Tsai-Hill oraz Hashin. W kolejnym rozdziale przedstawiono przegląd literatury w kontekście badania nawijanych rur kompozytowych z uwzględnieniem wzoru mozaikowego w różnych stanach obciążenia. Dokonano również przeglądu rozwiązań w zakresie uwzględniania wzorów mozaikowych w obliczeniach numerycznych metodą elementów skończonych. Wyodrębniono 3 strategie modelowania: podejście warstwowe lub subwarstwowe, podejście z wzorami mozaikowymi, podejście z wzorami mozaikowymi i linią przepłotów. W tym rozdziale scharakteryzowano również metodę emisji akustycznej i jej zastosowanie w badaniach materiałów kompozytowych. Analiza literatury pozwoliła na sformułowanie odpowiednich konkluzji i zdefiniowanie celu i zakresu niniejszej dysertacji, które zostały opisane w rozdziale 5. Zdecydowano o przeprowadzeniu badań pod obciążeniem ściskania osiowego i promieniowego zarówno w sposób eksperymentalny jak i w środowisku numerycznych w celu identyfikacji wpływu wzoru mozaikowego na zachowanie mechaniczne rur kompozytowych. Rozdział zawierający badania eksperymentalne i analizy numeryczne podzielony został na 5 sekcji. W pierwszej sekcji przedstawiono budowę modelu numerycznego w środowisku Abaqus z wykorzystaniem własnego skryptu Python do automatycznego generowania modelu z uwzględnieniem różnych wzorów mozaikowych. Analizy numeryczne zostały porównane z badaniami literaturowymi. W kolejnej sekcji przedstawiono badania materiałowe mając na celu dostarczenie stałych sztywności i wytrzymałości badanego materiału kompozytowego (włókno węglowe i żywica epoksydowa). Kolejne dwie sekcje przedstawiają wyniki badań eksperymentalnych, analizy z wykorzystaniem emisji akustycznej oraz rezultaty badań mikroskopią elektronową dla dwóch stanów obciążenia: ściskania promieniowego i ściskania osiowego. Wyniki przeprowadzonych badań doprowadziły do następujących konkluzji. Wzór mozaikowy w technologii nawijania może mieć wpływ na zachowanie mechaniczne rur kompozytowych z różną intensywnością w zależności od rodzaju obciążenia. Efekt został zaobserwowany w najwyższym stopniu dla ściskania promieniowego. Zauważono wzrost sztywności elementu na ściskanie promieniowe wraz ze wzrostem wzoru mozaikowego, a co za tym idzie liczby przepłotów. Zarówno dla ściskania osiowego jak i promieniowego następował wzrost zaabsorbowanej energii odkształcenia.

## **Abstract**

In the dissertation, the mechanical behaviour of composite filament-wound tubes under different loading conditions is presented. In the first chapter, a brief history view of the filament winding technology is described. The second chapter discusses the technology of filament winding in detail. The basic parameters of this method are described: winding angle, bandwidth and mosaic pattern. A special attention is paid to mosaic pattern definition. In the next chapter, the mechanics of composite materials is presented. The definitions of anisotropic and orthotropic materials is described along with the classical laminate theory. Next, selected failure criteria used in composite materials to predict the failure are shown, namely, Tsai-Hill and Hashin criteria are described. The fourth chapter deals with the state-of-the-art of filament-wound composite structures. The literature review regarding composite tubes subjected to different loading conditions are presented. The main interest concerned the research of the influence of mosaic pattern on the mechanical behaviour of composite tubes and pressure vessels. As the dissertation covers both experimental and numerical approach, an in-depth analysis of the modelling strategies to mosaic pattern is shown divided the issue into three groups: layered and sub-layered modelling, mosaic pattern modelling and finally mosaic pattern with zig-zag interlacing line approach. In this chapter, also the acoustic emission method is described and its applications in filament-wound structures research. The conclusions drawn after the literature review were used in the definition of the aim and scope of the experimental and numerical part of the dissertation, described in chapter 5. It was decided to conduct radial compression and axial compression tests to investigate the influence of mosaic pattern. The experimental and numerical chapter is divided into 5 sections. First section describes the preliminary numerical study in which the in-built Python script is presented. The script provides the automatic modelling of filament-wound tubes taking into account the mosaic pattern and its influence on material distribution. The numerical model was verified using literature experimental data. Next, the material characterization was performed to obtain the stiffness and strength data. In next subsection, the radial compression testing is described along with the manufacturing of filament-wound CFRP tubes. The results of this analysis contain the experimental and numerical load-displacement curves, microscopic observations and acoustic emission investigation. Similarly, the results of axial compression test are presented. Finally, it was concluded that the mosaic pattern parameter of filament winding technology may have an influence on the mechanical behaviour in particular loading conditions. The effect of this parameter was more clearly observed in radial compression loading than in axial compression. An increase of corrected stiffness under radial compression was noticed with the higher mosaic pattern. Both for radial and axial compression, these tendency was also obtained in terms of the absorbed strain energy.