

dr inż. Marek Maj\*  
mgr inż. Tomasz Stachoń\*  
dr hab. inż. Andrzej Ubysz, prof. PWr.\*

# Beton jako materiał konstrukcyjny w wysokiej temperaturze

## Concrete as a structural material at high temperatures

**Streszczenie.** W budownictwie przemysłowym istnieją konstrukcje, które są użytkowane w krótkim lub długim czasie w temperaturze 100 ÷ 300 °C. W artykule przedstawiono wyniki badań kompozytu betonowego, którego parametry wytrzymałościowe nie maleją w tym zakresie temperatury, a w którym to zakresie beton zwykły zmniejsza swoją wytrzymałość i zwiększa reologiczny efekt pęcznienia.

**Słowa kluczowe:** beton żaroodporny, wytrzymałość na ściskanie, skurcz betonu.

**Abstract.** In the construction industry there are structures that are used in short-or long-permanently at temperatures of 100 ÷ 300 °C. In this temperature range, the classic concrete reduces its strength parameters and increases the effect of the rheological creep. The results of studies of the composite concrete, which does not diminish the strength parameters in this temperature range, are shown.

**Keywords:** heat-resistant concrete, compressive strength, concrete shrinkage.

Technologia pracy oraz możliwość wystąpienia technologicznych stanów awaryjnych w konstrukcjach wsporczych pod piece hutnicze wymagają od projektanta zastosowania materiałów odpornych na podwyższoną temperaturę. W celu osiągnięcia oczekiwanych rezultatów eksploatacyjnych możliwe są dwa rozwiązania:

- zastosowanie materiałów tradycyjnych, które wymagają osłony termoizolacyjnej, chroniącej przed przegrzaniem zasadniczy materiał konstrukcji nośnej;
- zaprojektowanie i wykonanie konstrukcji z materiałów niepodlegających degradacji pod wpływem podwyższonej temperatury.

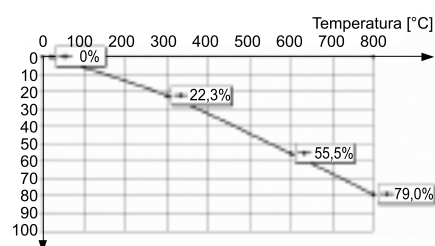
W pierwszym przypadku stosuje się beton specjalny, którego cechy wytrzymałościowe i użytkowe są mało wrażliwe na krótko- lub długotrwałe oddziaływanie podwyższonej temperatury (oczywiście w ściśle określonym zakresie, np. do 300 °C). W drugim przypadku stosuje się beton zwykły, dobierając odpowiedni jego skład i technologię betonowania w celu ograniczenia negatywnego wpływu skurczu i pęcznienia betonu na stan naprężeń w konstrukcji. Jednak i tak konieczne jest stosowanie materiałów izolacyjnych, które wydłuża-

ją cykl wykonawczy i zwiększają koszty inwestycji.

Celem artykułu jest pokazanie problemów konstrukcyjnych i technologicznych, które występują przy wykonywaniu i eksploatacji elementów żelbetonowych z kompozytu betonowego odpornego na wysoką temperaturę.

### Charakterystyka badań i uzyskanych wyników

Badania dotyczące zachowania się konstrukcji żelbetonowych w wysokiej temperaturze wymagają określenia zakresu zmian właściwości fizykochemicznych betonu i stali [1, 2] oraz oceny wpływu temperatury na współpracę betonu ze zbrojeniem [3, 4, 5]. Przedstawione w artykule badania dotyczą wybranych właściwości fizycznych betonu kompozytowego wykonanego na bazie niskoskurczowego betonu zwykłego z dodatkami, które w znacznym stopniu decydują o korzystnych właściwościach tego materiału w wysokiej temperaturze. Badany materiał jest produkowany wg technologii możliwej do realizowania w wytwórni betonu klasycznego. Przewidywane warunki pracy betonu kompozytowego dotyczą krótko- i długotrwałego oddziaływania temperatury 100 ÷ 300 °C oraz długotrwałego obciążenia użytkowego. Klasyczny beton wykazuje spadek wytrzymałości w miarę wzrostu temperatury (rysunek 1).



Rys. 1. Spadek procentowy wytrzymałości betonu klasy C30/37 w zależności od temperatury [2]

**Badanie wytrzymałości betonu kompozytowego na ściskanie** wykonano na sześciu normowych próbkach kostkowych 150 × 150 × 150 mm [6, 7] z betonu klasy C40/50 przechowywanych w warunkach naturalnych (temperatura 15 ÷ 25 °C). Wyniki badań dwóch receptur betonu przedstawiono w tabeli 1.

Kolejnym etapem badań było **wygrzewanie próbek i określenie wytrzymałości kostkowej po kolejnych cyklach obciążeń termicznych**. Parametrami mogącymi wpływać na cechy wytrzymałościowe betonu kompozytowego były prędkość nagrzewania próbek i czas wygrzewania. Każdą serię próbek rozgrzewano w czasie 1 h do żądanej temperatury (100, 150, 300, 450, 600, 750, 900 °C), a następnie pozostawiano próbkę w tej temperaturze przez kolejną godzinę. Przyjęcie takich warunków badań wynikało z planowanego zastosowania betonu kom-

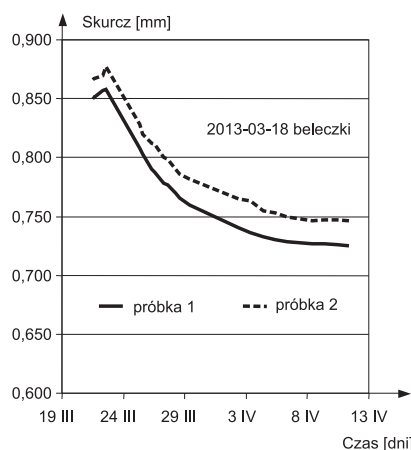
\* Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

Tabela 1. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie betonu kompozytowego C40/50

Recepta	Próbka	Data formowania	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	Spełnienie kryterium	
				$f_{ci} \geq f_{ck} - 4$	$f_{cm} \geq f_{ck} + 4$
35	1	12.02.2013 r.	65,8	tak	tak
	2		64,4		
	3		63,1		
39	1	12.02.2013 r.	85,3	tak	tak
	2		82,7		
	3		82,2		

pozytowego. Badania wytrzymałości betonu na ściskanie wykonywano po wygrzaniu betonu i ochłodzeniu do temperatury naturalnej. Wyniki badań pokazano w tabeli 2, a na rysunku 2 zależność średniej wytrzymałości betonu na ściskanie od temperatury nagrzewania betonu.

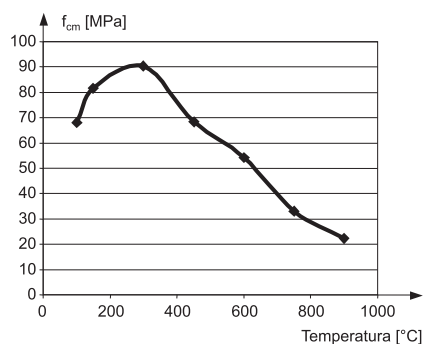
Następnie określono charakterystykę skurczu próbki wykonanej z betonu kompozytowego odpornego na wysoką temperaturę. Badania wykonane na 2 próbkach wykazały intensywny przebieg odkształceń skurczowych w ciągu pierwszych 10 dni. Ze względu na charakter pracy konstrukcji beton ten wymaga zbrojenia na naprężenia skurczowe, gdyż w środowisku, w którym



Rys. 3. Odkształcenia skurczowe betonu kompozytowego

Tabela 2. Wytrzymałość betonu kompozytowego na ściskanie określona zgodnie z normą [8]

Rodzaj badania	Wyniki badań								
		Beton – recepta 35							
		100 °C	150 °C	300 °C	450 °C	600 °C	750 °C	900 °C	
Wytrzymałość na ściskanie [MPa] po wygrzewaniu 1 h	1 próbka	59,6	85,7	101,6	74,2	62,8	28,1	23,6	
	2 próbka	75,1	82,1	80,0	64,7	49,1	26,1	25,4	
	3 próbka	69,5	77,2	89,9	66,5	50,6	45,0	18,1	



Rys. 2. Zależność średniej wytrzymałości betonu kompozytowego na ściskanie od temperatury

jest użytkowany, istnieje zagrożenie korozją zbrojenia konstrukcyjnego w miejscach pojawienia się rys lub spękań (rysunek 3).

W przypadku badanego kompozytu betonowego istotnym problemem technologicznym jest krótki czas pomiędzy przygotowaniem mieszanki betonowej a rozpoczęciem procesu wiązania. Czas od wykonania badanej mieszanki betonowej do momentu rozłożenia na budowie wynosi 5 h w temperaturze otoczenia 20 °C. Okres ten można nieco wydłużyć, stosując opóźniacze. W przypadku badanego kompozytu należy jeszcze zwrócić uwagę na dosyć dużą wytrzymałość po 56 dniach, która wynosi 75 ÷ 80 MPa.

### Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykonano pod kątem zastosowania betonu kompozytowego do realizacji konstrukcji obciążonych krótko- lub długo-

trwale temperaturą mogąą przekraczać nawet 300 °C. W artykule zwrócono uwagę na wpływ temperatury na wytrzymałość i skurcz oraz czas wiązania betonu kompozytowego. Z badań wynika, że w temperaturze do 600 °C wydłużalność termiczna betonu kompozytowego i stali jest na tyle proporcjonalna, że nie wystąpi bezpośrednie zagrożenie nośności konstrukcji (współczynniki rozszerzalności termicznej betonowego kompozytu i stali zbrojeniowej są zbliżone). W wyższej temperaturze następuje istotne naruszenie współpracy zbrojenia z betonem.

Zastosowanie betonów kompozytowych odpornych na wysoką temperaturę pozwala w wielu przypadkach uniknąć dodatkowych warstw izolacyjnych. Mogą one rozwiązać zagadnienie zwiększonych otulin zbrojenia w celu zabezpieczenia stali przed temperaturą i agresywnością środowiska. Beton żaroodporny o niskiej granulacji kruszywa może być ponadto stosowany do torkretowania konstrukcji z betonu tradycyjnego.

### Literatura

- [1] Jianzhuang X., König G.: Study on concrete at high temperature in China – an overview. Fire Safety Journal 2004; 39: s. 89 – 103.
- [2] Bednarek Z., Krzywobłocka-Laurów R., Drzymała T.: Wpływ wysokiej temperatury na strukturę, skład fazowy i wytrzymałość betonu. Zeszyty Naukowe SGSP Nr 38. Warszawa 2009. s. 6 – 26.
- [3] Morley P. D., Royles R.: Response of the bond in reinforcing at normal and high temperature. Magazine of Concrete Research 1983; 123: s. 67 – 74.
- [4] Bednarek Z., Ogrodnik P.: Testing steel-concrete bond in fire conditions. IX International Conference. Modern Building Materials Structures and Techniques. Vilnius, Lithuania 2007. s. 39 – 52
- [5] Bednarek Z., Ogrodnik P., Pieniak D.: Laboratoryjna metoda oceny wpływu wysokich temperatur na parametry eksploatacyjne systemów połączeń żelbetowych. Eksploatacja i Niezawodność nr 3/2010. s. 67 – 78.
- [6] PN-EN 206-1:2003 Beton cz. 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- [7] PN-EN 12350-1 Badanie mieszanki betonowej. Część 1. Pobieranie próbek.
- [8] PN-993-5:2001 Materiały ogniotrwałe. Metody badań zwartych formowanych wyrobów ogniotrwałych. Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie w temperaturze otoczenia.