

# Analysis of selected mechanical properties of reinforced glass fiber composite

## Analiza wybranych właściwości mechanicznych kompozytu zbrojonego włóknem szklanym

PATRYCJA EWA JAGIEŁOWICZ  
PIOTR POŁOWNIAK  
KAMA WIŚNIEWSKA  
PATRYK WIŚNIEWSKI  
WIOLETTA BASARA-WIŚNIEWSKA  
PIOTR NIECKARZ \*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2023.10.19>

This article presents the destructive tests of samples made of glass fiber reinforced composite. The laminate was made in the technological process by infusion; the samples were cut out from the laminate with the waterjet technology. Strength tests included tensile and three-point bending tests. The tests took into account the number of layers and the direction of the fibers.

**KEYWORDS:** strength tests, glass fiber reinforced composites

W artykule przedstawiono badania niszczące kształtek z kompozytu zbrojonego włóknem szklanym. Laminat wykonano w procesie technologicznym na drodze infuzji i wycinano z niego próbki metodą waterjet. Badania wytrzymałościowe obejmowały próby rozciągania oraz zginania trójpunktowego. W badaniach uwzględniono liczbę warstw oraz kierunek ułożenia włókien.

**SŁOWA KLUCZOWE:** badania wytrzymałościowe, kompozyty zbrojone włóknem szklanym

### Wprowadzenie

W szeroko pojętym współczesnym przemyśle szuka się rozwiązań w jak najmniejszym stopniu ingerujących w środowisko naturalne. Stąd przed konstruktorami stoją wyzwania związane z opracowaniem nowych materiałów. W grupie prężnie rozwijanych materiałów znajdują się kompozyty zbrojone włóknem szklanym, których właściwości wytrzymałościowe można dostosować do konkretnych potrzeb. Osnową kompozytu jest najczęściej polimer, np. poliamid lub polipropylen, ale można na nią wykorzystać również metal lub ceramikę [1].

Popularność polimeru jest związana z jego małym ciężarem właściwym oraz łatwością kształtowania [2]. Z uwagi na bardzo dobre właściwości mechaniczne i elektryczne do sieciowania stosuje się głównie żywice epoksydowe, ale także silikonowe, poliesterowe czy winylowo-estrowe. Do zbrojenia wykorzystuje

się włókna lub proszek. Zastosowanie danego zbrojenia wpływa na wytrzymałość, odporność na ścieranie i inne cechy zbrojonego kompozytu [3, 4]. Kompozyty zbrojone włóknem szklanym znajdują szerokie zastosowanie przede wszystkim w przemyśle motoryzacyjnym, w sektorze elektronicznym i elektrotechnicznym [5, 6] oraz w wyrobach codziennego użytku [7].

### Materiał i metodyka badań

Przygotowanie kształtek z kompozytu zbrojonego włóknem szklanym na osnowie z żywicy epoksydowej przebiegało wieloetapowo. Materiałem zbrojenia była tkanina szklana o gramaturze 100 g/m<sup>2</sup>. Poszczególne warstwy zostały przesycone żywicą epoksydową metodą infuzji. Laminat wygrzewano w piecu w temperaturze 90°C przez 240 min, a próbki wycięto technologią waterjet. Proces przygotowania kształtek przeprowadzono w następujących warunkach: temperatura ok. 20°C, wilgotność względna otoczenia ok. 35%.

W badaniu własności mechanicznych kompozytów zbrojonych włóknem szklanym wykorzystano kształtki – po 30 sztuk do każdej próby wytrzymałościowej. Ich struktura różniła się liczbą warstw (8, 9 lub 10 warstw) oraz ułożeniem włókien (0° lub 45°) – patrz tabl. I.

**TABLE I. Structure of samples made of glass fiber reinforced composite**

**TABLICA I. Struktura kształtek wykonanych z kompozytu zbrojonego włóknem szklanym**

Liczba warstw	Ułożenie włókien	Liczba próbek
8	0°	30
8	45°	30
9	0°	30
9	45°	30
10	0°	30
10	45°	30

\* Dr inż. Patrycja Ewa Jagiełowicz – [pejagielowicz@prz.edu.pl](mailto:pejagielowicz@prz.edu.pl), <https://orcid.org/0000-0003-0151-9405> – Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Rzeszów, Polska

Dr inż. Piotr Połowniak – [ppolowniak@prz.edu.pl](mailto:ppolowniak@prz.edu.pl), <https://orcid.org/0000-0002-6199-1296> – Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Rzeszów, Polska

Inż. Kama Wiśniewska – [pracowniaalternatywna@gmail.com](mailto:pracowniaalternatywna@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0009-8173-8018> – ARTidote Design Studio, Mielec, Polska

Mgr inż. Patryk Wiśniewski – [patryk@basara.pl](mailto:patryk@basara.pl), <https://orcid.org/0009-0007-6571-3238> – PPH S.C. BASARA, Mielec, Polska

Mgr inż. Wioletta Basara-Wiśniewska – <https://orcid.org/0009-0000-6303-955X> – PPH S.C. BASARA, Mielec, Polska

Mgr inż. Piotr Nieckarz – <https://orcid.org/0009-0004-4717-4005> – PPH S.C. BASARA, Mielec, Polska

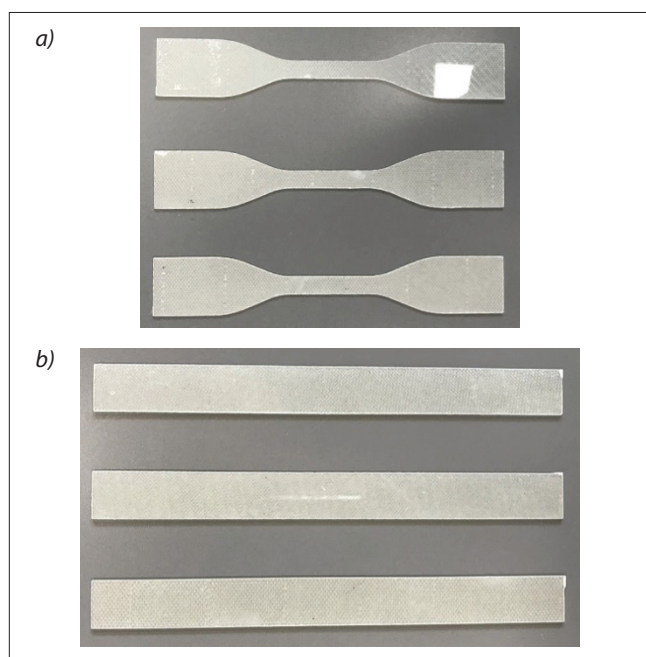


Fig. 1. Coupons made of glass fiber reinforced composite: a) for tensile tests, b) for three-point bending tests

Rys. 1. Próbkki wykonane z kompozytu zbrojonego włóknem szklanym: a) do badań na rozciąganie, b) do badań na zginanie trójpunktowe

Na rys. 1 pokazano przykładowe kształtki użyte do badań wytrzymałościowych – do prób na rozciąganie (rys. 1a) oraz zginanie (rys. 1b). Ich kształt był zgodny z normami przedmiotowymi dotyczącymi badań materiałowych [8, 9].



Fig. 2. The testing machine with a sample

Rys. 2. Maszyna wytrzymałościowa z zamocowaną kształtką

Po wykonaniu próbek z kompozytu zbrojonego włóknem szklanym przeprowadzono badania niszczące: na rozciąganie oraz na zginanie trójpunktowe. Badania wytrzymałościowe przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej LabTest 6.031.1.1, wyposażonej w wymagane uchwyty. Na rys. 2 widać kształtkę – tzw. wiosełko – zamocowaną na maszynie wytrzymałościowej.

Maszyna wytrzymałościowa została wyposażona w głowicę pomiarową o sile 3 kN. Pomiar przemieszczenia (strzałki ugięcia) był realizowany za pomocą odczytu przemieszczenia trawersy maszyny. W zależności od prowadzonej próby zostało użyte odpowiednie oprzyrządowanie badawcze.

Badania próbek przeprowadzono w następujących warunkach: temperatura ok. 20°C, wilgotność względna otoczenia ok. 35%. Badania wytrzymałościowe na rozciąganie i zginanie trójpunktowe miały na celu określenie naprężeń niszczących przy uwzględnieniu różnej liczby warstw materiału oraz kierunku ich ułożenia. Na podstawie charakterystyk wytrzymałościowych na rozciąganie wyznaczono moduły Younga, biorąc pod uwagę wyniki naprężeń w zakresie od 20% do 40% naprężeń niszczących.

### Wyniki próby rozciągania statycznego

Na rys. 3 pokazano przykładowe próbki po przeprowadzeniu próby rozciągania.

Na rys. 4 zaprezentowano przykładowe otrzymane charakterystyki badania wytrzymałościowego na rozciąganie dla próbek z 10 warstwami.

W tabl. II zestawiono wyniki badania na rozciąganie kształtek z kompozytu zbrojonego włóknem szklanym.

Na rys. 5 przedstawiono: średnie wartości wytrzymałości na rozciąganie, średnie wartości maksymalnego wydłużenia względnego oraz średnie wartości modułu sprężystości otrzymane podczas badań w statycznej próbie rozciągania.

Na podstawie wykresów pokazanych na rys. 4 można stwierdzić, że zmiana ułożenia warstw z 0° na 45° zmienia charakter zniszczenia próbki. Dla ułożenia 0° wykres naprężeń przyjmuje charakter bliski liniowemu. Natomiast w przypadku ułożenia warstw pod kątem 45° wytrzymałość na rozciąganie jest dwukrotnie mniejsza niż dla próbek z ułożeniem warstw 0°. Próbkki ulegały też większemu wydłużeniu.



Fig. 3. Coupons made of glass fiber reinforced composite (fiber direction 0°) after failure in a tensile test

Rys. 3. Próbkki z kompozytu zbrojonego włóknem szklanym (kierunek włókien 0°) po zniszczeniu w próbie rozciągania



**TABLE II. Average values of the results of the tensile test of coupons made of glass fiber reinforced composite**  
**TABLICA II. Wartości średnie wyników próby rozciągania próbek z kompozytu zbrojonego włóknem szklanym**

Kształtki	Maksymalna siła rozciągająca $F_m$ [N]	Napężenie przy zerwaniu próbki $\sigma_m$ [MPa]	Wydłużenie przy zerwaniu próbki $\varepsilon_m$ [%]	Grubość próbki w obszarze pomiarowym $a$ [mm]	Szerokość próbki w obszarze pomiarowym $b$ [mm]	Pole powierzchni przekroju próbki w obszarze pomiarowym $S_0$ [mm <sup>2</sup> ]	Moduł sprężystości $E$ [GPa]
8 warstw, ułożenie włókien 0°	1721	365	1,28	0,82	5,75	4,72	32,2
9 warstw, ułożenie włókien 0°	1927	369	1,33	0,90	5,80	5,22	31,6
10 warstw, ułożenie włókien 0°	2243	371	1,49	1,05	5,75	6,05	29,0
8 warstw, ułożenie włókien 45°	854	181	4,18	0,82	5,75	4,72	16,6
9 warstw, ułożenie włókien 45°	994	190	4,64	0,90	5,80	5,22	15,7
10 warstw, ułożenie włókien 45°	1165	191	4,71	1,05	5,80	6,09	15,2

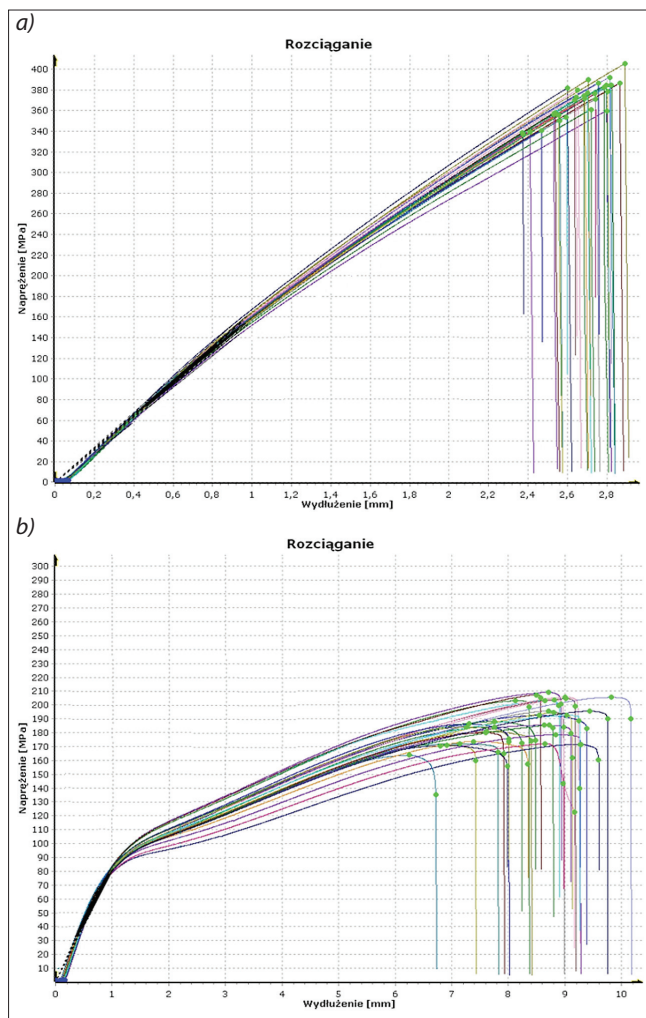


Fig. 4. Characteristics of stretching of coupons made of glass fiber reinforced composite: a) 10 layers, fiber arrangement 0°, b) 10 layers, fiber direction 45°

Rys. 4. Charakterystyka rozciągania próbek z kompozytu zbrojonego włóknem szklanym: a) 10 warstw, ułożenie włókien 0°, b) 10 warstw, kierunek włókien 45°

Na podstawie analizy przedstawionych na rys. 5 wyników badań właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu stwierdzono, że laminaty wzmocnione tkaniną szklaną z ułożeniem warstw pod kątem 45° wykazują około dwukrotnie mniejsze wartości modułu sprężystości i wytrzymałości na rozciąganie, ale około trzykrotnie większe wydłużenie względne przy zerwaniu niż laminaty z ułożeniem warstw 0°.

Porównując właściwości mechaniczne laminatów, można zaobserwować, że wraz ze wzrostem liczby warstw następuje nieznaczny wzrost wytrzymałości

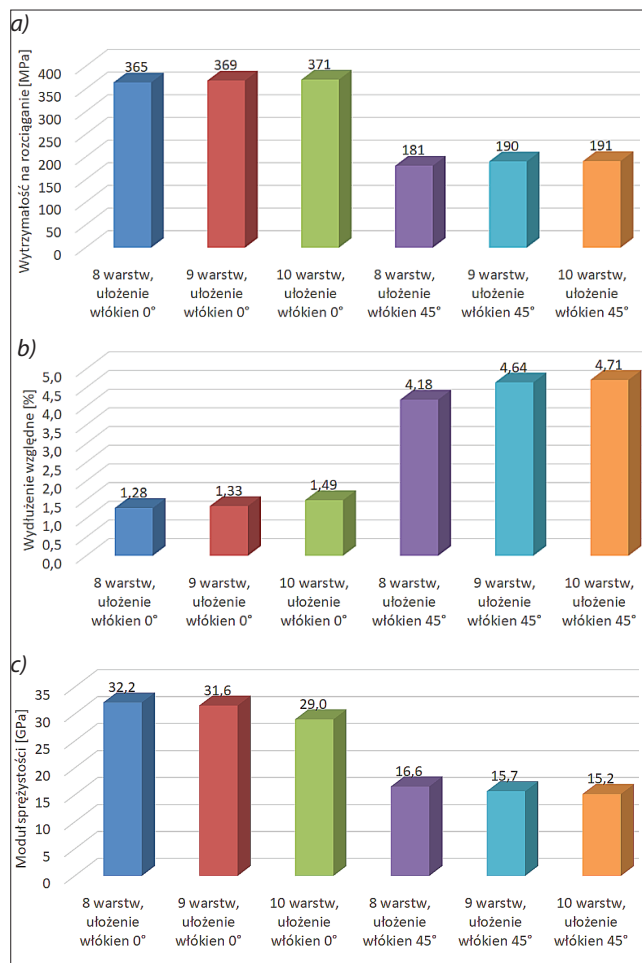


Fig. 5. The results of the tensile test of the tested samples made of glass fiber reinforced composite – setting the average values of: a) tensile strength, b) maximum of relative elongation, c) elasticity modulus

Rys. 5. Wyniki próby rozciągania badanych kształtek z kompozytu zbrojonego włóknem szklanym – zastawienie średnich wartości: a) wytrzymałości na rozciąganie, b) maksymalnego wydłużenia względnego, c) modułu sprężystości

na rozciąganie, a także wzrost wydłużenia względnego i spadek modułu sprężystości.

### Wyniki próby trójpunktowego zginania

Na rys. 6 przedstawiono zdjęcie przykładowych próbek po wykonaniu próby zginania trójpunktowego.

Na rys. 7 zaprezentowano przykładowe otrzymane charakterystyki badania wytrzymałościowego – wytrzymałości na trójpunktowe zginanie dla próbek z 10 warstwami.



Fig. 6. Coupons made of glass fiber reinforced composite after destruction in a three-point bending test

Rys. 6. Próbkę z kompozytu zbrojonego włóknem szklanym po zniszczeniu w próbie trójpunktowego zginania

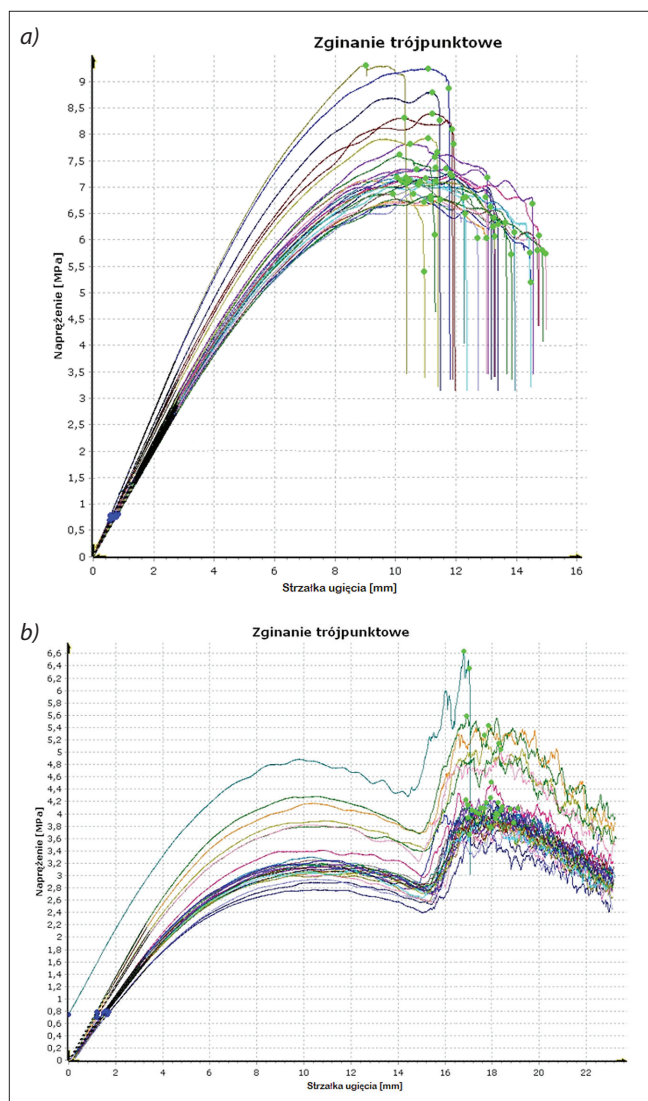


Fig. 7. Characteristics of three-point bending of coupons made of glass fiber reinforced composite with 10 layers: a) fiber direction 0°, b) fiber direction 45°

Rys. 7. Charakterystyka trójpunktowego zginania próbek z kompozytu złożonego z 10 warstw zbrojonego włóknem szklanym: a) kierunek włókien 0°, b) kierunek włókien 45°

W tabl. III zestawiono wyniki badania wytrzymałości na trójpunktowe zginanie kształtek z kompozytu zbrojonego włóknem szklanym.

Na rys. 8 zebrano odpowiednio średnie wartości: wytrzymałości na zginanie oraz strzałki ugięcia.

Na podstawie analizy przedstawionych na rys. 8 wyników badań właściwości mechanicznych przy trójpunktowym zginaniu stwierdzono, że laminaty wzmacniane tkaniną szklaną z ułożeniem warstw pod

TABLE III. Average values of the results of the three-point bending test of samples made of glass fiber reinforced composite  
TABLICA III. Wartości średnie próby trójpunktowego zginania kształtek z kompozytu zbrojonego włóknem szklanym

Kształtki	$F_b$ [N]	$\sigma_b$ [MPa]	$a$ [mm]	$b$ [mm]	$S_0$ [mm <sup>2</sup> ]
8 warstw, ułożenie włókien 0°	60,39	5,73	0,83	12,70	10,53
9 warstw, ułożenie włókien 0°	75,99	6,56	0,91	12,70	11,60
10 warstw, ułożenie włókien 0°	96,36	7,46	1,02	12,70	12,89
8 warstw, ułożenie włókien 45°	32,56	3,16	0,81	12,70	10,31
9 warstw, ułożenie włókien 45°	40,28	3,47	0,91	12,70	11,55
10 warstw, ułożenie włókien 45°	55,50	4,28	1,02	12,70	12,95

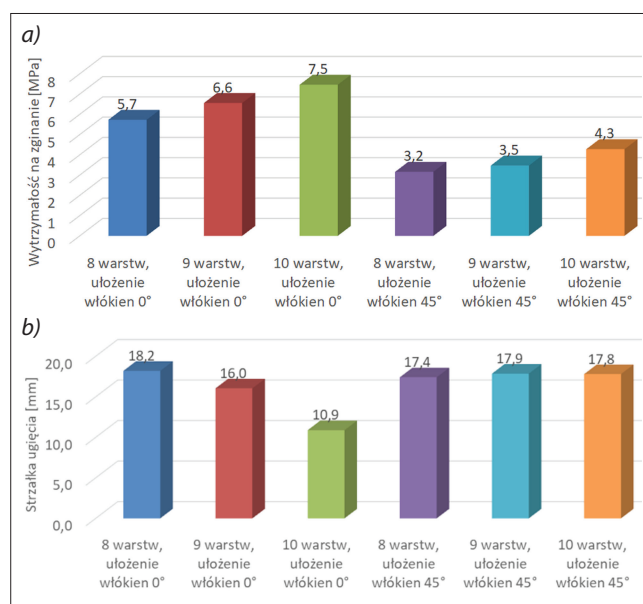


Fig. 8. The results of three-point bending of the tested samples made of glass fiber reinforced composite – setting the average values of: a) bending stress, b) deflection

Rys. 8. Wyniki próby zginania trójpunktowego badanych kształtek z kompozytu zbrojonego włóknem szklanym – zastawienie średnich wartości: a) wytrzymałości na zginanie, b) strzałki ugięcia

kątem 45° wykazują znacząco mniejszą (około dwukrotnie) wytrzymałość na zginanie niż z ułożeniem 0°. Dodatkowo wytrzymałość na zginanie rośnie wraz ze wzrostem liczby warstw. Wartości strzałki ugięcia dla próbek z ułożeniem warstw 0° wykazują tendencję spadkową wraz ze wzrostem liczby warstw, natomiast w przypadku próbek z ułożeniem warstw 45° nie zauważa się znacznych zmian.

## Podsumowanie

Wyniki badań eksperymentalnych na rozciąganie pokazały, że wytrzymałość na rozciąganie w przypadku laminatów wzmacnianych tkaniną szklaną z włóknami ułożonymi pod kątem 0° była średnio dwukrotnie wyższa, niż gdy włókna były ułożone pod kątem 45°. Zaobserwowano, że wzrost liczby warstw nieznacznie podnosi wytrzymałość na rozciąganie, powoduje wzrost wydłużenia względnego i spadek modułu sprężystości. Po osiągnięciu maksymalnej siły rozciągającej próbka uległa zerwaniu. W obszarze, w którym doszło do zerwania, można zauważyć rozwarstwienie materiału wynikające z budowy próbek.

Wyniki badań eksperymentalnych na trójpunktowe zginanie pokazały, że próbki z kompozytu z ułożeniem włókien  $0^\circ$  w porównaniu z próbkami z ułożeniem włókien pod kątem  $45^\circ$  wykazują znacząco większą (ok. dwukrotnie) wytrzymałość na zginanie. Ponadto wraz ze wzrostem liczby warstw wytrzymałość na zginanie rośnie. W obszarze, w którym doszło do pęknięcia, można zauważyć zabielenie materiału świadczące o rozwarstwieniu.

Badania wytrzymałościowe kształtek z kompozytu zbrojonego włóknem szklanym pozwoliły przeprowadzić wstępną analizę własności materiału dla wariantów z różnym ułożeniem włókien i z modyfikacjami liczby warstw. Wytrzymałość zwiększa się wraz ze wzrostem liczby włókien i udziałem warstw z kierunkiem włókien  $0^\circ$ . Kompozyty zbrojone włóknem szklanym mogą zostać wykorzystane do produkcji szerokiego asortymentu produktów.

Badania przedstawione w niniejszym opracowaniu są częścią prac badawczo-rozwojowych mających na celu opracowanie innowacyjnych rozwiązań materiałowych stosowanych w przedmiotach codziennego użytku na przykładzie opraw okularów [7]. Biorąc pod uwagę stosowalność omawianych tworzyw, należałoby uwzględnić ich własności mechaniczne, na które wpływ mają liczba oraz kierunek warstw zbrojenia.

**Badania zostały wykonane w ramach umowy nr RPPK.01.02.00-18-0028/19-00, Projekt „Rozwój działalności B+R firmy BASARA poprzez opracowanie nowego innowacyjnego produktu”. Projekt współfinansowany z środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.**

#### LITERATURA

- [1] Gogoi R., Maurya A.K., Manik G. “A review on recent development in carbon fiber reinforced polyolefin composites”. *Composites Part C: Open Access*. 8 (2022), <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2022.100279>.
- [2] Fucong Lu, Yuhang Hou, Bencheng Zhang, Long Huang, Fangping Qin, Di Song. “Study on the ratchetting behavior of glass fiber-reinforced epoxy composites: Experiment and theory”. *Polymer Testing*. 117 (2023), <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2022.107875>.
- [3] Konczal N., Nowinka B., Bieliński M. “Influence of chemical foaming on the structure and selected properties of glass fiber reinforced PA6”. *Polimery*. 67, 10 (2022): 475–482, <https://doi.org/10.14314/polimery.2022.10.1>.
- [4] Stickel J.M., Nagarajan M. “Glass Fiber-Reinforced Composites: From Formulation to Application”. *International Journal of Applied Glass Science*. 3, 2 (2012): 122–136, <https://doi.org/10.1111/j.2041-1294.2012.00090.x>.
- [5] Leda H. „Szkłane czy węglowe włókna w kompozytach polimerowych”. *Kompozyty*. 7 (2003): 209–215, bwmeta1.element.baztech-article-BAR2-0005-0030.
- [6] Mayer P., Kaczmar J.W. „Właściwości i zastosowania włókien węglowych i szklanych”. *Tworzywa Sztuczne i Chemia*. 6 (2008): 52–56.
- [7] Projekt „Rozwój działalności B+R firmy BASARA poprzez opracowanie nowego innowacyjnego produktu”. Projekt współfinansowany z środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.
- [8] PN-EN ISO 527-1:2020-01 – wersja angielska. Tworzywa sztuczne – Oznaczanie właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu – Część 1: Zasady ogólne.
- [9] PN-EN ISO 178:2019-06 – wersja angielska. Tworzywa sztuczne – Oznaczanie właściwości przy zginaniu. ■