

prof. dr hab. inż. Zoja Bednarek*
dr inż. Tomasz Drzymala*

Problemy związane z zabezpieczeniem ogniochronnym konstrukcji tuneli komunikacyjnych w Polsce

Problems associated with fire protections of road tunnels structures in Poland

Wszyscy biorący udział w procesie projektowania, realizacji, organizacji i zarządzania tunelami (szczególnie dotyczy to szeroko rozumianej ochrony przeciwpożarowej) wskazują na brak w Polsce doświadczenia w przypadku takich obiektów, niejasne przepisy i wymagania ograniczające stosowanie rozwiązań europejskich. Zwracają również uwagę na niewielką liczbę opracowań naukowych wspomagających projektowanie i realizację tuneli. Szczególne problemy budzi wymaganie ujęte w polskich przepisach [1] odnoszące się do spełnienia przez konstrukcję odporności ogniowej nie niższej niż R 240 (np. w Austrii wymagane jest R 180). Z informacji uzyskanych od jednego z holenderskich instytutów badawczych wynika, że przy najgorszym scenariuszu pożarowym zakłada się nagrzewanie konstrukcji wg krzywej RWS do 120 min. Niemniej z uwagi na sugestie krajów alpejskich, takich jak Szwajcaria czy Austria, gdzie mamy do czynienia z bardzo długimi tunelami góorskimi, prowadzone są również badania wg krzywej RWS maksymalnie do 180 min.

W Polsce próbując sprostać wymaganiom R 240, w tunelach stosuje się:

- prefabrykowane tubingi żelbetowe z dodatkiem włókien polipropylenowych PP (w niektórych obiektach dodatkowo zastosowano obudowę ogniochronną z płyt grubości 30 mm, zabezpieczających konstrukcję tunelu na kolejne 90 min);
- obudowę ogniochronną z płyt silikowo-cementowych grubości 25 mm w przypadku sufitu i 20 mm – ścian;
- warstwy natryskowe: tj. fibrobeton z włóknami PP, zabezpieczenia ogniochronne w postaci torkretu polimerobetonem na siatce z prętów stalowych oraz rozwiązania ogniochronne, w których

do zabezpieczenia stropu używa się lekkiego systemu natryskowego.

Większość z przyjętych i stosowanych w Polsce rozwiązań nie ma badań ogniowych na 240 min ani certyfikatów polskich czy europejskich na tak długi pożar. Wymagana więc odporność ogniowa R 240 pozostaje raczej w sferze życzeń niż realiów.

Należy odnotować, że w przypadku ochrony konstrukcji przed niebezpiecznym zjawiskiem termicznego odpryskiwania betonu (co ma duże prawdopodobieństwo występowania w czasie pożaru w tunelach przy znacznej wilgotności betonu) powstaje wiele nieporozumień. **Dodatek w postaci włókien polipropylenowych do mieszanki betonowej stosuje się przede wszystkim w celu przeciwdziałania i ograniczenia niekorzystnego zjawiska termicznego odpryskiwania. Dodatek ten nie zwiększa odporności ogniowej konstrukcji żelbetowej, co niekiedy jest błędnie interpretowane przez wykonawców.**

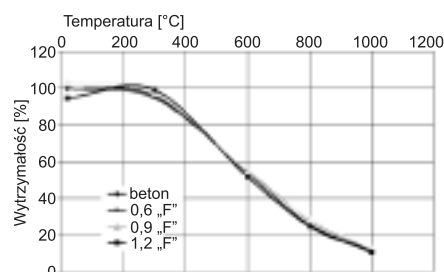
W naszych opracowaniach [2, 3] niejednokrotnie stwierdziliśmy, że dodatek włókien PP do betonu nie zwiększa odporności ogniowej konstrukcji żelbetowej tuneli.

Rola włókien polipropylenowych w ograniczaniu termicznego odpryskiwania betonu

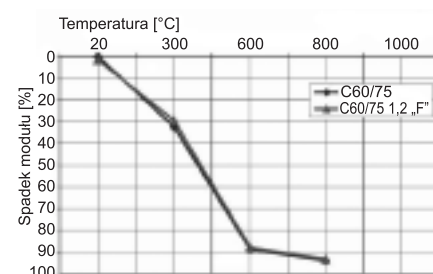
Zrozumienie fizyki procesów cieplno-wilgotnościowych i termochemicznych oraz degradacji podczas nagrzewania się konstrukcji betonowych w warunkach pożarowych może być przydatne przy wyborze odpowiedniej ochrony przed termicznym odpryskiwaniem [4 – 6].

Jak wynika z przeprowadzonych badań [7, 8], dodatek włókien PP do betonu w ilości do 2 kg/m³ (w naszych badaniach było to 1,2 oraz 1,8 kg/m³) nie pogarsza w istotny sposób właściwości wytrzymałościowych betonu, szczególnie w wysokiej temperaturze pożaru (rysunki 1 i 2) oraz nie zmniejsza odporności ogniowej kon-

strukcji betonowych, przeciwdziałając odpryskiwaniu warstw betonu. Dodatek PP niewątpliwie przeciwdziała utracie odporności ogniowej konstrukcji w krótkim czasie po rozpoczęciu pożaru.



Rys. 1. Wytrzymałość na ściskanie betonu klasy C60/75 z włóknami „F” w porównaniu z wytrzymałością betonu bez włókien [źródło: opracowanie własne]



Rys. 2. Spadek modułu sprężystości betonu i fibrobetonu klasy C60/75 z dodatkami włókien „F” w temperaturze pożarowej [źródło: opracowanie własne]

Fibrobeton po lokalnym pożarze – uwagi praktyczne

Specjaliści z zakresu ochrony przeciwpożarowej zgłaszają, że w przypadku nawet niewielkich lokalnych pożarów (np. zapalenie się w tunelu jednego samochodu), następuje miejscowe wytopienie się włókien PP w konstrukcji betonowej tunelu. Jak to wpłynie na dalszą pracę konstrukcji? Pojawia się również problem dotyczący możliwych sposobów naprawy takich lokalnych uszkodzeń.

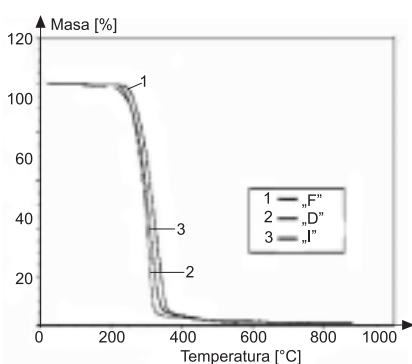
Odpowiadając na pytanie, należy podkreślić, że odporność na eksplozyjne od-

* Szkoła Główna Służby Pożarniczej

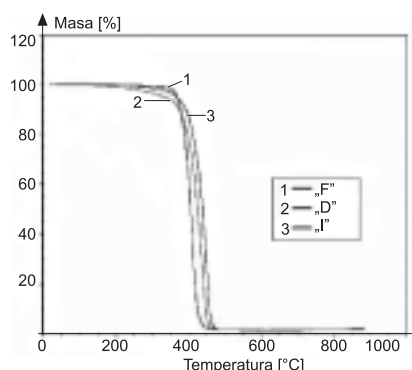
pryskiwanie betonu jest spowodowana nieobecnością w betonie włókien PP, lecz wytopieniem się tych włókien w czasie pożaru (zwiększa to przepuszczalność betonu i ułatwia odprowadzenie pary pod ciśnieniem). Polipropylen (PP) należy do tworzyw termoplastycznych, a to oznacza, że pod wpływem podwyższonej temperatury mięknie i topi się, po przekroczeniu temperatury początku rozkładu termicznego ulega destrukcji, której towarzyszy powstawanie niewielkiej ilości monomeru i oligomerów.

Rolę włókien użytych jako dodatek do mieszanki betonowej tłumaczy się w następujący sposób. W temperaturze ok. 160 °C zaczynają one mięknać, a powyżej tej temperatury topić się, co prowadzi do redukcji ich objętości. W temperaturze 360 °C włókna ulegają degradacji, a powstające po nich pustki tworzą w betonie kanaliki, zwiększając jego porowatość i przepuszczalność, co umożliwia odpływ nadmiaru pary wodnej i tym samym obniża ciśnienie w porach betonu. Podane wielkości temperatury uzyskano w badaniach tworzywa PP. Konstrukcje żelbetowe tuneli ulegają nierównomiernemu ogrzewaniu na powierzchni konstrukcji, jak również na różnej głębokości.

Na podstawie wykonanych badań [8] ustalono, że duży wpływ na otrzymane wyniki w analizie termogravimetrycznej TG oraz różnicowej termogravimetrii DTG (krzywa DTG jest pierwszą pochodną krzywej TG) ma skład atmosfery, w której następuje rozkład termiczny próbek. Wpływa ona na temperaturę początku rozkładu, temperaturę częściowego ubytku masy, temperaturę końca rozkładu oraz masę pozostałości nieulegającej rozkładowi i pozostałej w betonie (rysunki 3 i 4). Różnica w temperaturze początku rozkładu termicznego dla poszczególnych włókien, w zależności od atmosfery, w jakiej były prowadzone badania, wynosiła 106 ÷ 147 °C. Różnica w wartościach temperatury końca rozkładu termicznego (w zależności od rodzaju włókien) w przypadku atmosfery azotu była wyższa o 70 ÷ 128 °C w porównaniu z atmosferą powietrza. Masa włókien nieulegająca rozkładowi w atmosferze azotu była 2,3 ÷ 3,0 razy większa w porównaniu z atmosferą powietrza. Oznacza to, że badane włókna w atmosferze nieutleniającej trudniej wytwarzają produkty pirolizy i w konsekwencji również palną fazę gazową. Wyniki tych badań pozwalają przypuszczać, że włókna PP w masie



Rys. 3. Porównanie przebiegu krzywych TG dla włókien badanych w powietrzu



Rys. 4. Porównanie przebiegu krzywych TG dla włókien badanych w azocie

betonu w warunkach braku dostępu wystarczającej ilości tlenu będą znacznie wolniej ulegać destrukcji. Zatem częściowe wytopienie lub nawet pełna destrukcja części włókien PP we fragmencie konstrukcji betonowej na skutek lokalnego pożaru nie wpłynie negatywnie na zabezpieczenie konstrukcji za pomocą dodatku włókien PP do betonu przed eksplozywnym odpryskiwaniem. Jeżeli powierzchnia betonu w czasie pożaru lokalnego została uszkodzona, należy ją odpowiednio naprawić.

Wnioski

Dodatek do betonu włókien PP w ilości do 2 kg/m³ chroni konstrukcję żelbetową w czasie pożaru przed odpryskiwaniem betonu, natomiast nie wpływa na odporność ogniową konstrukcji żelbetowej. Należy też podkreślić, że częściowe wytopienie się włókien PP przy lokalnych pożarach nie pogarsza istniejącego zabezpieczenia na eksplozyjne odpryskiwanie betonu.

Streszczenie

W artykule przedstawiono problemy występujące w czasie projektowania i realizacji zabezpieczeń przeciwpożarowych konstrukcji tuneli komunikacyjnych. Autorzy omawiają również wyniki badań własnych dotyczące zabezpieczenia konstrukcji żelbetowych przed eks-

plozywnym odpryskiwaniem betonu w czasie pożaru. Przytaczają wiele praktycznych zaleceń. Zwracają również uwagę na potrzebę rozszerzenia badań dotyczących ochrony przeciwpożarowej tuneli i opracowania krajowych jednolitych przepisów w związku z budową w Polsce wielu tuneli.

Abstract

In this paper problems occurring during the design and implementation of fire protection of road tunnels structures are presented. Authors discuss results of their own studies of fire protections of reinforced concrete structures against thermal spalling during the fire. Several practical recommendations are given. The attention is also paid to the need to extend studies on road tunnels fire protections and necessity to develop uniform rules, which is especially crucial in the context of large number of new road tunnel constructions in Poland.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z 16 maja 2012 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie (Dz.U. z 2012 r., poz. 608).
- [2] Bednarek Z., Drzymała T.: *Analiza wpływu wysokiej temperatury na zmianę wybranych parametrów wytrzymałościowych fibrobetonu z dodatkiem włókien polipropylenowych* VII Międzynarodowa Konferencja „Bezpieczeństwo Pożarowe Obiektów Budowlanych”, Warszawa 6 – 8 listopada 2012 r.
- [3] Bednarek Z., Drzymała T.: *Analiza wyników badań modułu sprężystości fibrobetonu z dodatkiem włókien polipropylenowych w warunkach termicznych pożaru*, Zeszyty Naukowe SGSP nr 44, Warszawa 2012, str. 41 – 54, ISSN 0239-5223.
- [4] Diederichs U., Schneider U.: *High temperature properties and spalling behaviour of high strength concrete*. Proceedings of Fourth Weimar Workshop on High Performance Concrete, HAB Weimar. Germany, str. 219 – 235.
- [5] Gawin D., Pasavento F., Majorana C.E., Schrefler B. A.: *Modelling of degradation process of concrete structures at high temperature with application to tunnel fires*. XXI Konferencja Naukowo-Techniczna „Awaryje Budowlane”, Szczecin – Międzyzdroje 20 – 23 maja 2003.
- [6] Hertz K.: *Limits of Spalling of Fire Exposed Concrete*. Fire Safety Journal, vol. 38 (2003), str. 103 – 116.
- [7] Praca naukowo-badawcza: *Wpływ temperatur występujących podczas pożaru na wybrane parametry wytrzymałościowe fibrobetonu*. S/E 422/8/2007, I i II Etap, kierownik naukowy Bednarek Z., SGSP Warszawa 2008/2009.
- [8] Praca naukowo-badawcza: *Badanie wpływu temperatur występujących podczas pożaru na wytrzymałość fibrobetonu*. BW/E-422/8/2008, kierownik pracy Drzymała T., SGSP Warszawa 2008.