

Evaluation of flammability by the oxygen index of selected composites based on epoxy resin

Ocena palności metodą indeksu tlenowego wybranych kompozytów na osnowie z żywicy epoksydowej

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

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2023.8-9.18>

The article presents the results of flammability tests of composite materials based on epoxy resin. Natural linen, jute and carbon fiber were used as a reinforcement. The samples were made in the vacuum infusion process. The tests were also carried out for the granulated cork material. Flammability tests were carried out using the determination of the oxygen index value in accordance with ASTM D 2826-06a, ISO 4589, part 2: 1996. The tests made it possible to determine the extent to which the tested materials are fire hazardous.

KEYWORDS: oxygen index, flammability, natural fiber reinforced composite

W artykule przedstawiono wyniki badań palności materiałów kompozytowych na osnowie z żywicy epoksydowej. Jako zbrojenie użyto tkaniny z włókien: lnu, juty oraz włókna węglowego. Próbkki były wykonywane w procesie infuzji próżniowej. Badania przeprowadzono również dla materiału z korka granulowanego. Badania palności przeprowadzono za pomocą oznaczenia wartości indeksu tlenowego zgodnie z normą ASTM D 2826-06a, ISO 4589, część 2: 1996. Badania pozwoliły określić, w jakim stopniu wybrane materiały są niebezpieczne pożarowo.

SŁOWA KLUCZOWE: indeks tlenowy, palność, kompozyt zbrojony włóknem naturalnym

Tworzywa polimerowe zdominowały wiele gałęzi przemysłu ze względu na swoje dobre właściwości użytkowe i stosunkowo niski koszt wytwarzania. Wśród ich zalet można także wymienić odporność na korozję, małą gęstość i łatwość przetwarzania [1]. Natomiast wadą, która może ograniczyć ich stosowanie, jest ich palność.

Zjawisko spalania zależy od wielu czynników, takich jak: skład, objętość, kształt elementu czy jego gęstość [2]. Z powodu złożonych sposobów zachowania się materiału w czasie palenia się oraz warunków, w których

materiał może ulec zapaleniu, opracowano kilka metod oceny palności. Różnią się one kształtem i wymiarami próbek oraz warunkami pomiaru. Z wykorzystaniem poszczególnych metod można określić szybkość rozprzestrzeniania się płomienia, gęstość wydzielającego się dymu, efekty cieplne spalania czy skład jakościowy i ilościowy gazowych produktów spalania [3].

Popularną metodą oceny palności jest wyznaczenie wskaźnika tlenowego *OI* (Oxygen Indeks). Wskaźnik ten został opisany w normie ISO 4589 część 2 oraz ASTM D 2826-06a i określa minimalną zawartość tlenu w mieszaninie N_2/O_2 podtrzymującą proces palenia się materiału. Metodę tę stosuje się do tworzyw polimerowych w celu porównawczej oceny ich zapalności [6].

W tym artykule przedstawiono badanie palności materiałów, które mogą być użyte do wykonania opraw okularowych [7] lub innych wyrobów codziennego użytku, a w przypadku których istotne są walory wizualne. Do badań przygotowano próbki z kompozytu lnianego, kompozytu jutowego, kompozytu węglowego na osnowie z żywicy epoksydowej oraz próbki z korka granulowanego.

Materiał i metodyka badań

Zakres badań obejmował analizę wartości indeksu tlenowego dla czterech typów materiałów (rys. 1):

- kompozytu lnianego,
- kompozytu jutowego,
- kompozytu węglowego,
- korka granulowanego w bryle.

Dla każdego typu wykonano po 10 próbek. Wymiary próbek to: 10 mm × 10 mm × 100 mm. Tkaniny użyte do wykonania próbek charakteryzowały się następującymi gramaturami: tkanina lniana 265 g/m², tkanina jutowa 410 g/m², tkanina węglowa 160 g/m².

* Dr inż. Patrycja Ewa Jagiełowicz – 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, <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, <https://orcid.org/0009-0009-8173-8018> – ARTidote Design Studio, Mielec, Polska

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

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

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

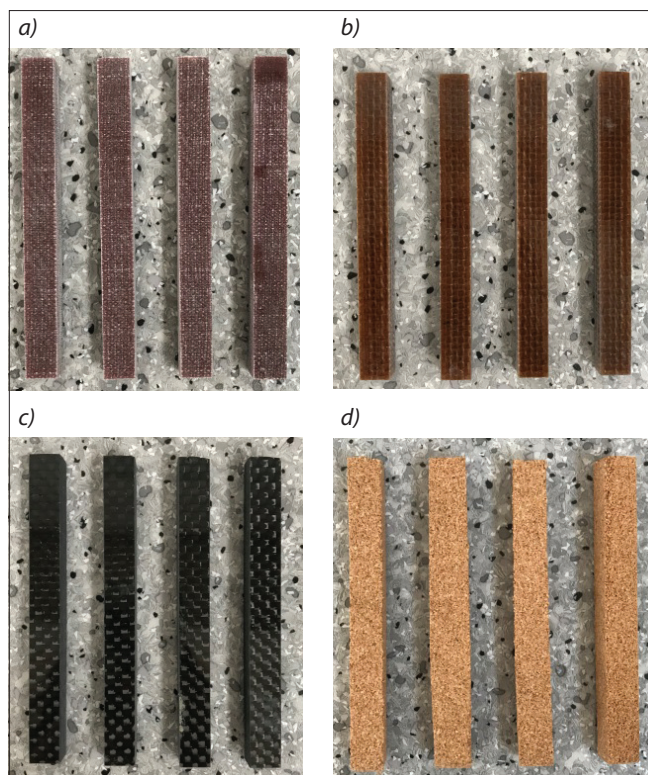


Fig. 1. Test samples: a) linen composite, b) jute composite, c) carbon composite, d) cork granulated in a block

Rys. 1. Próbkę do badań: a) kompozyt lniany, b) kompozyt jutowy, c) kompozyt węglowy, d) korek granulowany w bryle

Laminaty do próbek do testów palności wykonano metodą infuzji próżniowej. Osnową kompozytu była żywica epoksydowa, a zbrojeniem były włókna lnu, juty oraz węglowe. Z arkuszy wycinano mniejsze formatki w technologii Waterjet (rys. 2).

Następnym etapem było sklejanie warstw – w przypadku kompozytu lnianego liczba laminatów wynosiła 18, dla kompozytu jutowego 12, a dla kompozytu węglowego 50. Warstwy próbek sklejono żywicą epoksydową z wykorzystaniem metody worka próżniowego (rys. 3). Zapewnia ona odpowiednią kompresję klejonego pakietu, odprowadzenie nadmiaru żywicy oraz minimalizację pęcherzy powietrza między warstwami.

Tak przygotowane arkusze zamontowano na maszynie do cięcia strumieniem wodno-ściernym i wycinano ostateczny kształt próbek (rys. 1).

Opisane etapy dotyczyły przygotowania próbek z kompozytu lnianego, kompozytu jutowego i kom-

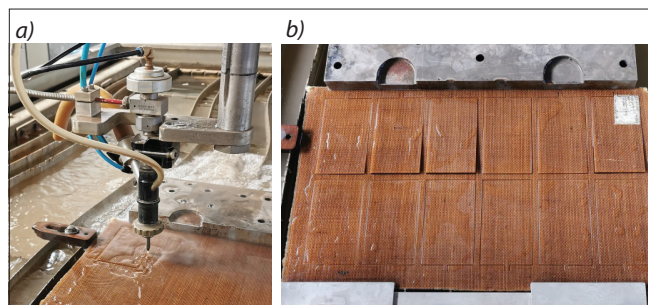


Fig. 2. The first stage of sample preparation on the example of a jute composite: a) cutting out pieces, b) completed cutting process

Rys. 2. Pierwszy etap przygotowywania próbek na przykładzie kompozytu jutowego: a) wycinanie formatek, b) zakończony proces cięcia



Fig. 3. Preparation of the laminates joining process
Rys. 3. Przygotowanie procesu sklejania laminatów

pozytu węglowego na osnowie z żywicy epoksydowej. Natomiast próbki z korka były wycinane metodą obróbki mechanicznej z płyty korkowej o grubości 10 mm. Sprawdzone także, czy powierzchnie próbek są czyste i nie mają rys lub zadziorów, ponieważ takie defekty mogłyby wpłynąć na przebieg procesu spalania.

Ocena palności metodą indeksu tlenowego

Metoda indeksu tlenowego polega na określeniu w mieszaninie składającej się z tlenu i azotu granicznego stężenia procentowego tlenu potrzebnego do podtrzymania palenia się kształtki. Jest to podstawowy parametr wyznaczający względną palność materiałów polimerowych, takich jak guma, materiały włókiennicze czy tworzywa sztuczne. Indeks tlenowy wylicza się z równania:

$$OI = \frac{O_2}{N_2 + O_2} \cdot 100\%$$

gdzie:

N_2 – objętościowy przepływ azotu przy stężeniu granicznym [m^3/h],

O_2 – objętościowy przepływ tlenu przy stężeniu granicznym [m^3/h].

Na podstawie wartości indeksu tlenowego określa się klasy palności materiałów [8]:

- wskaźnik tlenowy $OI < 21\%$ – tworzywa palne,
- wskaźnik tlenowy $21\% < OI < 28\%$ – tworzywa samogasnące,
- wskaźnik tlenowy $28\% < OI < 100\%$ – tworzywa niepalne.

Na podstawie innej klasyfikacji tworzywa dzieli się na dwie grupy:

- palne, gdy wskaźnik tlenowy $OI < 26\%$,
- trudno zapalne, gdy wskaźnik tlenowy $OI \geq 26\%$.



Fig. 4. Device for determination of oxygen index
Rys. 4. Aparat do wyznaczania indeksu tlenowego

Badania wykonano z użyciem aparatu do wyznaczania indeksu tlenowego LOI firmy Concept Equipment (rys. 4). Przeprowadzono je zgodnie z normą ASTM D 2826-06a, ISO 4589, część 2: 1996 (PN-EN ISO 4589-2:2006/A1:2006(U) Tworzywa sztuczne – Oznaczanie zapalności metodą wskaźnika tlenowego – Część 2: Badanie w temperaturze pokojowej).

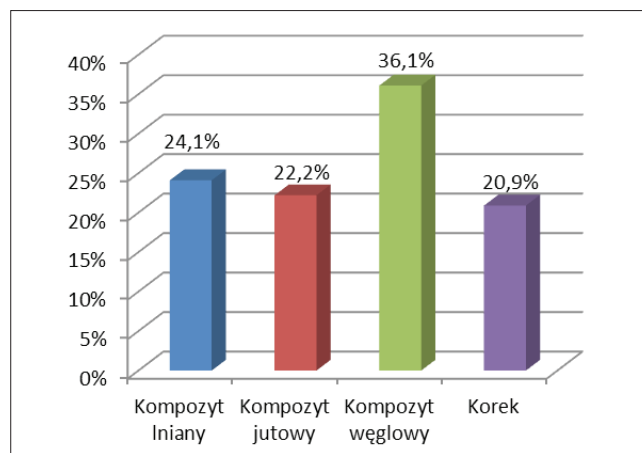


Fig. 5. Values of the oxygen index for the tested materials
Rys. 5. Wartości indeksu tlenowego dla badanych materiałów

Badanie palności próbek odbywało się w temperaturze pokojowej przy ciśnieniu atmosferycznym. Próbkę były ustawione w pozycji pionowej – metoda tzw. świecy – podpalone od góry za pomocą płomienia palnika. Płomień rozprzestrzeniał się z góry do dołu. Przy takim ustawieniu warunki spalania są najmniej korzystne. Spalanie nie jest zakłócone np. przez deformację próbki czy kapanie płonących kropeł. Można przyjąć, że ilość ciepła wydzielanego przez palącą się próbkę a ciepła oddawanego do otoczenia jest w równowadze. Szybkość przepływu gazów była stała i wynosiła 17 l/min. Wartość indeksu tlenowego została odczytana bezpośrednio z wyświetlacza aparatu.

Na podstawie badania określono wartość wskaźnika tlenowego, który dla kompozytu lnianego wyniósł $24,1 \pm 0,1\%$, jutowego $22,2 \pm 0,1\%$, węglowego $36,1 \pm 0,1\%$, a dla korka $20,9 \pm 0,1\%$ (rys. 5). Wykonano również dokumentację zdjęciową wybranych próbek (rys. 6).

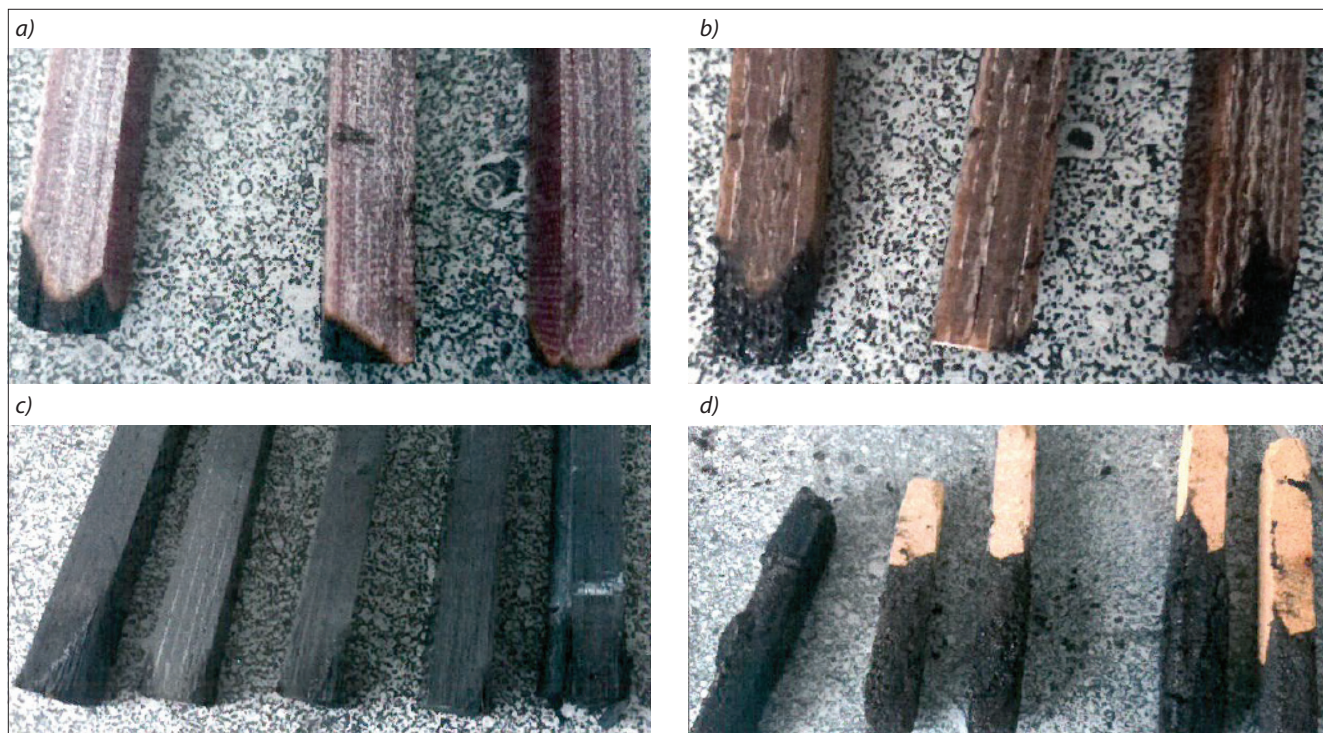


Fig. 6. Samples after the flammability test: a) linen composite, b) jute composite, c) carbon composite, d) cork
Rys. 6. Próbkę po przeprowadzeniu badania palności: a) kompozyt lniany, b) kompozyt jutowy, c) kompozyt węglowy, d) korek

Badane materiały można definiować ze względu na palność na podstawie dwóch klasyfikacji. Jedną dzieli materiały na palne i trudnopalne. Zgodnie z tym podziałem kompozyt lniany, jutowy oraz korek należy zaklasyfikować jako materiały palne. Dla nich indeks tlenowy wyniósł $OI < 26\%$. W przypadku kompozytu węglowego wartość indeksu tlenowego wyniosła $36,1\%$, co klasyfikuje go – zgodnie z przedziałem $OI \geq 26\%$ – w grupie materiałów trudnopalnych. Według drugiego podziału, który przyporządkowuje materiały pod względem palności do trzech grup: palne, samogasnące i niepalne, kompozyt lniany i jutowy można sklasyfikować jako materiał samogasnący, kompozyt węglowy jako niepalny, natomiast korek – jako materiał palny.

Wnioski

Wyznaczenie wartości indeksu tlenowego, choć nie stanowi wyznacznika przy określaniu zagrożenia pożarowego, jakie mogą stwarzać badane materiały, jest pomocne we wstępnej ocenie ich zapalności. Jest to podstawowy parametr określający względną palność materiałów, takich jak tworzywa sztuczne, guma czy materiały włókiennicze. Oprócz korka, który okazał się materiałem palnym, inne badane materiały znalazły się w grupie materiałów samogasnących – kompozyt jutowy i lniany, lub niepalnych – kompozyt zbrojony włóknem węglowym.

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] Pielichowski J., Muszyński A. „Technologia tworzyw sztucznych”. Warszawa: WNT (2003).
- [2] Iwko J. „Bezpieczeństwo użytkowania tworzyw sztucznych w aspekcie ich palności”. *Mechanik*. 10 (2007): 840–843.
- [3] Jurkowski B., Rydarowski H. „Materiały polimerowe o obniżonej palności”. Radom: Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji Państwowego Instytutu Badawczego (2012).
- [4] Iwko J. „Zachowanie się tworzyw sztucznych w warunkach pożarowych. Część II – pomiary palności oraz metody uniepalniania tworzyw sztucznych”. *Tworzywa sztuczne i chemia*. 6 (2009): 24–29.
- [5] Jurkowska B., Rydarowski H., Jurkowski B. „Niektóre aspekty badań palności kompozytów polimerowych”. *Czasopismo Techniczne Mechanika*. 1-M (2009): 145–152.
- [6] Jankowska G., Przygocki W., Włochowicz A. „Palność polimerów i materiałów polimerowych”. Warszawa: WNT (2007).
- [7] Projekt: Rozwój działalności B+R firmy BASARA poprzez opracowanie nowego innowacyjnego produktu. Umowa nr RPPK.01.02.00-18-0028/19-00. Projekt współfinansowany z środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.
- [8] Półka M. „Badanie palności metodą wskaźnika tlenowego”. Warszawa: SGSP (1996). ■