

# XVI Konferencja Naukowo-Techniczna

# TKI2022

## TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

18–21 października 2022

### **Analiza wybranych parametrów wytrzymałościowych kompozytów epoksydowo szklanych modyfikowanych dodatkiem recyklatu gumowego do osnowy**

**Adam Charchalis<sup>1</sup>, Marcin Kneć<sup>2</sup>, Daria Żuk<sup>1</sup>, Norbert Abramczyk<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Morski w Gdyni

<sup>2</sup>Laboratorium Budownictwa, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska

email: a.charchalis@wm.umg.edu.pl, m.knec@pollub.pl, d.zuk@wm.umg.edu.pl, n.abramczyk@wm.umg.edu.pl

**STRESZCZENIE:** W artykule przedstawiono sposób modyfikacji właściwości wytrzymałościowych kompozytu epoksydowo-szklanego poprzez zmianę składu procentowego osnowy dodatkiem recyklatu gumowego. Biorąc pod uwagę aspekt ochrony środowiska i uwarunkowania ekonomiczne w procesie recyklingu i utylizacji odpadów celowe jest poszukiwanie zastosowań dla pozyskiwanych materiałów odpadowych. Na bazie żywicy epoksydowej, maty szklanej i recyklatu gumowego wytworzono materiał badawczy o różnym składzie procentowym. Próbkę z wytworzonych materiałów badawczych zostały poddane statycznej próbie rozciągania na maszynie wytrzymałościowej Zwick&Roell z wykorzystaniem systemu pomiarowego ARAMIS SRX. Analiza wyników uzyskanych podczas opracowania modeli w oprogramowaniu GOM Suite 2021 dostarczyła informacji na temat właściwości mechanicznych badanych materiałów oraz zachowania próbek pod obciążeniem. Na ich podstawie określono parametry wytrzymałościowe badanych kompozytów i przeprowadzono symulacje numeryczne i ich weryfikacje. Analiza pęknięć w badanych próbkach wykazała korzystny wpływ dodatku recyklatu gumowego na właściwości sprężyste badanych kompozytów.

**SŁOWA KLUCZOWE:** kompozyty, analiza pęknięć, statyczna próba rozciągania, recyklat gumowy, symulacje numeryczne

#### **1. Przedmiot i cel pracy**

Kompozyty epoksydowo-szklane są nowoczesnymi materiałami konstrukcyjnymi od lat stosowanymi w wielu gałęziach przemysłu tj. budownictwo, motoryzacja, lotnictwo czy przemysł jachtowy. Materiały te posiadają szerokie spektrum możliwości modyfikacji ich właściwości mechanicznych, otrzymanych poprzez zmianę ich struktury lub zastosowanie różnego rodzaju dodatków i wypełniaczy. W artykule przedstawiono analizę wpływu dodatku wyselekcjonowanej frakcji recyklatu gumowego na właściwości wytrzymałościowe wytworzonego nowego rodzaju warstwowego kompozytu epoksydowo-szklanego.

#### **2. Opis badanego materiału i metodologia badań**

Badane materiały wytworzone zostały na bazie maty szklanej, żywicy epoksydowej Epidian® 6, a także dodatku recyklatu gumowego pochodzącego z przetworzonych opon samochodowych. Recyklat poddano wstępnemu przesianiu z wykorzystaniem laboratoryjnej wstrząsarki sitowej w celu precyzyjnego wydzielenia różnych jego frakcji. Do dalszych prac nad kompozytem została zastosowana frakcja recyklatu o wielkości ziarna do 1,2 mm. Następnie na bazie wyżej wymienionych materiałów i wybranej frakcji recyklatu zostały wytworzone cztery warianty materiałów badawczych: K0 – czysty kompozyt epoksydowo-szklany bez dodatku recyklatu, K3 – kompozyt zawierający 3% dodatku recyklatu gumowego oraz warianty K5 i K7 zawierające odpowiednio 5% oraz 7% dodatku recyklatu do osnowy kompozytu.

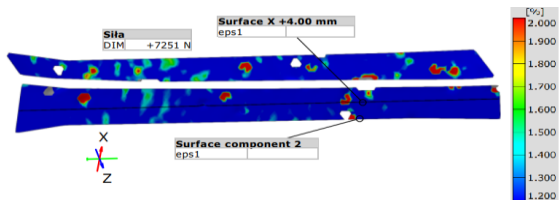
Kompozytowe płyty badawcze zostały wykonane metodą laminowania ręcznego z wykorzystaniem stałego docisku dwustronnego dla wszystkich wariantów. Z wykonanych płyt wytworzono znormalizowane próbki badawcze, które zostały poddane statycznej próbie rozciągania na maszynie wytrzymałościowej Zwick&Roell z wykorzystaniem systemu pomiarowego ARAMIS SRX. Próbkę przed wykonaniem pomiarów zostały wstępnie przygotowane poprzez pokrycie ich powłoką o białoczarnym gradientem. Podczas przeprowadzania statycznej próby rozciągania dwie kamery systemu ARAMIS rejestrowały zmiany powstające na powierzchniach próbek.

#### **3. Planowanie i warunki eksperymentu**

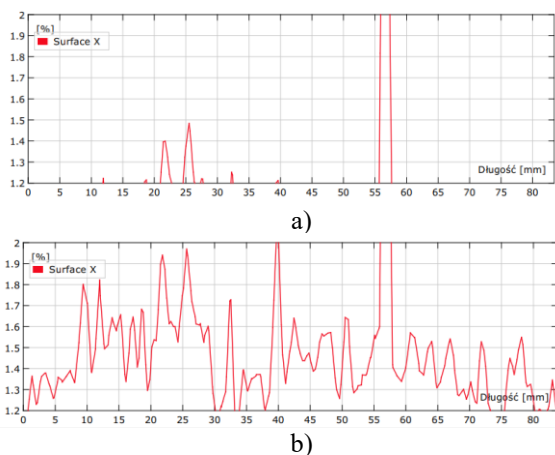
W wyniku zarejestrowanych zapisów uzyskano modele, które po wyeksportowaniu do oprogramowania GOM Suite 2021 pozwoliły na uzyskanie informacji o naprężeniach powstałych w próbkach w czasie badania, a także umożliwiły pomiary odkształceń pojawiających się w próbkach w czasie rzeczywistym. Przykład takiej analizy przedstawia rysunek 1. Analiza wyników uzyskanych podczas opracowania modeli w oprogramowaniu GOM Suite dostarczyła informacji na temat właściwości mechanicznych badanych materiałów oraz zachowania próbek w warunkach obciążenia. Na ich podstawie określono parametry wytrzymałościowe badanych kompozytów i przeprowadzono symulacje numeryczne i ich weryfikacje.

Dodatkowo dla każdego wariantu materiału wykonano analizę procesu powstawania pęknięć w próbkach podczas wykonywania statycznej próby rozciągania. Jako próg

pomiary definiujący powstanie naprężenia, które prowadzi do pęknięcia próbki ustalono wartość 1,2% maksymalnych naprężeń powstałych w próbce podczas rozciągania. Takie naprężenia powstawały w próbce i rozwijały się w trakcie badania aż do przzerwania materiału. Przykład analizy pęknięć na długości pomiarowej próbki pokazano na rys. 2.



Rys. 1. Model numeryczny próbki K3 poddanej statycznej próbie rozciągania uzyskany w programie GOM Correlate obrazujący naprężenia w czasie rzeczywistym



Rys. 2. Przebieg naprężeń w przekroju wzdłużnym próbki K3 na części pomiarowej a) w okresie inicjacji pęknięć, b) w okresie przed zerwaniem próbki

Dla każdej z badanych próbek kompozytowych przeprowadzono analizy numeryczne w oprogramowaniu GOM Suite. Analizy pozwoliły na uzyskanie informacji o wartościach parametrów wytrzymałościowych badanych materiałów.

**4. Wyniki badań eksperymentalnych i ich analiza**

Otrzymane wyniki pozwoliły na określenie wpływu dodatku recyklatu gumowego do osnowy kompozytu na zmiany jego właściwości wytrzymałościowych. Zestawienie otrzymanych parametrów badanych materiałów kompozytowych przedstawiono w tab. 1.

Tabela 1. Wartości parametrów wytrzymałościowych uzyskane podczas statycznej próby rozciągania z udziałem systemu ARAMIS 3D

Parametr/Materiał	K0	K3	K5	K7
$A_g$ [%]	0,569	0,204	0,320	0,204
$E$ [MPa]	9347	6812	7084	6584
$\nu$ [-]	0,263	0,350	0,298	0,348
$R_m$ [MPa]	142	85	93	84

Analiza uzyskanych wyników wykazała, że dodatek recyklatu gumowego do żywicy obniża parametry wytrzymałościowe kompozytu epoksydowo szklanego w zakresie wydłużenia procentowego, modułu Younga oraz wytrzymałości na rozciąganie. Jednak warto zauważyć korzystny wpływ dodatku recyklatu gumowego na sprężystość, a także sposób odkształcania badanych materiałów kompozytowych. Dla każdego z wariantów materiału wartość liczby Poissona wzrastała w porównaniu z materiałem bazowym K0. Wartości te wzrosły o maksymalnie 33% w przypadku wariantu K3. Dla próbki K0 wartość siły po przekroczeniu której pojawiają się naprężenia na poziomie 1,2% propagujące z czasem do pęknięcia próbki, to około 3890 N. Dla porównania wartość tej siły dla kompozytu K7 wynosi już 7826 N.

**5. Podsumowanie**

- Wniosek 1: Analiza pęknięć w badanych próbkach potwierdza korzystny wpływ dodatku recyklatu gumowego na właściwości sprężyste badanych kompozytów. Dodatek recyklatu spowodował, że pęknięcia w próbkach powstają dopiero po znacznym przekroczeniu wartości siły rozciągającej w porównaniu z czystym kompozytem.
- Wniosek 2: Korzystna jest możliwość zastosowania w nowych materiałach dodatków pochodzących z proekologicznych procesów recyklingu z jednoczesnym poprawieniem ich określonych parametrów mechanicznych i użytkowych.
- Wniosek 3: Przy określonych zastosowaniach produkcyjnych tak znaczna poprawa sprężystości może stanowić ważny czynnik wpływający na wybór tego wariantu rozwiązania. Ponadto, łatwość w dostępie do tego surowca i jego niski koszt pozyskania wpływa pozytywnie na koszty wytworzenia i korzystny bilans ekonomiczny producenta.

**Literatura**

- [1] Jones R. M., *Mechanics of composite materials*, 2nd ed., Taylor & Francis, London 1999.
- [2] Gronowicz K.T.:Recykling zużytych opon samochodowych, Problemy eksploatacji, pp. 5-18, 2007.
- [3] Han-SeungY., Young-Kyu L., Hyun-Joong K., Chun-Won K.: Possibility of using waste tire composites reinforced with rice straw as construction materials, Bioresource Technology, Volume 95, Issue 1, October 2004, Pages 61-65.
- [4] Kyzioł L., Panasiuk K., Barcikowski M., Hajdukiewicz G.: The influence of manufacturing technology on the properties of layered composites with polyester-glass recycle additive, Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology, vol. 36 (issue 1), s. 18 30, 2020.
- [5] Shu Ling Zhang, Zhen Xiang Xin, Zhen Xiu Zhang, Jin Kuk Kim, Characterization of the properties of thermoplastic elastomers containing waste rubber tire powder, Waste Management, Volume 29, Issue 5, 2009, Pages 1480-1485.
- [6] Zhang X.-X., Lu C.-H. and Liang M. : Preparation of rubber composites from ground tire rubber reinforced with waste-tire fiber through mechanical milling. J. Appl. Polym. Sci., 2007, Vol. 103, pp. 4087-4094.
- [7] PN-EN ISO 527-4\_2000P, Tworzywa sztuczne -Oznaczenie właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu -Warunki badań kompozytów tworzywowych izotropowych i ortotropowych wzmocnionych włóknami.
- [8] T. E. Schmidt, J. Tyson, K. Galanulis, D. M. Revilock, i M. E. Melis, „Full-field dynamic deformation and strain measurements using high-speed digital cameras”, w 26th International Congress on High-Speed Photography and Photonics, 2005, t. 5580, s. 174-185.