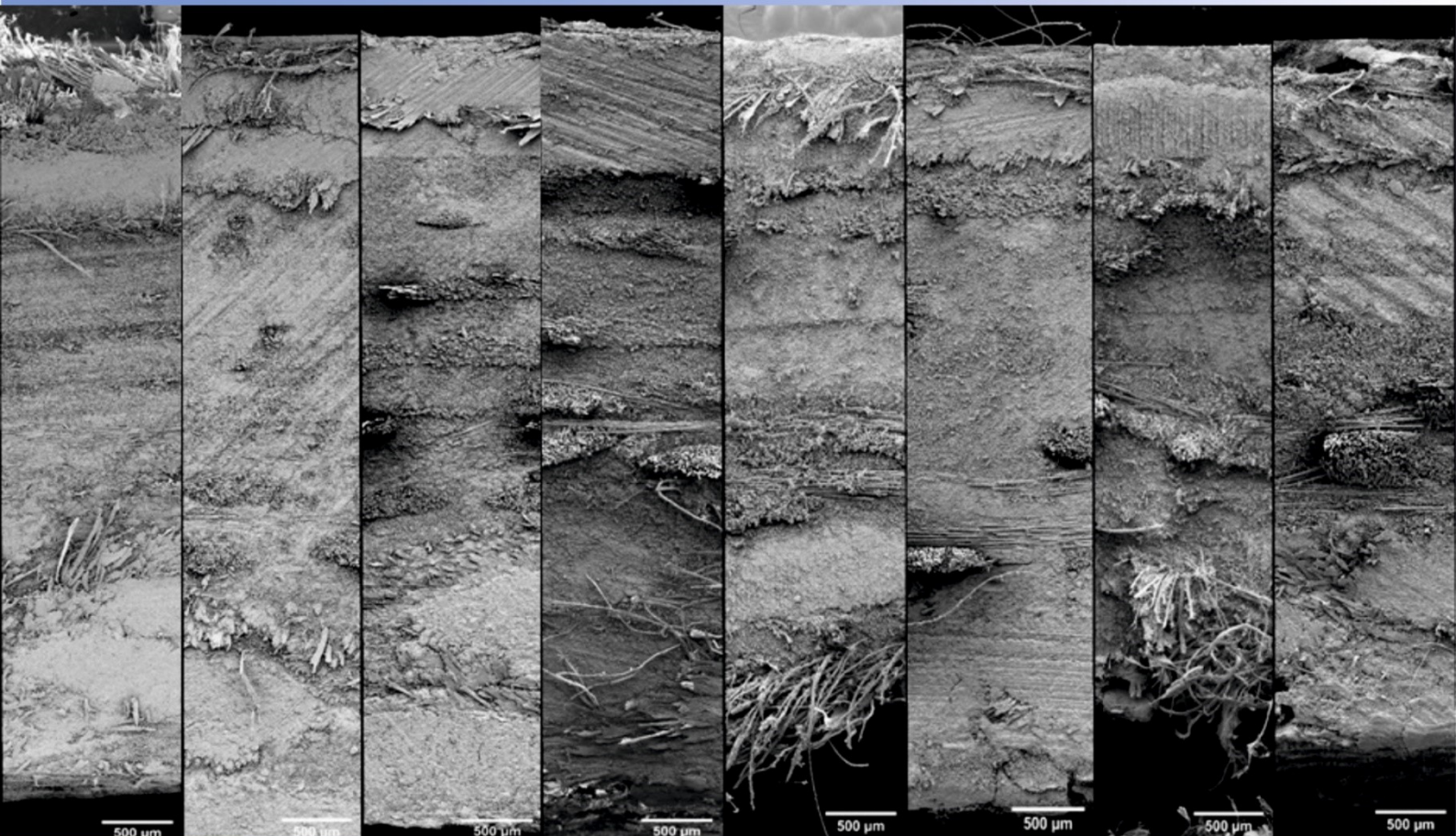


Kamila Mizera
Kamila Sałasińska
Monika Borucka
Jan Przybysz
Agnieszka Gajek



Kompozyty hybrydowe o zredukowanej palności i emisji dymów

Materiały informacyjne

Opracowano na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Projekt nr III.PB.03 pt. *Opracowanie kompozytów hybrydowych modyfikowanych napelniającami nieorganicznymi i roślinnymi o obniżonej palności i emisji dymu oraz wysokiej odporności na akty wandalizmu do zastosowań w pojazdach transportu publicznego*

Koordinator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Autorzy: dr inż. Kamila Mizera, dr Kamila Sałasińska, dr inż. Monika Borucka, mgr inż. Jan Przybysz, dr Agnieszka Gajek

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

© Copyright by Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa 2022

CIOP  **PIB**

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa
tel. (48-22) 623 36 98, www.ciop.pl

Wstęp

Seria katastrof kolejowych skłania technologów oraz konstruktorów taboru szynowego do poszukiwania nowych rozwiązań zwiększających bezpieczeństwo w ruchu kolejowym. Oprócz wypadków komunikacyjnych realnym zagrożeniem dla użytkowników pojazdów szynowych jest pożar. Służby ratownicze zgodnie twierdzą, że pożar pojazdu komunikacji zbiorowej jest zjawiskiem niezwykle groźnym zarówno dla pasażerów, jak i członków obsługi pojazdów [1].

Polimerowy kompozyt hybrydowy to materiał o osnowie z tworzywa, w którym połączono różnego rodzaju zbrojenie. Zabieg ten stosuje się m.in. w celu otrzymania kompozytu o doskonałych właściwościach mechanicznych przy jednoczesnym obniżeniu ceny produktu poprzez zastąpienie części droższych włókien ich tańszymi odpowiednikami (np. zastąpienie włókien węglowych włóknami szklanymi). Kompozytem hybrydowym jest kompozyt, w którym kolejne warstwy stanowią różnego rodzaju tkaniny, jak również kompozyt wykonany z tkaniny hybrydowej o wątku wykonanym z różnego typu włókien. Jako zbrojenie tego rodzaju materiałów stosuje się głównie włókna szklane, węglowe, aramidowe, termoplastyczne (polietylen, polipropylen), bazaltowe i naturalne (len, konopie, szał). Połączenie to daje możliwość wykorzystania zalet poszczególnych włókien oraz uzyskanie materiału o większej sztywności i energii pęknięcia (tzw. wiązkowości). Właściwie opracowany i wykonany kompozyt hybrydowy posiada zalety poszczególnych komponentów rekompensując jednocześnie wady pozostałych [2]. Interesującym kierunkiem w obszarze wytwarzania kompozytów hybrydowych jest połączenie różnego typu włókien ciągłych i napełniaczy proszkowych.

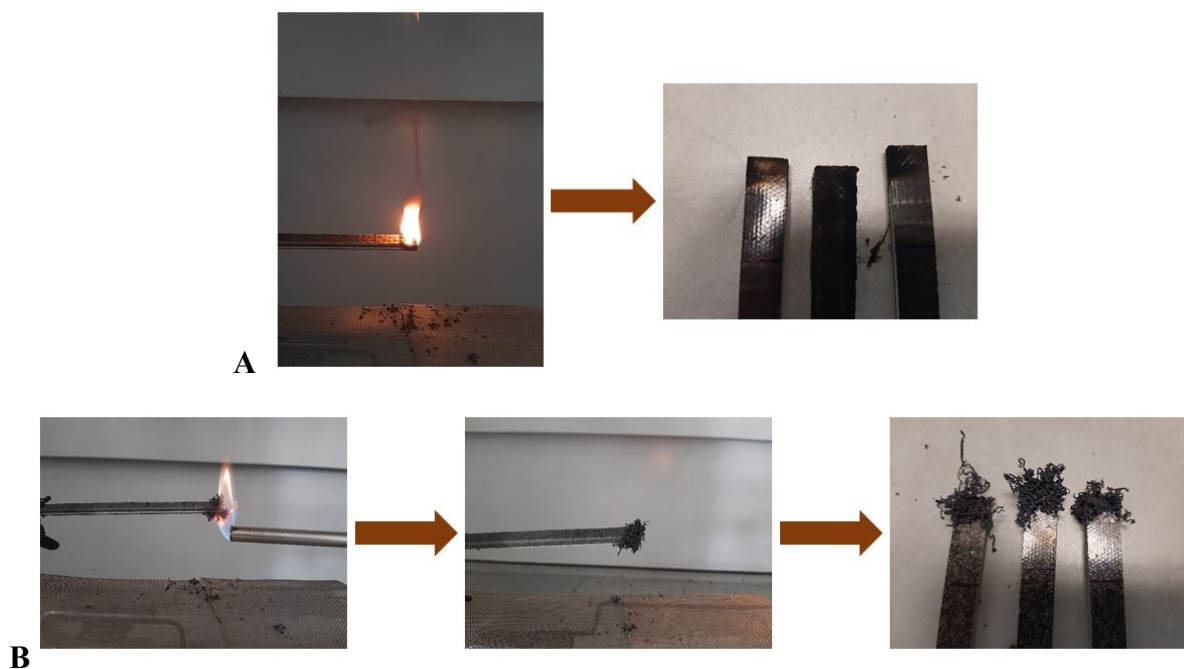
Kompozyty hybrydowe o osnowie z polimerów chemoutwardzalnych zbrojonych włóknami długimi należą do jednych z najbardziej zaawansowanych spośród powszechnie stosowanych materiałów inżynierskich. Coraz częstsze zastępowanie konwencjonalnych materiałów za pomocą kompozytów wynika z prostoty i niewielkiej energochłonności ich wytwarzania, jak również dobrych właściwości mechanicznych oraz niskiej gęstości [3].

W przypadku kompozytów zbrojonych włóknem przeznaczonych do wytwarzania konstrukcji o dużej wytrzymałości, z punktu widzenia zastosowań przemysłowych, nie mniej ważnym kryterium niż sama wytrzymałość jest odporność termomechaniczna i ognioodporność materiału [4]. Wprowadzenie do polimeru termostabilnych wypełniaczy powoduje częściowe obniżenie kaloryczności materiału kompozytowego dzięki częściowemu zastąpieniu wysoce palnego polimeru. Jednak zastosowanie długich włókien nieorganicznych

(bazaltowych i szklanych) lub węglowych nie prowadzi do uzyskania materiałów ognioodpornych [5]. Dodatkowo w przypadku rozkładu kompozytów modyfikowanych włóknami syntetycznymi (aramidowymi) lub naturalnymi (lnianymi) emitowana jest znacznie większa ilość dymu [6]. Należy jednak wspomnieć, że pomimo organicznego pochodzenia włókien aramidowych, ich wprowadzenie do osnowy epoksydowej pozwala uzyskać niższą palność niż w przypadku kompozytów zbrojonych włóknami szklanymi czy grafitowymi.

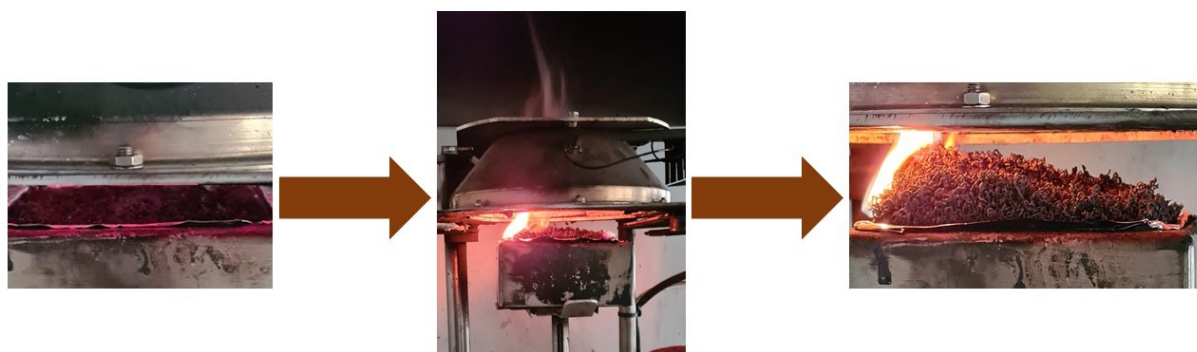
W CIOP-PIB prowadzono projekt III.PB.03, którego celem było opracowanie i wytworzenie nowych hybrydowych kompozytów polimerowych o zredukowanej palności i emisji dymu, a także o wysokiej odporności na akty wandalizmu, zwiększających bezpieczeństwo pasażerów i obsługi pojazdów oraz czas użytkowania środków komunikacji zbiorowej.

Zwiększenie odporności tworzyw sztucznych na działanie wysokiej temperatury i ognia uzyskuje się zazwyczaj poprzez wprowadzenie środków zmniejszających palność (antypirenów), zadaniem których jest zmniejszenie ryzyka wystąpienia pożaru i rozprzestrzeniania się ognia. Ich stosowanie może wydłużyć czas przeżycia ofiar i zwiększyć szanse na przeprowadzenie skutecznej akcji ewakuacyjnej. Mianem substancji uniepalniających znanych pod nazwą intumescent (IFR) określa się zespół dodatków, które w wyniku dostarczenia wymaganej ilości ciepła przyczyniają się do formowania na powierzchni materiału je zawierającego sztywnej warstwy o budowie komórkowej chroniącej go przed ogrzewaniem jego głębszych warstw i zapobiegającej wymianie materii pomiędzy ośrodkami. Dodatkowymi zaletami stosowania IFR jest brak kapania podczas spalania (niemodyfikowane tworzywa sztuczne) oraz niższe zadymienie (rys. 1b) i toksyczność produktów spalania [7].



Rys. 1. Przykłady zachowania się materiałów polimerowych podczas badania zagrożenia ogniowego: próbka opracowanego kompozytu bez dodatku układu uniepalniającego (A), próbka opracowanego kompozytu z dodatkiem układu uniepalniającego (B) (fot. własna CIOP-PIB)

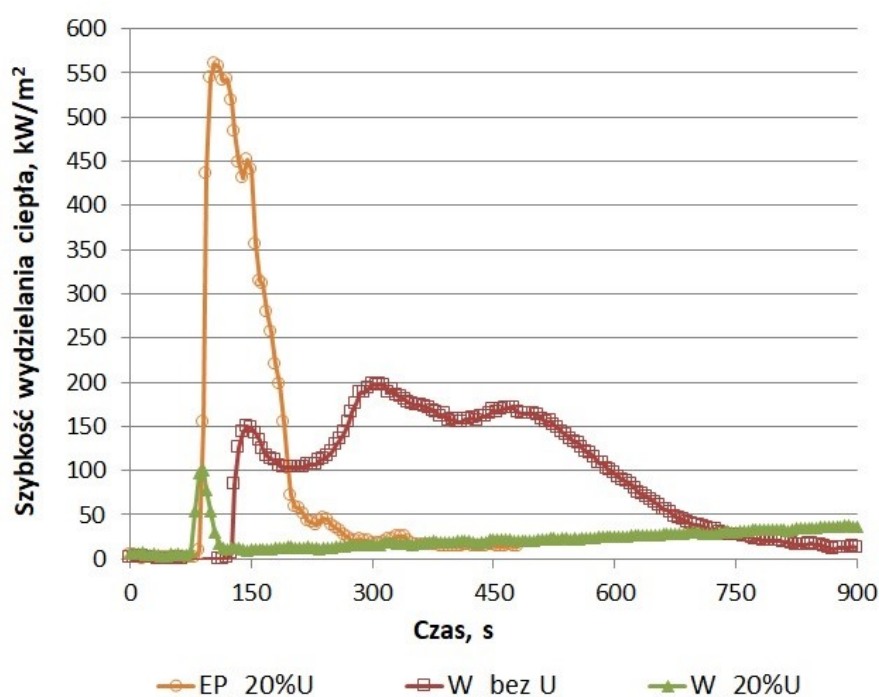
Mechanizm działania uniepalniaczy IFR polega na powstaniu zwęglonej warstwy, która działa jako fizyczna bariera dla transferu ciepła między fazą gazową i skondensowaną. Tworzenie działającej efektywnie warstwy zwęglenia o budowie komórkowej następuje poprzez pęcznienie półpłynnej fazy, będące efektem uwalniania niepalnych gazów (rys. 2).



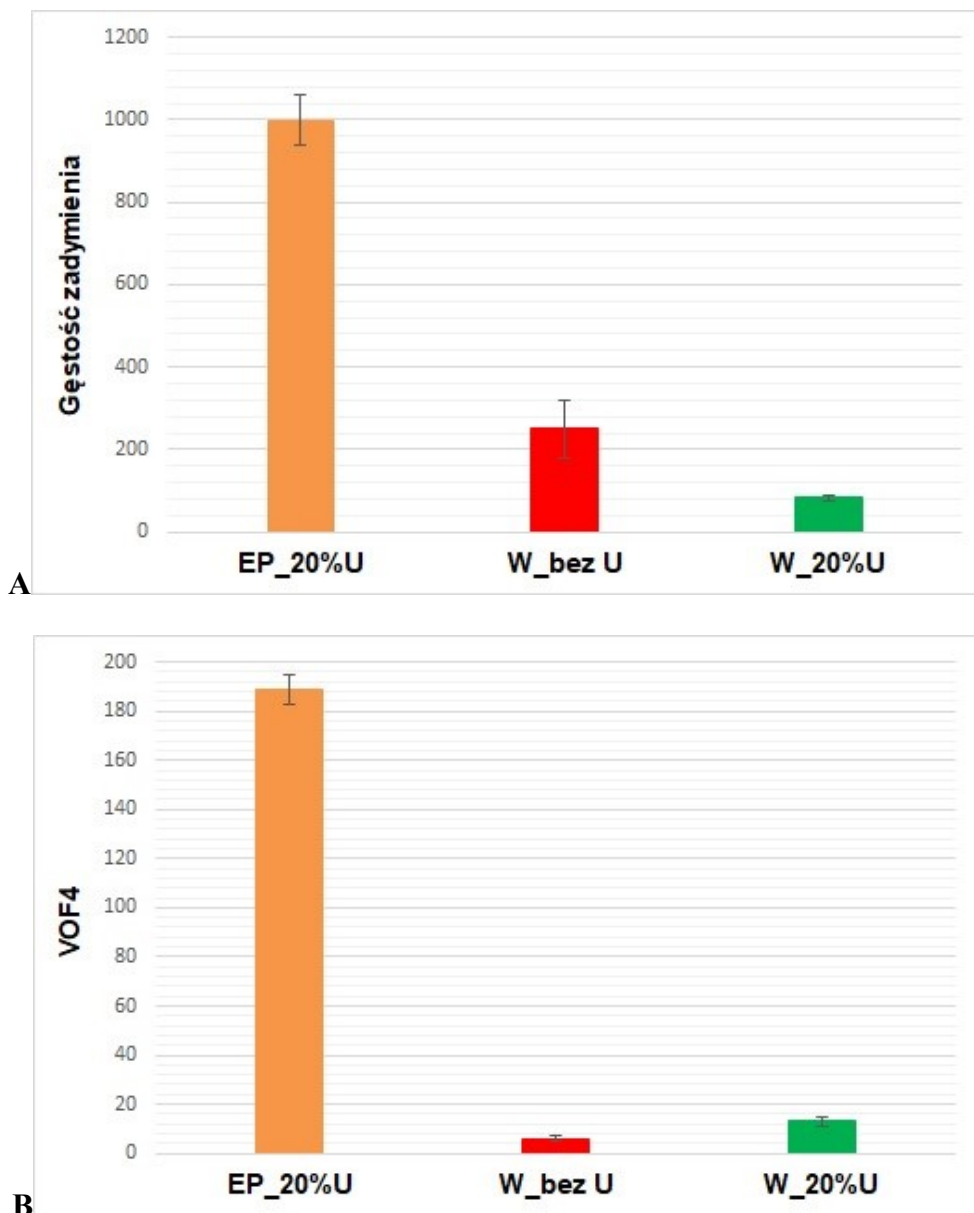
Rys. 2. Przebieg badania przeprowadzonego z wykorzystaniem kalorymetru stożkowego dla próbki opracowanego kompozytu hybrydowego zawierającego układ uniepalniający (fot. własna CIOP-PIB)

Budowa struktury spęczniałej zwęgliny jest warunkowana składem chemicznym i dynamiką jej tworzenia (kinetyka procesu pęcznienia). Połączenie tego mechanizmu

z właściwościami poszczególnych tkanin spowodowało znaczne obniżenie szybkości wydzielania ciepła (rys. 3), który jest kluczowym parametrem w przypadku oceny zagrożenia pożarowego stwarzanego przez materiały. Kompozyty hybrydowe charakteryzowały się znacznie niższą maksymalną gęstością optyczną dymu (Ds), jak i emisją dymu w ciągu pierwszych 4 minut trwania testu (VOF4) (rys. 4a i b). Zastosowanie układu uniepalniającego dodatkowo sprzyjało tworzeniu się warstwy zwęglonej, która o połowę zmniejszyła gęstość wydzielanych dymów (rys. 4a). Obecność dodatkowego składnika może wpływać na proces tworzenia zwęgliny i jej właściwości (reaktywność ze składnikami układu pęczniącego, ekspansja, wytrzymałość zwęgliny). Niewielki wzrost parametru VOF4 jest efektem zastosowania układu uniepalniającego w postaci napełniacza proszkowego.



Rys. 3. Przykładowe krzywe szybkości wydzielania ciepła uzyskane podczas badania przeprowadzonego z wykorzystaniem kalorymetru stożkowego dla próbki żywicy epoksydowej z układem uniepalniającym (EP_20%U), dla próbki opracowanego kompozytu hybrydowego bez układu uniepalniającego (W_bez U) oraz dla próbki opracowanego kompozytu hybrydowego z układem uniepalniającym (W_20%U)



Rys. 4. Wyniki wykonane podczas badania z wykorzystaniem komory dymotwórczej dla próbki żywicy epoksydowej z układem uniepalniającym (EP_20%U), dla próbki opracowanego kompozytu hybrydowego bez układu uniepalniającego (W_bez U) oraz dla próbki opracowanego kompozytu hybrydowego z układem uniepalniającym (W_20%U)

Podsumowanie

Biorąc pod uwagę uzyskane wyniki stwierdzono, że już samo zastosowanie odpowiednio dobranych tkanin i ich właściwej kolejności podczas produkcji kompozytów hybrydowych, prowadzi do zredukowania jego palności. Dodanie do niego układu uniepalniającego powoduje zredukowanie palności do minimum. Tak przygotowany materiał podczas pożaru zmniejsza gęstość wydzielanego dymu poprzez powstanie zwęglenia, które stanowi barierę dla dostania się ciepła do głębszych warstw materiału.

Bibliografia

- [1] J. Rybiński D., Baranowski A., Szajewska M., Bednarek G., Kotulek B., Ościłowska E., Starzyński.: *Autobusy*, 2017.
- [2] Boczkowska A., Krzesiński G.: *Kompozyty i techniki ich wytwarzania*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2016.
- [3] Królikowski W.: *Konstrukcyjne Polimerowe Kompozyty*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2019.
- [4] Barczewski M., Mysiukiewicz O., Matykiewicz D., Skórczewska K., Lewandowski K., Andrzejewski J., Piasecki A., Development of polylactide composites with improved thermomechanical properties by simultaneous use of basalt powder and a nucleating agent. *Polym. Compos.* 2020, 41, 2947–2957.
- [5] Bakhtiyari S., Taghi Akbari L., Jamali Ashtiani M., An investigation on fire hazard and smoke toxicity of epoxy FRP composites. *Int. J. Disaster Resil. Built Environ.* 2017, 8, 230–237.
- [6] Saba N., Jawaid M., Paridah MT., Al-othman OY.: A review on flammability of epoxy polymer, cellulosic and non-cellulosic fiber reinforced epoxy composites. *Polym. Adv. Technol.* 2016, 27, 577–590.
- [7] Wang Y., Zhang S., Wu X., Lu Ch., Cai Y., Ma L., Shi G., Yang L., Effect of montmorillonite on the flame-resistant and mechanical properties of intumescent flame-retardant poly(butylene succinate) composites, *J Therm Analys Calorim.* 2017, 128, 1417–1427.