

---

# WYBRANE PROBLEMY INŻYNIERSKIE

ZESZYTY NAUKOWE  
INSTYTUTU AUTOMATYZACJI PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH  
I ZINTEGROWANYCH SYSTEMÓW WYTWARZANIA

---

## TENSOMETRYCZNE POMIARY ODKSZTAŁCEŃ W POSZCZEGÓLNYCH WARSTWACH LAMINATÓW WZMACNIANYCH WŁÓKNAMI ARAMIDOWYMI

Szymon Schmidt<sup>1</sup>, Wojciech Jaros<sup>2</sup>, Sławomir Żółkiewski<sup>3</sup>

Instytut Automatykacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania, Wydział  
Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska,  
ul. Konarskiego 18A 44-100 Gliwice.

<sup>1</sup> jaroswojciech@gmail.com, <sup>2</sup> sshmidt@wp.pl, <sup>3</sup> slawomir.zolkiewski@polsl.pl

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono badania odkształceń poszczególnych warstw laminatów wzmocnionych tkaniną kevlarową. W celu przeprowadzenia badań wykonano próbkę składającą się z czterech warstw tej tkaniny. Do pomiarów odkształceń zastosowano tensometry oporowe, które umieszczone zostały pomiędzy poszczególnymi warstwami laminatu w czasie jego wytwarzania. Na podstawie otrzymanych wyników wyznaczono moduł Younga badanej próbki.

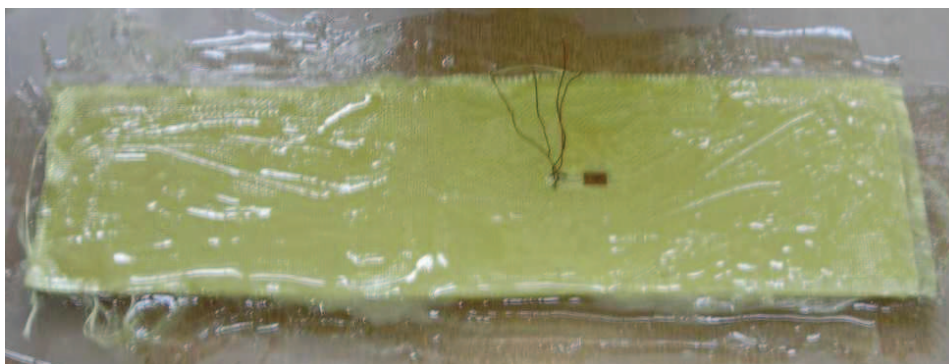
### 1. Wstęp

Kompozyty, dzięki swoim unikalnym właściwościom, znajdują coraz szersze zastosowanie w większości gałęzi przemysłu. Materiały kompozytowe zbudowane są z osnowy, którą najczęściej stanowią żywice epoksydowa lub poliestrowa, oraz zbrojenia. Do zbrojenia najczęściej wykorzystuje się tkaniny wykonane z włókna szklanego, węglowego lub aramidowego. Jednym z najbardziej rozpowszechnionych włókien aramidowych jest kevlar, wprowadzony na rynek przez firmę DuPont. Kevlar charakteryzuje się pięciokrotnie wyższą wytrzymałością od stali, przy takiej samej masie. Kompozyty wzmocnione włóknami aramidowymi znajdują zastosowanie przy produkcji profesjonalnych opon rowerowych, żagli, a także odzieży ochronnej.

Pod wpływem obciążenia kompozyty ulegają odkształceniu. Metodą ich określenia są pomiary tensometryczne, wykorzystujące zjawisko zmiany oporności metalowego drutu pod wpływem działającej na niego siły rozciągającej - pomiar zmiany rezystancji czujnika naklejanego na badanym elemencie.

### 2. Pomiary tensometryczne odkształceń poszczególnych warstw laminatu

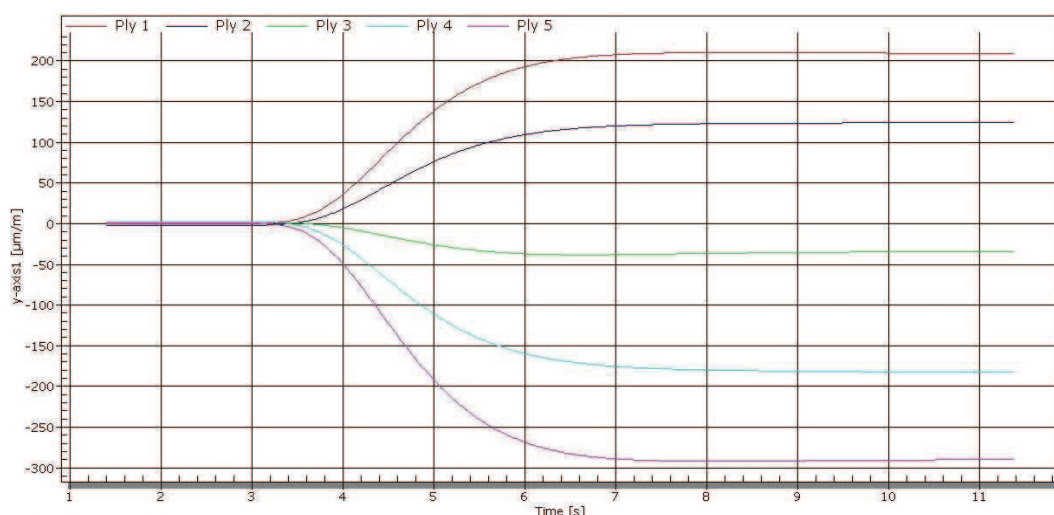
Badaną próbkę wykonano z czterech warstw tkaniny kevlarowej o splocie płóciennym i gramaturze 320 g/cm<sup>2</sup>. Tkaninę tę przesączono żywicą epoksydową Epidian 6 i utwardzaczem PAC (rys. 1.). Do każdej warstwy tkaniny przyklejono tensometr wraz z dolutowanymi, izolowanymi wyprowadzeniami. Próbkę po przesączeniu pozostawiono do całkowitego utwardzenia, a następnie wycięto na wymiar 300x40 mm. Po wycięciu próbki do wyprowadzeń tensometrów dolutowano przewody, pozwalające połączyć tensometry ze wzmacniaczem pomiarowym.



Rys. 1. Tkanina kevlarowa przesączona żywicą epoksydową

Badaną próbkę utwardzono na długości 40 mm i poddano obciążeniom zginającym o wartościach: 0,19 N; 0,49 N; 0,98 N; 1,47 N i 1,96 N. Punkt przyłożenia siły znajdował się w odległości 220 mm od punktu utwardzenia. W przypadku każdego obciążenia wykonano pomiary odkształcenia w poszczególnych warstwach. Pomiarów dokonano tensometrami jednoosiowymi o oporności  $120 \Omega$  i stałej  $k=2,15$ . Tensometry nakleiono w odległości 60 mm od punktu przyłożenia siły. Do pomiarów zastosowano wzmacniacz MGCplus firmy HBM. Jest on modułowym wzmacniaczem pomiarowym o nowoczesnej konstrukcji, przeznaczonym do współpracy z większością rodzajów czujników. Charakteryzuje się wysoką klasą dokładności (0,03%) oraz możliwością pełnego sterowania za pomocą komputera poprzez różnorodne interfejsy. Do połączenia tensometrów ze wzmacniaczem zastosowano specjalny moduł połączeniowy CANHEAD, natomiast komunikacja wzmacniacza z komputerem odbywała się za pomocą portu USB.

Do identyfikacji wyników pomiarów zastosowano program Catman firmy HBM. Program ten pozwala na pełną identyfikację wyników pomiarów przy dowolnie wybranych czujnikach. Posiada on także możliwość generowania wykresów odkształcenia na podstawie sygnału z tensometru. Przykładowy wykres przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Wykres odkształcenia w funkcji czasu, wygenerowany w programie Catman

Na podstawie obliczonego naprężenia w miejscu przyklejenia tensometru i odczytanego z pomiarów odkształcenia, korzystając z prawa Hooke'a, wyznaczono moduł Younga badanego laminatu. Jego średnia wartość przy pięciu pomiarach wyniosła 22,84 GPa.

## Podsumowanie

Pomiary z zastosowaniem elektrycznej tensometrii pozwalają w szybki i prosty sposób określić moduł Younga dowolnego materiału. Aby wyznaczyć współczynnik Poissona, należałoby zastosować tensometr dwuosiowy w celu oceny odkształceń w dwóch prostopadłych osiach. Jak wynika z badań, moduł Younga kevlaru, przesączonego żywicą, jest podobny do elementu stalowego. Zastosowanie kevlaru pozwala na uzyskanie podobnych odkształceń i naprężeń, przy jednoczesnym zmniejszeniu masy w odniesieniu do elementu stalowego. Odkształcenie tensometru, umieszczonego w warstwie środkowej, może wynikać z braku uwzględnienia wstępnego obciążenia próbki.

## Literatura

1. Baczkowska A., Kapuściński J., Linderman Z., Witemberg-Perzyk D., Wojciechowski S.: Kompozyty. Warszawa: Ofic. Wyd. Pol. Warsz., 2003.
2. [http://www2.dupont.com/Kevlar/en\\_US/assets/downloads/KEVLAR\\_Technical\\_Guide.pdf](http://www2.dupont.com/Kevlar/en_US/assets/downloads/KEVLAR_Technical_Guide.pdf)
3. <http://www.hbm.com>

## STRAIN GAUGES MEASUREMENTS IN PARTICULAR LAMINATE LAYERS REINFORCED BY ARAMID FIBERS

**Summary:** This paper presents deformations tests of particular layers of laminates reinforced with Kevlar material. In order to carry out the examination a sample made of four layers of above mentioned material was created. For measuring the deformation, the strain gauges were used. They were placed between layers of the laminate during its manufacture. On the basis of obtained results Young's modulus of the sample was determined.