

## WPŁYW ODDZIAŁYWANIA WYSOKIEJ TEMPERATURY NA ZMIANĘ WYTRZYMAŁOŚCI NA ZGINANIE KOMPOZYTÓW CEMENTOWYCH Z DODATKIEM WŁÓKIEŃ POLIPROPYLENOWYCH

### Streszczenie

*Badania dotyczyły wpływu wysokiej temperatury na zmianę wytrzymałości na zginanie zapraw cementowych modyfikowanych za pomocą dodatku włókien polipropylenowych. Z analizy dostępnej literatury wynika, że jednej z podstawowych przyczyn termicznego odpryskiwania betonu (spallingu) upatruje się w wysokich naprężeniach rozciągających. Wyniki wielu prób dowodzą, że dodatek włókien polipropylenowych może mieć pozytywny wpływ na zachowanie się konstrukcji betonowych w wysokich temperaturach i przyczynić się do ograniczenia zjawiska „spallingu”. Obecne w kompozycji włókna polipropylenowe mogą mieć również pozytywny wpływ na zwiększenie wytrzymałości na rozciąganie. W artykule omówiono cel i zakres badań, metody badawcze, plan eksperymentu, stanowiska badawcze oraz zamieszczono wyniki badań. W części końcowej artykułu sformułowano wnioski z przeprowadzonych badań.*

### WSTĘP

Oddziaływanie wysokiej temperatury powoduje, że w betonie rozpoczynają się destrukcyjne procesy fizykochemiczne. Zachodzą one w poszczególnych składnikach betonu [14, 15]. Procesy te mają istotny wpływ na zachowanie się i nośność konstrukcji betonowych podczas pożaru [7]. Do najważniejszych należą [9, 17]: chemiczne reakcje rozkładu, przemiany fazowe i zmiany objętościowe. Ze wzrostem temperatury i jej dłuższego działania obniża się wartość użytkowa betonu i w granicznym przypadku może dojść do awarii obiektu.

Zjawisko termicznego eksplozywnego odpryskiwania betonu (ang. thermal spalling) w największym stopniu dotyczy betonów, w których wskaźnik wodno-cementowy (w/c) jest niski, wytrzymałość na ścislenie jest duża, a matryca cementowa jest zwarta, jak w przypadku betonów wysokowartościowych HSC (high-strength concrete) [10]. Zjawisko „spallingu” stwarza duże zagrożenie dla ratowników i obniża wytrzymałość konstrukcji poprzez odsłanianie bardzo wrażliwych na temperaturę prętów zbrojeniowych, co w efekcie może prowadzić do zniszczenia konstrukcji.

Obecnie istnieją dwie główne teorie mówiące o mechanizmie powstawania spallingu [7,16]. W myśl pierwszej z nich (uznawanej głównie przez naukowców europejskich), podstawową jego przyczyną, jest wysokie ciśnienie gazu powstałe w wyniku odparowywania wilgoci w przypowierzchniowej warstwie konstrukcji działające łącznie ze spadkiem wytrzymałości betonu, co powoduje „złuszczenie się” kolejnych warstw materiału, które czasem ma charakter eksplozywny. Druga teoria (rozwijana głównie przez naukowców amerykańskich), podstawowej przyczyny „spallingu” upatruje w wysokich naprężeniach rozciągających, które mogą przekroczyć wytrzymałość na rozciąganie betonu, obniżoną wskutek wysokiej temperatury. W efekcie nagromadzona energia potencjalna odkształcenia może zostać uwolniona, często w gwałtowny sposób, gdy przekroczy ona wartość pęknięcia materiału [1].

Mechanizm działania włókien polipropylenowych (PP) w fibrobetonie podczas pożaru zakłada, że w podwyższonej temperaturze (powyżej 160°C) włókna PP miękną, a następnie topią się, co prowadzi do zmniejszenia objętości poszczególnych włókien. Powstałe pustki po włóknach formują kanaliki, którymi wydostaje się pod wysokim ci-

śnieniem para wodna. Dzięki temu naprężenia wewnętrzne nie osiągną punktu krytycznego i nie następuje eksplozywno odpryskiwanie betonu [12,13].

Wyniki wielu prób dowodzą, że dodatek włókien PP może mieć pozytywny wpływ na zachowanie się konstrukcji betonowych w wysokich temperaturach i przyczynić się do ograniczenia zjawiska „spallingu”. Potwierdza to również raport z badań prowadzonych przez Channel Tunnel Rail Link oraz wyniki projektu UPTUN [8,13]. Dodanie włókien PP wpływa na zmianę właściwości wytrzymałościowych betonu zarówno w normalnych, jak i w wysokich temperaturach [2-5,18,19].

Włókna PP stosuje się również, jako dodatek do mieszanki betonowej w celu poprawy odporności młodego betonu na szkodliwe działanie naprężeń skurczowych. Stosowane włókna PP są bardzo cienkie i posiadają dużą wytrzymałość na rozciąganie, co ma decydujący wpływ na ograniczanie powstawania zarysowań matrycy cementowej w pierwszych godzinach po zabetonowaniu elementu. Włókna te w pierwszych godzinach twardnienia betonu przenoszą naprężenia rozciągające, w późniejszym okresie hydratacji cementu matryca cementowa uzyskuje wystarczającą wytrzymałość, aby nie doznać uszkodzeń. Potwierdza to Brandt [6], który wymienia włókna PP, jako sposób na ochronę młodego betonu przed powstawaniem rys skurczowych. Po zakończeniu hydratacji włókna syntetyczne mają wpływ na poprawę wielu innych cech betonu, takich jak [11]: odporność na pęknięcie przy zginaniu, zdecydowana poprawa udarności i odporności na obciążenia zmęczeniowe, odporność na korozję i skokowe zmiany temperatury, zwiększona odporność na ścieranie, zmniejszona nasiąkliwość i wodoprzepuszczalność oraz zmniejszenie ilości wydzielanego mleczka cementowego.

Od wielu lat w Szkole Głównej Służby Pożarniczej prowadzone są liczne prace badawcze nad wpływem wysokiej temperatury na zmianę parametrów wytrzymałościowych betonów zwykłych NSC (normal-strength concrete) i betonów wysokowartościowych HSC (high-strength concrete) oraz kompozytów cementowych z dodatkiem włókien polipropylenowych PFRC (polypropylene fibre-reinforced concrete) [18,19]. Obecnie w SGSP prowadzone są również liczne prace nad optymalizacją dodatku włókien polipropylenowych do kompozytów cementowych z uwagi na zjawisko „spallingu” [20].

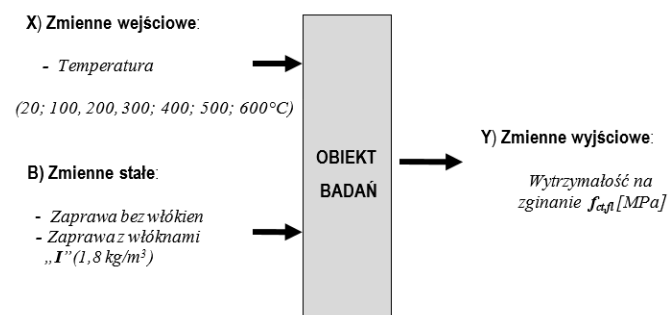
## 1. PROGRAM I METODYKA BADAŃ

### 1.1. Cel oraz zakres badań

Celem badań było określenie wpływu oddziaływania wysokiej temperatury na zmianę wytrzymałości na zginanie dla beleczek o wymiarach 4 cm x4 cm x16 cm zapraw cementowych z dodatkiem i bez dodatku włókien polipropylenowych. Zabieg ten pozwolił na wyeliminowanie wpływu kruszywa grubego na dokładność oznaczeń badanej cechy. Badania przeprowadzono w Szkole Głównej Służby Pożarniczej oraz na Politechnice Warszawskiej. Oznaczenie wytrzymałości na zginanie określono na podstawie procedury opisanej w normie PN-EN1015-11:2001: Metody badań zapraw do murów Część 11: Określenie wytrzymałości na zginanie i ściskanie stwardniałej zaprawy [21]. Do badań zastosowano, jako dodatek włókna polipropylenowe Ignis firmy Rethmeier. Wykonano badania porównawcze dla beleczek bez dodatku włókien oraz z dodatkiem włókien w ilości 1,8 kg/m<sup>3</sup>. Temperatury badawcze zawierały się w zakresie od 20°C do 600°C. Próbki wygrzewano w piecu w sześciu temperaturach badawczych (100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C, 600°C).

W czasie badań dążono do tego, aby rozkład temperatury w czasie był zbliżony do warunków termicznych standardowego pożaru. Po wygrzewaniu w piecu i wystudzeniu, próbki każdorazowo poddawano badaniom oznaczenia wytrzymałości na zginanie. W każdym punkcie pomiarowym zbadano po 5 próbek.

Na rys. 1 przedstawiono program badań przy oznaczaniu wytrzymałości na zginanie dla beleczek zaprawowych z dodatkiem i bez dodatku włókien polipropylenowych.



Rys. 1. Program badań przy oznaczaniu wytrzymałości na zginanie  $f_{ct,fl}$

Źródło: Opracowanie własne.

### 1.2. Charakterystyka użytej zaprawy cementowej

Do wykonania próbek zastosowano cement CEM I 42,5 R Lafarge. Cement zastosowany do badań spełniał wg deklaracji producenta wymagania normy PN – EN 197 – 1:2002 „Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku” [22]. Do zaprawy wykorzystano piasek wiślany 0/2 mm oraz pył krzemianowy Silimic. Do zaprawy użyto wodę wodociągową zgodną z wymaganiami PN-EN 1008:2004 „Woda zarobowa do betonu. Specyfikacja pobierania próbek, badania i oceny wody zarobowej do betonu” [23]. Jako domieszkę użyto Chrysofluid Optima 185 na bazie modyfikowanych polikarboksylatów i fosfonianów, zastosowana domieszka była zgodna z wymaganiami normy PN-EN 934-2 „Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu. Część 2: Domieszki do betonu. Definicje, wymagania, zgodność, znakowanie i etykietowanie” [24], dla silnych reduktorów wody zarobowej. Wskaźnik w/c dla próbek zaprawowych wynosił poniżej 0,26. Zestawienie składów do wykonania próbek zaprawowych potrzebnych do zrealizowania przyjętego planu eksperymentu zamieszczono w tabelicy 1.

Tab.1. Zestawienie składu zapraw cementowych do zrealizowania przyjętego planu eksperymentu [20]

Składniki	Oznaczenie składu	
	Z0F (skład bez dodatku włókien)	Z1,8F (skład z dodatkiem włókien „I”)
Cement CEM I 42,5 R [kg/m <sup>3</sup> ]	846	846
Mikrokrzemionka [kg/m <sup>3</sup> ]	84,6	84,6
Piasek [kg/m <sup>3</sup> ]	1249	1249
Plastyfikator Optima 190 [% m.c.]	2	2
Woda [dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	215	215
Włókna IGNIS [kg/m <sup>3</sup> ]	-	1,8

Źródło: Praca badawcza statutowa, Optymalizacja ilości dodatku włókien polipropylenowych do betonu w celu przeciwdziałania eksplozyjnemu odpryskiwaniu betonu w tunelach komunikacyjnych w trakcie pożarów, S/E-422/18/14/15/16 (kierownik naukowy: Drzymała T.) SGSP, Warszawa 2014 – 2016.

### 1.3. Charakterystyka użytych włókien

Do wykonania próbek zaprawowych zastosowano włókna polipropylenowe o nazwie handlowej Ignis® firmy Rethmeier. Włókna Ignis („I”) umożliwiają redukcję pęknięć i redukują występowanie skurczu, polepszając tym samym własności nawierzchni oraz trwałość elementów betonowych. Włókna „I” stosowane są w szerokim zakresie: przy wykonywaniu tuneli kolejowych i drogowych, konstrukcji wysokiego ryzyka, tuneli kablowych, mostów, parkingów podziemnych, produktów ogniotrwałych. Ilość włókien zależy od rodzaju inwestycji i konstrukcji danego obiektu i należy ustalać ją indywidualnie dla każdego przedsięwzięcia [25]. Dodanie do mieszanki betonowej włókien polipropylenowych „I” zapewnia pasywną ochronę przed ogniem, zwiększając trwałość elementów betonowych podczas pożaru. Na rys. 2 przedstawiono włókna zastosowane do wykonania próbek zaprawowych.



Rys. 2. Włókna polipropylenowe Ignis®.

Źródło: Opracowanie własne.

W tabelicy 2 podano charakterystykę włókien Ignis na podstawie danych producenta [25].

**Tab.2.** Charakterystyka włókien polipropylenowych wykorzystanych do badań

Badana cecha	Wynik oznaczenia
Barwa	Transparentna
Charakterystyka	Monofilamentowe
Długość, [mm]	12
Średnica, [ $\mu\text{m}$ ]	18
Gęstość, [ $\text{kg}/\text{dm}^3$ ]	0,91
Temperatura mięknięcia, [ $^{\circ}\text{C}$ ]	ok. 165 (temperatura zapłonu 400)

Źródło: Opracowanie własne.

## 2. BUDOWA STANOWISK BADAWCZYCH

### 2.1. Stanowisko do wygrzewania próbek

Wyrzwanie próbek odbywało się w Laboratorium Mechaniki i Wytrzymałości Materiałów w Szkole Głównej Służby Pożarniczej. Wyrzwanie przeprowadzono na stanowisku badawczym, którego podstawę stanowi średniotemperaturowy elektryczny piec komorowy typu PK 1100/5. W skład stanowiska pomiarowego wchodzi dodatkowo komputer PC z odpowiednim oprogramowaniem do sterowania pracą pieca oraz rejestracji temperatury podczas wygrzewania próbek. Na rys.3 zamieszczono zdjęcie stanowiska do wygrzewania próbek.



**Rys. 3.** Stanowisko do wygrzewania próbek

Źródło: Opracowanie własne.

W celu pomiaru temperatury podczas procesu wygrzewania próbek, zastosowano dwie termopary (T1, T2). Termopara T1 została przytwierdzona do ścianki próbki, termopara T2 została umieszczona w nawierconym kanaliku – koniec termopary umieszczono w połowie grubości próbki. Każdorazowo wygrzewano partię 11 próbek (5 próbek bez dodatku włókien, 5 próbek z dodatkiem włókien oraz 1 dodatkową próbkę, na której mierzono temperaturę za pomocą termopar T1 i T2). Na rys. 4 przedstawiono widok komory pieca z rozmieszczeniem próbek.

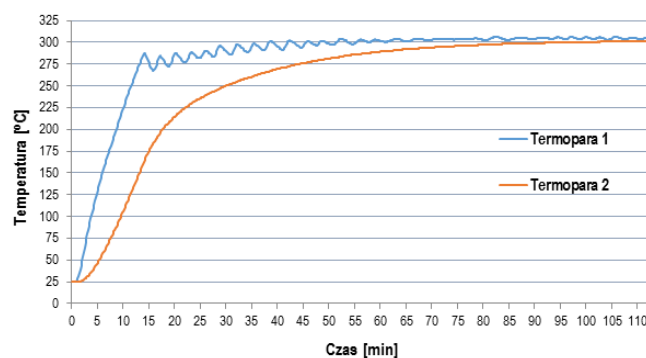
Każdą próbkę przewidzianą do badań opisano kodem literowo cyfrowym zgodnie przyjętym schematem: (próbki z dodatkiem włókien – Z1,8F oraz próbki bez dodatku włókien – Z0F). Przyjęty kod np. „0F100/1” oznacza próbkę bez dodatku włókien, wygrzewaną w temperaturze 100 $^{\circ}\text{C}$  o numerze próbki „1”. Każdorazowo po wygrzewaniu piec wyłączano i studzono do temperatury bezpiecznej (około 100 $^{\circ}\text{C}$ ), następnie piec otwierano i próbki schładzały się przez okres około 24 godzin do osiągnięcia temperatury pokojowej, określonej, jako normalna (20 $^{\circ}\text{C}$ ). Następnie po ostygnięciu próbki zostały poddawane badaniom wytrzymałościowym, zgodnie z założoną

procedurą badawczą. Na rys.5 pokazano przykładową krzywą obrazującą rzeczywisty rozkład temperatur występujących w miejscach rozmieszczenia termopar pomiarowych.



**Rys. 4.** Widok komory pieca z rozmieszczeniem próbek

Źródło: Opracowanie własne.



**Rys. 5.** Przebieg procesu wygrzewania – temperatura 300 $^{\circ}\text{C}$

Źródło: Opracowanie własne.

### 2.2. Stanowisko do badania wytrzymałości na zginanie

Badania wytrzymałościowe przeprowadzono w Zakładzie Inżynierii Materiałów Budowlanych na Politechnice Warszawskiej. Wytrzymałość na zginanie badano na odpowiednio przystosowanej maszynie wytrzymałościowej INSTRON 5567 o zakresie pomiarowym 0 – 30 kN. Maszyna zaopatrzona została w oprzyrządowanie do badania wytrzymałości na zginanie rys.6.



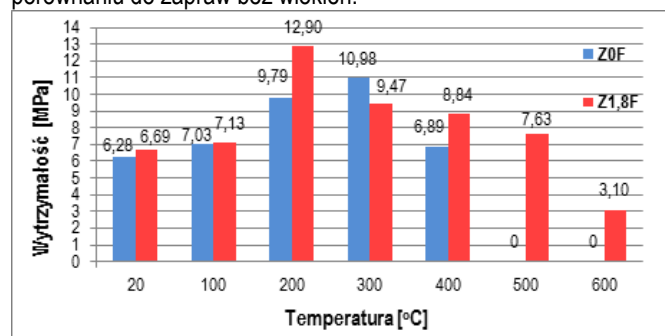
**Rys. 6.** Widok próbki podczas próby zginania

Źródło: Opracowanie własne.

Urządzenie jest skonfigurowane z komputerem, na którym zainstalowano aplikację Instron Bluehill do sterowania maszyną. Za jej pomocą można ustawiać parametry obciążania m. in. szybkość przyrostu siły. Ponadto próba obciążania jest rejestrowana przez program, a w jego oknie wyświetlane są informacje o wartości siły obciążającej, naprężenie zginające i odkształcenie.

### 2.3. Wyniki badań

Na podstawie otrzymanych wyników badań sporządzono wykresy, na których przedstawiono zmianę wytrzymałości dla badanych zapraw cementowych bez i z dodatkiem włókien polipropylenowych („I”) ze wzrostem temperatury. Na rys. 7 przedstawiono zestawienie średnich wartości  $f_{ct,fl}$  dla badanych zapraw cementowych bez i z dodatkiem włókien polipropylenowych („I”), ze wzrostem temperatury w porównaniu do zapraw bez włókien.

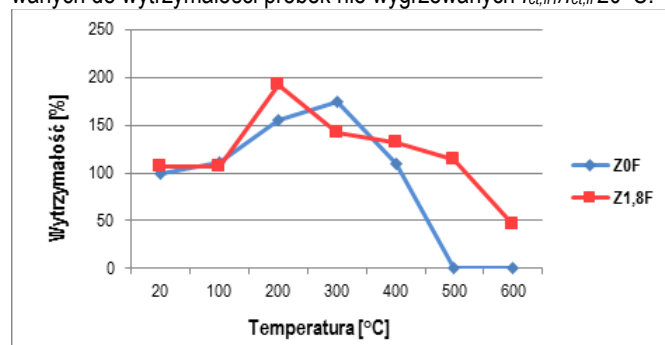


Rys. 7. Zestawienie wyników wytrzymałości na zginanie dla zapraw z włóknami „I” i bez dodatku włókien w poszczególnych temperaturach

Źródło: Opracowanie własne.

Zauważalne jest wyraźne umocnienie i wzrost wytrzymałości w temperaturach 200°C i 300°C zarówno dla próbek zaprawy z dodatkiem włókien, jak i bez włókien PP. W temperaturze 500°C i 600°C próbki bez dodatku włókien uległy destrukcji, natomiast te z dodatkiem włókien polipropylenowych zachowały resztkową wytrzymałość na zginanie. Należy podkreślić, iż w całym zakresie temperatur od 20°C do 600°C (za wyjątkiem temperatury 300°C) otrzymano wyższe wartości wytrzymałości na zginanie dla zaprawy z dodatkiem włókien polipropylenowych.

Na rys. 8 przedstawiono zestawienie wytrzymałości na zginanie w procentach, gdzie wartość 100% stanowi wytrzymałość dla próbek zaprawy bez dodatku włókien polipropylenowych. Wyniki zmian względnej wytrzymałości na zginanie dla badanych zapraw otrzymano jako stosunek wytrzymałości na zginanie dla próbek wygrzewanych do wytrzymałości próbek nie wygrzewanych  $f_{ct,fl}/f_{ct,fl} 20^{\circ}C$ .



Rys. 8. Zestawienie wyników zmian względnej wytrzymałości na zginanie dla badanych kompozytów cementowych

Źródło: Opracowanie własne.

Na rys. 8 widoczny jest wyraźny wzrost wytrzymałości zapraw przy wygrzaniu ich do 300°C. W przypadku próbek bez dodatku włókien odnotowano wzrost o ponad 70%. Wytrzymałość kompozytu z zawartością włókien PP zwiększyła się o ponad 30%.

### PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wpływu oddziaływania wysokiej temperatury na zmianę wytrzymałości na zginanie badanych kompozytów cementowych umożliwiły sformułowanie następujących wniosków:

- Przeprowadzone badania potwierdzają pozytywny wpływ dodatku włókien polipropylenowych (PP) na wytrzymałość na zginanie kompozytów cementowych poddanych oddziaływaniu wysokiej temperatury. W ogólnym przypadku można wykazać, że dodanie włókien PP w proporcji 1,8 kg/m<sup>3</sup> może znacząco poprawić resztkowe mechaniczne właściwości zapraw cementowych na rozciąganie po wygrzewaniu w podwyższonych temperaturach. Mając to na względzie, zabieg ten może przyczynić się również do ograniczenia termicznego odpryskiwania betonu (ang. thermal spalling).
- Wytrzymałość kompozytów cementowych na zginanie wraz ze wzrostem temperatury do około 300°C rośnie. Wzrost ten jest spowodowany umocnieniem kompozytu m.in. skutek zmniejszenia ilości wilgoci w strukturze.
- W temperaturze 500°C i 600°C próbki bez dodatku włókien uległy destrukcji podczas ich wygrzewania, natomiast te z dodatkiem włókien polipropylenowych zachowały resztkową wytrzymałość na zginanie.
- W całym zakresie temperatur od 20°C do 600°C (za wyjątkiem temperatury 300°C) otrzymano wyższe wartości wytrzymałości na zginanie dla zaprawy z dodatkiem włókien polipropylenowych.
- Istnieje zatem potrzeba kontynuowania badań w celu ustalenia resztkowej wytrzymałości na zginanie i rozciąganie dla betonów wysokiej wytrzymałości (BWW) poddanych oddziaływaniu wysokich temperatur, szczególnie narażonych na zjawisko „spallingu”.

### BIBLIOGRAFIA

1. Bednarek Z., Drzymała T., Zagrożenie występowania eksplozywnego odpryskiwania betonu w czasie pożaru w tunelach komunikacyjnych, Logistyka 2010, nr 6, s. 1231-5478.
2. Bednarek Z., Drzymała T., Wpływ temperatur występujących podczas pożaru na wytrzymałość na ściskanie fibrobetonu, Zeszyty Naukowe SGSP 2008, nr 36, s. 61-84.
3. Bednarek Z., Drzymała T., Wytrzymałość na ściskanie fibrobetonu z dodatkiem włókien polipropylenowych w warunkach termicznych pożarów”, Międzynarodowa Konferencja „Bezpieczeństwo Pożarowe Budowli”, Warszawa 18-19 listopada 2008.
4. Bednarek Z., Krzywobłocka – Laurów R., Drzymała T., Effect of high temperature on the structure, phase composition and strength of concrete, Zeszyty Naukowe SGSP 2009, nr 38, s. 5-27.
5. Behnood A., Ghandehari M., Comparison of compressive and splitting tensile strength of high-strength concrete with and without polypropylene fibers heated to high temperatures, Fire Safety Journal 2009, 44, nr 8, pp. 1015–1022.
6. Brandt A.M., Zastosowanie włókien, jako uzbrojenia w elementach betonowych, Konferencja „Beton, na progu nowego Millennium”, Kraków 2000, s. 433-444.
7. Gawin D., Pasavento F., Majorana C. E., Schrefler B. A., Modelowanie procesu degradacji betonu w wysokich temperaturach, Inżynieria i Budownictwo 2003, nr 4.

8. Gawin D., Witek A., Pasavento F., O ochronie betonowej obudowy tunelu przed zniszczeniem w warunkach pożarowych – wyniki projektu UPTUN, Inżynieria i Budownictwo 2006, nr 11.
9. Grabiec K., Wpływ temperatur pożarowych na bezpieczeństwo konstrukcji budowlanych, Przegląd Budowlany 1987, nr 10.
10. Han C., Hwang Y., Yang S., Gowripalan N., Performance of spalling resistance of high performance concrete with polypropylene fiber contents and lateral confinement, Cement Concrete Research 2005, 35, pp. 1747-1753.
11. J. Jasiczak, P. Mikołajczyk, Technologia betonu modyfikowanego domieszkami i dodatkami. Przegląd tendencji krajowych i zagranicznych, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1997.
12. Kalifa P., Chene G., Galle C., High-temperature behavior of HPC with polypropylene fibers from spalling to microstructure, Cement Concrete Research. 2001, 31, pp.1487-1499.
13. Kitchen A., Fibres for passive fire protection in tunnels, Tunneling & Trenchless Construction, 2004, 4.
14. Kosiorek M., A. Pogorzelski J. A., Laskowska Z., Pilich K., Odporność ogniowa konstrukcji budowlanych, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1988.
15. Neville A. M., Właściwości Betonu, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków 2012.
16. Phan L. T., Carino N. J., Mechanical properties of high-strength concrete at elevated temperatures, NISTIR 6725, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, (Maryland) 2001.
17. Piasta J., Piasta W. J., Beton zwykły, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1997.
18. Praca zbiorowa, Badanie wpływu temperatur występujących podczas pożaru na wytrzymałość fibrobetonu, BW/E-422/8/2008, (kierownik pracy Drzymała T.) SGSP, Warszawa 2008.
19. Praca zbiorowa, Wpływ temperatur występujących podczas pożaru na wybrane parametry wytrzymałościowe fibrobetonu, S/E-422/8/2007, I Etap, (kierownik naukowy Bednarek Z.) SGSP, Warszawa 2008.
20. Praca badawcza statutowa, Optymalizacja ilości dodatku włókien polipropylenowych do betonu w celu przeciwdziałania eksplozyjnemu odpryskiwaniu betonu w tunelach komunikacyjnych w trakcie pożarów, S/E-422/18/14/15/16 (kierownik naukowy: Drzymała T.) SGSP, Warszawa 2014–2016.
21. PN-EN 1015-11:2001: „Metody badań zapraw do murów Część 11: Określenie wytrzymałości na zginanie i ściskanie stwardniałej zaprawy”.
22. PN-EN 197 – 1:2002 „Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku”.
23. PN-EN 1008:2004 „Woda zarobowa do betonu. Specyfikacja pobierania próbek, badania i oceny wody zarobowej do betonu”.
24. PN-EN 934-2 „Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu. Część 2: Domieszki do betonu. Definicje, wymagania, zgodność, znakowanie i etykietowanie”.
25. Karta techniczna włókien Ignis.

## EFFECTS OF HIGH TEMPERATURE ON FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE COMPOSITES MODIFIED BY ADDITION OF POLYPROPYLENE FIBRES

### *Abstract*

*The studies concerned the impact of high temperature on flexural strength of cement mortar modified by addition of polypropylene fibres. Based on the available literature it can be concluded that one of the main reasons for spalling are high tensile stresses. Results of many investigations have shown that addition of PP fibres can have a positive effect on concrete structures behaviour at high temperatures and reduce spalling phenomenon. Polypropylene fibres present in a composite can also have a positive influence on the increase of tensile strength. This paper includes the aim and scope of studies, research methods, tests schedule and research stands description, as well as study results. In a final part of this paper the conclusions are formulated.*

### Autorzy:

mł. bryg. dr inż. **Tomasz Drzymała** – Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego, ul. Słowackiego 52/54, 01– 629 Warszawa, Telefon: +48 22 561-76-13, Fax: +48 22 833-07-24, E-mail: t.drzymala@sgsp.edu.pl

st. kpt. dr inż. **Paweł Ogrodnik** – Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego, ul. Słowackiego 52/54, 01– 629 Warszawa, Telefon: +48 22 561-75-44, Fax: +48 22 833-07-24, E-mail: pogrodnik@sgsp.edu.pl

dr inż. **Bartosz Zegardło** – Zakład Budownictwa, PSW im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej, 21-500 Biała Podlaska ul. Sidorska 95/97, E-mail: bart.z@wp.pl