

*st. bryg. prof. dr hab. inż. Zoja BEDNAREK
kpt. mgr inż. Tomasz DRZYMAŁA
SGSP, Katedra Techniki Pożarniczej*

WPLYW TEMPERATUR WYSTĘPUJĄCYCH PODCZAS POŻARU NA WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCISKANIE FIBROBETONU

W artykule przedstawiono wyniki badań wytrzymałościowych na próbkach fibrobetonowych poddanych oddziaływaniu wysokich temperatur zbliżonych do temperatur występujących w środowisku pożaru. Głównym celem przeprowadzonych eksperymentów było przeanalizowanie wpływu temperatur występujących w czasie pożaru na zmianę parametrów wytrzymałościowych fibrobetonu z dodatkiem włókien polipropylenowych. Podczas badań zastosowano włókna polipropylenowe trzech gatunków obecnie stosowanych i dostępnych w Europie. Po wygrzewaniu w piecu próbki każdorazowo poddawano badaniom na maszynie wytrzymałościowej. Na podstawie dokonanej analizy sformułowano wnioski z wykonanych badań.

The article presents the results of strength tests of fiber-reinforced concrete samples subjected to high temperatures typical for fire environment. The main goal of the research was analyzing the influence of fire temperatures on strength parameter change in fiber-reinforced concrete with addition of polypropylene fibers. Three kinds of polypropylene fibers currently used and available in Europe have been tested. After heating the samples were examined by a strength-testing machine. Analysis of the results served as basis for research conclusions.

1. Wstęp

Rozwój nauki i techniki pozwala udzielić odpowiedzi na wiele nurtujących pytań związanych z destrukcyjnym działaniem podwyższonych i wysokich temperatur występujących podczas pożaru. Wiele czynników oddziałujących na kon-

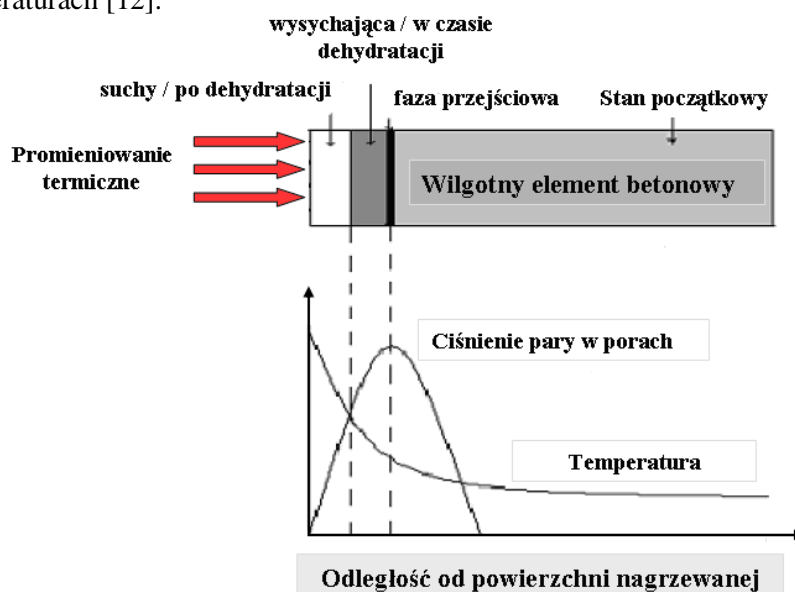
strukcje budowlane takich jak warunki atmosferyczne, wpływ obciążeń statycznych i dynamicznych, działanie wody gruntowej itp. zostało już dość dobrze zbadanych i można je uwzględniać w określony sposób przy projektowaniu i realizacji danej konstrukcji. Działanie niektórych czynników destrukcyjnych zbadano jednak tylko w pewnym określonym zakresie. Do takich częściowo zbadanych właściwości należy m.in. zaliczyć wpływ temperatur występujących podczas pożaru na parametry wytrzymałościowe materiałów budowlanych.

Wpływ podwyższonych i wysokich temperatur podczas pożaru na pracę konstrukcji budowlanych przejawia się w zmianie właściwości fizycznych i wytrzymałościowych nagrzanego materiału oraz wystąpieniu w nim odkształceń i naprężeń termicznych. Wydarzenia ostatnich lat, w tym m.in. katastrofa będąca konsekwencją zamachu na WTC w Nowym Jorku oraz głośne pożary tunelów drogowych w Alpach, wysuwają na pierwszy plan problem bezpieczeństwa pożarowego konstrukcji budowlanych. Jest ono jednym z sześciu podstawowych wymagań, jakie muszą spełniać budowle w świetle dyrektyw europejskich oraz Prawa Budowlanego.

W tunelach komunikacyjnych, pomieszczeniach piwnicznych (gdzie spotkać się można z dużą wilgotnością środowiska), cechą charakterystyczną dla betonu jest obecność stosunkowo dużych ilości wilgoci. W tych obiektach występuje stosunkowo mało zbadane zjawisko eksplozyjnego odpryskiwania betonu (*ang. spalling*). Duża zawartość wilgoci w betonie odgrywa bardzo istotną rolę w rozwoju zjawiska „spallingu” w czasie pożaru [2]. Szeroki zakres zniszczeń spowodowanych „spallingiem” obejmuje mało znaczący spalling kruszywa (powodujący jedynie odpryskiwanie powierzchniowe), aż po ekstremalne przypadki, w których znaczne fragmenty betonowych ścian i podłóg zostają oderwane siłą eksplozji. Jest to niebezpieczne zjawisko zagrażające życiu ludzi przebywających w czasie pożaru w miejscach narażonych na „spalling”, w tym również ratowników [3, 4]. Przyczyną tego zjawiska jest wystąpienie podczas ogrzewania wysokich ciśnień pary wodnej w porach betonu oraz naprężeń termicznych. Zjawiska te występują pojedynczo lub w kombinacji, w zależności od rozmiarów przekroju, użytego materiału i zawartości wilgoci w betonie. Mechanizm spallingu według Khoury’ego przedstawiono na rys. 1.

W latach dziewięćdziesiątych odkryto pozytywny wpływ dodatku włókien polipropylenowych do mieszanki betonowej. Okazało się, że w ten sposób znacznie ogranicza się ryzyko wystąpienia zjawiska „spallingu”, dzięki zmniejszeniu ciśnień pary wodnej w porach betonu [5, 10]. Raport z badań prowadzonych przez Channel Tunnel Rail Link (CTRL) [7], wspierany przez profesora Khoury dowodzi, że dodatek włókien polipropylenowych do betonu o wysokiej gęstości może zredukować zjawisko odpryskiwania. Wyjaśniono to w ten sposób, iż dodatek włókien polipropylenowych do betonu powoduje, że w temperaturze 160°C włókna zaczynają się topić, tworząc kanaliki pozwalające wydostać się parę wodnej. W związku z tym

ciśnienie pary jest obniżane a naprężenia wewnętrzne nie osiągają punktu krytycznego. Ma to wpływ na zwiększenie bezpieczeństwa prowadzonych akcji ratowniczo-gaśniczych w tunelach, żeby ustrzec ekipy ratownicze przed eksplozyjnym odpadaniem dużych fragmentów betonu. Dodawanie włókien polipropylenowych obniża niestety własności wytrzymałościowe betonu w normalnych i wysokich temperaturach [12].



Rys. 1. Mechanizm spallingu według KHOURY'EGO [11]

Jedne z nielicznych badań w tym zakresie podjął w latach: 1984 i 1988 J.A. Purkiss. Ich przedmiotem były fibrobetony zbrojone włóknami stalowymi [9] oraz włóknami szklanymi [8]. Celem badań przeprowadzanych przez Purkissa była m.in. ocena zmiany cech wytrzymałościowych ww. fibrobetonów będąca skutkiem ogrzania ich do wysokich temperatur (300 – 800°C) oraz wpływ zawartości włókien na intensywność tych zmian.

Wyniki tych dociekań należy traktować z pewną rezerwą. Ich mankamentem jest stosunkowo mała liczba próbek (3 szt.) wykorzystana do określenia każdej z cech. Badania te nie dotyczą również najczęściej obecnie stosowanych włókien polipropylenowych.

Planowane przez nas badania oparte są na założeniach umożliwiających uniknięcie wymienionych powyżej błędów [12, 13]. Do badań wykorzystano włókna trzech gatunków obecnie stosowanych w Europie. Próbki wykonano o różnej zawartości włókien (0,6 kg/m³; 0,9 kg/m³; 1,2 kg/m³). Proces nagrzewania próbek przebiegał według tzw. krzywej pożarowej obrazującej narastanie temperatury

w trakcie rzeczywistego pożaru [14]. Temperatury stosowane w badaniach zawierały się w zakresie od 20 do 1000 °C.

Szeroki zakres planowanych badań ma na celu precyzyjne określenie wpływu różnych czynników na wytrzymałość fibrobetonów w temperaturach pożarowych. Przyjęte założenia stanowią podstawę do przeprowadzenia wielokierunkowych analiz umożliwiających określenie charakteru zmian cech wytrzymałościowych materiału w zależności od: temperatury nagrzewu, czasu grzania, zawartości włókien oraz ich rodzaju. To wszystko powinno pozwolić na jednoznaczną odpowiedź na pytanie, czy dodatek włókien polipropylenowych w istotny sposób wpływa na obniżenie własności mechanicznych betonów znajdujących się pod działaniem wysokich temperatur w czasie pożaru, w stosunku do betonów bez dodatku włókien. Wyjaśni to, czy w temperaturach występujących w czasie pożaru betony wzmacniane włóknami można traktować jak beton zwykły.

Zagadnienie to jest szczególnie istotne w przypadku wykonywania z fibrobetonu elementów prefabrykowanych do obudowy tuneli. Celem badań wykonanych w Zakładzie Mechaniki Stosowanej SGSP [12] było:

- a) analiza oddziaływania wysokich temperatur występujących podczas pożaru na wytrzymałość fibrobetonu oraz oszacowanie wielkości spadku jego wytrzymałości,
- b) eksperymentalne ustalenie wpływu zawartości oraz rodzaju włókien oraz klasy betonu na spadek wytrzymałości w wysokich temperaturach,
- c) porównanie wyników badań fibrobetonu i betonu bez dodatku włókien pod kątem spadku wytrzymałości w temperaturach pożarowych.

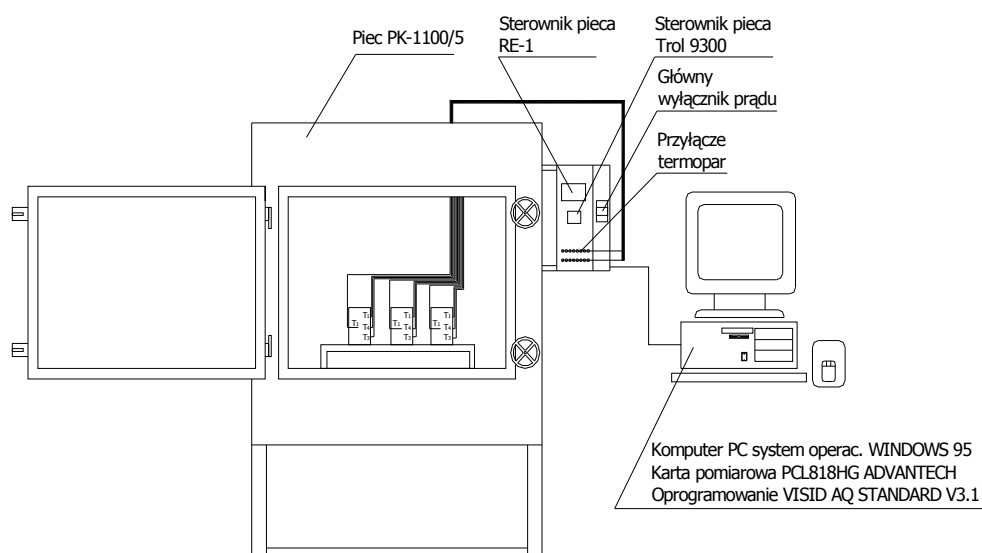
Szczególne zainteresowanie budzi wytrzymałość fibrobetonu wykonanego z betonu wysokowartościowego (BWW) stosowanego również w tunelach komunikacyjnych. Betony wysokowartościowe (BWW) [4, 6] znajdują coraz szersze zastosowanie w inżynierii budowlanej i komunikacyjnej, ze względu na lepsze właściwości użytkowe w porównaniu z betonami zwykłymi, m.in. większa wytrzymałość i trwałość. Jednak w warunkach wysokiej temperatury BWW są bardziej podatne na wystąpienie zjawiska termicznego odpryskiwania (ang. *thermal spalling*). Skutkiem tego zjawiska jest odrzucanie kolejnych warstw betonu, zwykle w przedziale temperatur 200-300°C. Powoduje to nie tylko zmniejszanie się przekroju elementu konstrukcyjnego z BWW, ale może być również przyczyną odsłaniania jego zbrojenia i utraty cech użytkowych całej konstrukcji, a nawet jej nośności.

W niniejszym artykule zostanie omówione stanowisko i metody pomiarowe, oraz zaprezentowane będą wybrane wyniki badań, które zostały przeprowadzone pod koniec 2007 roku w ramach pracy badawczej finansowanej przez MNiSW.

2. Stanowisko i metody pomiarowe

Przeprowadzone badania pt.: „Wpływ temperatur występujących podczas pożaru na wytrzymałość na ściskanie fibrobetonu” zostały wykonywane w laboratorium Mechaniki i Wytrzymałości Materiałów SGSP, gdzie znajduje się odpowiednie stanowisko pomiarowe, którego budowa została sfinansowana ze środków MNiSW. W skład stanowiska wchodzi średnotemperaturowy piec elektryczny oraz maszyna hydrauliczna przystosowana do badania wytrzymałości betonu na ściskanie.

Zasadniczy trzon stanowiska stanowi średnotemperaturowy elektryczny piec komorowy typu PK 1100/5 przeznaczony do wygrzewania próbek betonowych oraz komputer PC z odpowiednim oprogramowaniem do rejestracji temperatur oraz sterowania procesem nagrzewania. Jego schemat pokazano na rys. 2 i 3. Rozmieszczenie próbek betonowych z zamontowanymi termoparami przedstawiono na rys. 4.



Rys. 2. Średnotemperaturowy piec elektryczny typu PK 1100/05 [12]

Widok maszyny hydraulicznej EDZ – 100 przystosowanej do badania wytrzymałości na ściskanie z zamontowanym czujnikiem do pomiaru siły oraz próbkę betonową przygotowaną do badania wytrzymałości pokazano na rys. 5 i 6.

Proces nagrzewania próbek przebiegał według tzw. krzywej pożarowej obrazującej narastanie temperatury w trakcie rzeczywistego pożaru. Temperatury stosowane w badaniach znajdowały się w zakresie od 20 do 1000 °C. Pomiaru tempe-

ratury dokonano za pomocą trzech termopar zewnętrznych (T_2 , T_3 , T_4) oraz termopary wewnętrznej (T_1). Rozmieszczenie termopar pokazano na rys. 7.



Rys. 3. Widok pieca komorowego PK 1100/5 z oprzyrządowaniem [12]



Rys. 4. Widok próbek betonowych przygotowanych do wygrzewania z zamontowanymi termoparami pomiarowymi [12]

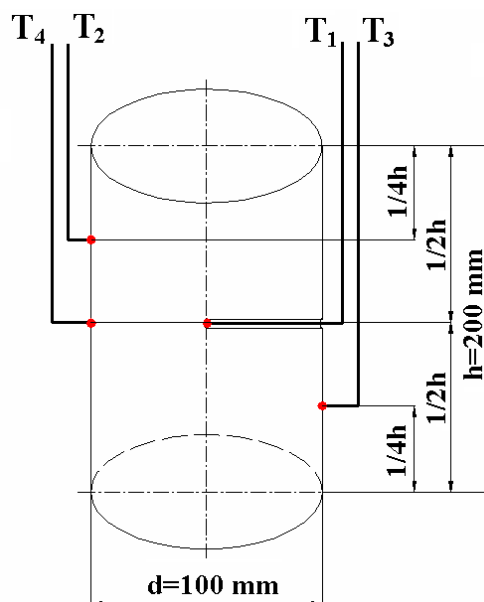


Rys. 5. Widok maszyny hydraulicznej EDZ – 100 przystosowanej do badania wytrzymałości na ściskanie [12]



Rys. 6. Widok próbki betonowej przygotowanej do badania wytrzymałości [12]

Próbki umieszczono w piecu w ilości 5 szt. i wygrzewano odpowiednio w czterech temperaturach badawczych (300°C, 600°C, 800°C, 1000°C) do momentu wyrównania temperatur na termoparach pomiarowych (T_1 , T_2 , T_3 , T_4).



Rys. 7. Widok próbki betonowej z rozmieszczonymi termoparami pomiarowymi [12]

3. Charakterystyka materiałów

Cement – do betonu klasy C30/37 użyto cement CEM I 32,5 R z Cementowni Ożarów, natomiast do betonu klasy C60/75 użyto cement CEM I 42,5 R z Cementowni Małogoszcz. 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”.

Kruszywo – do betonu klasy C30/37 wykorzystano następujące kruszywa składowe: piasek wiślany 0/2 mm oraz żwir „Jeziorki” 2/16 mm. Do betonu klasy C60/75 wykorzystano następujące kruszywa składowe: piasek wiślany 0/2 mm, grys granitowy „Graniczna” 2/8 mm oraz grys granitowy 8/16 mm.

Woda i domieszki – do mieszanki betonowej użyto wodę wodociągową zgodną z wymaganiami PN – EN 1008:2004 „Woda zarobowa do betonu. Specyfikacja pobierania próbek, badania i oceny wody zarobowej do betonu”. Jako domieszkę użyto superplastyfikator Chrysofluid CE 40 na bazie sulfonowanego naftalenu, zgodny z wymaganiami normy PN – EN 934 – 2 „Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu. Część 2: Domieszki do betonu. Definicje, wymagania, zgodność, znakowanie i etykietowanie”, dla silnych reduktorów wody zarobowej. Dla betonu klasy

C30/37 wskaźnik W/C wynosił 0,358, wskaźnik ten dla betonu klasy C60/75 wynosił 0,318.

Włókna polipropylenowe – do badań dla betonu klasy C30/37 oraz C60/75 użyto trzy rodzaje włókien polipropylenowych oznaczonych dla potrzeb badawczych odpowiednio „F”, „D” oraz „I”. W tab. 1 podano charakterystykę powyższych typów włókien na podstawie danych producentów.

Tabela 1. Charakterystyka włókien polipropylenowych wykorzystanych do badań (wg danych producentów) [12]

Właściwość	Nazwa włókien		
	„F”	„D”	„I”
barwa	beżowa	biała przezroczysta	Transparentna
charakterystyka	multifilamentowe	multifilamentowe	Monofilamentowe
Długość, [mm]	19	20	12
Średnica, [μm]	35-40	16	18
Gęstość, [kg/dm^3]	0,91	0,91	0,91
Wytrzymałość na rozciąganie, [MPa]	ok. 400	ok. 400	Brak informacji
Moduł sprężystości, [MPa]	ok. 4900	3500-3900	Brak informacji
Temperatura mięknięcia, [$^{\circ}\text{C}$]	ok. 150	max. 145	ok. 165 (temp. zapłonu 400)
dtex ^{*)}	ok. 10	3,4	Brak informacji

^{*)} dtex – ciężar 10 000 m włókna wyrażony w gramach

4. Program badań

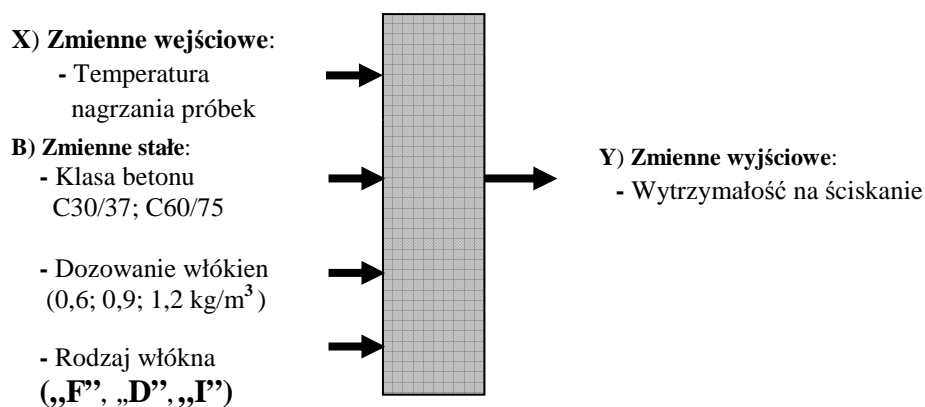
Wytrzymałość na ściskanie badano na próbkach walcowych o wymiarach nominalnych 100/200 mm. Próbki przechowywano do czasu badania (czyli wieku betonu 28 dni) w warunkach laboratoryjnych, tj. $t = 18 \pm 2^{\circ}\text{C}$ i $\text{RH} \geq 95\%$. Przebieg formowania i badania próbek był zgodny z wymaganiami norm PN – 2390 – 2:2001 „Badania betonu. Część 2. Wykonywanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych” oraz PN – EN 12390 – 3:2002 „Badania betonu. Część 3 Wytrzymałość na ściskanie próbek do badania”.

W tab. 2 przedstawiono program badań wykonanych dla betonu zwykłego klasy C30/37 oraz dla betonu wysokiej wytrzymałości klasy C60/75.

Tabela 2. Program wykonanych badań wytrzymałościowych [12, 13]

Beton		Oznaczenie składu	Włókna polipropylenowe	Dozowanie włókien [kg/m ³]
1	Beton zwykły C30/37	2	„F”	0,6
		3		0,9
		4		1,2
		5	„D”	0,6
		6		0,9
		7		1,2
		8	„I”	0,6
		9		0,9
		10		1,2
		1	Beton BWW C60/75	2
3	0,9			
4	1,2			
5	„D”			0,6
6				0,9
7				1,2
8	„I”			0,6
9				0,9
10				1,2

Na rys. 8 przedstawiono plan eksperymentu dla badań wytrzymałościowych.



Rys. 8. Plan eksperymentu dla wykonanych badań wytrzymałościowych [12]

W każdym punkcie pomiarowym zbadano po 10 próbek. W czasie badań dążono do tego, aby rozkład temperatury w czasie był zbliżony do warunków termicznych rzeczywistego pożaru. Za podstawę przyjęto rozkład „temperatura – czas” odpowiadający rozwojowi pożaru w drugiej fazie [14]. Na potrzeby analizy konstrukcji budowlanych pod względem odporności ogniowej, wzrost temperatury w pomieszczeniu objętym pożarem został określony za pomocą następującej zależności [1]:

$$T = 20 + 345 \cdot \log(8 \cdot t + 1) \quad (1)$$

gdzie:

T – temperatura [°C], t – czas [min]

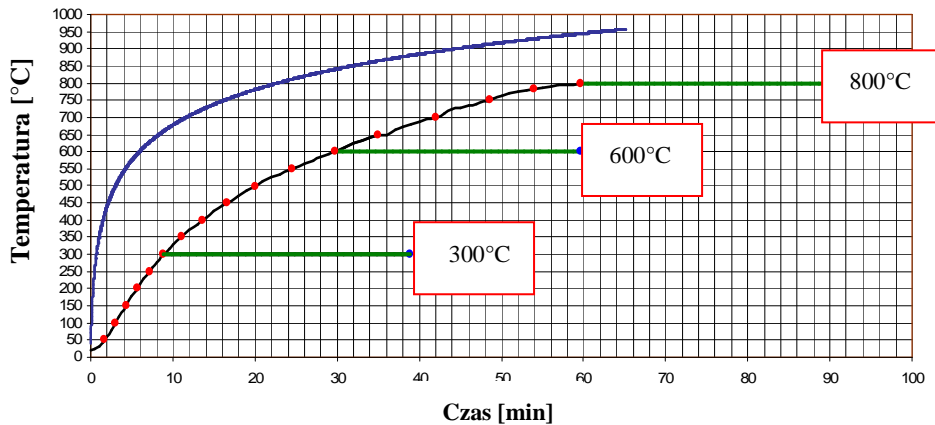
Ustalając program i warunki badań, dążono do tego, aby wyniki badań poza wartościami poznawczymi można było wykorzystać do celów inżynierskich. W badaniach przyjęto, że rozkład temperatury na powierzchni płyty betonowej można określić za pomocą zależności empirycznej opisaną wzorem [1]:

$$T_p = 1250 - (1250 - T_o) \cdot \operatorname{erf}(x) \frac{K}{2 \cdot \sqrt{t}} \quad (2)$$

gdzie:

K – współczynnik materiałowy, uzależniony od gęstości materiału, t – czas trwania pożaru [h], T_o – temperatura początkowa powierzchni płyty [°C], T_p – temperatura powierzchni płyty od strony grzania [°C], $\operatorname{erf}(x)$ – funkcja błędów Gaussa, nie mająca skończonego rozkładu na funkcje elementarne.

Ustalono metodą numeryczną rozkłady „temperatura–czas” na różnej głębokości płyty betonowej. Za podstawę przyjęto rozkład „temperatura – czas” odpowiadający rozkładowi temperatury w płycie betonowej na głębokości 15 mm (rys. 9).



Rys. 9. Założony rozkład „temperatura – czas” odpowiadający rozkładowi temperatury w płycie betonowej na głębokości 15 mm, z naniesionymi temperaturami wygrzewania próbek oraz pokazanym czasem wygrzewania w stałej temperaturze [12]

Podczas wygrzewania próbek betonowych C30/37 oraz C60/75 w temperaturze 1000°C w piecu w otoczeniu próbek, w konsekwencji otrzymano poważne zniszczenia próbek rys. 10 – 11. Graniczną temperaturę wygrzewania ustalono na 800°C.

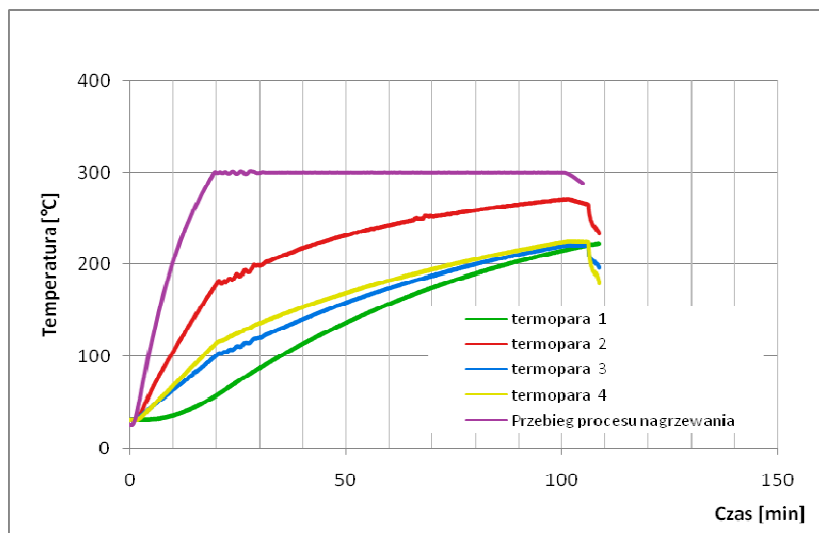


Rys. 10. Widok próbek z betonu klasy C30/37 po badaniu w temperaturze 1000 °C [12]

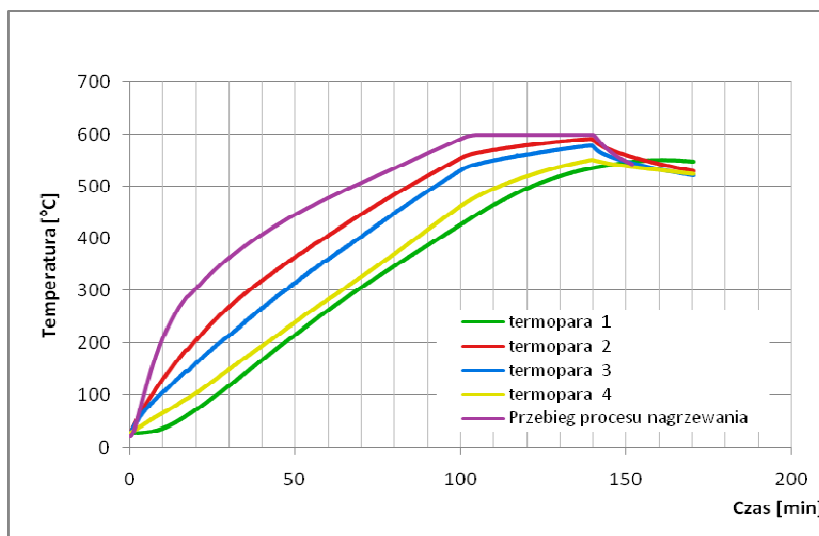


Rys. 11. Widok próbek z betonu klasy C60/75 po badaniu w temperaturze 1000 °C [13]

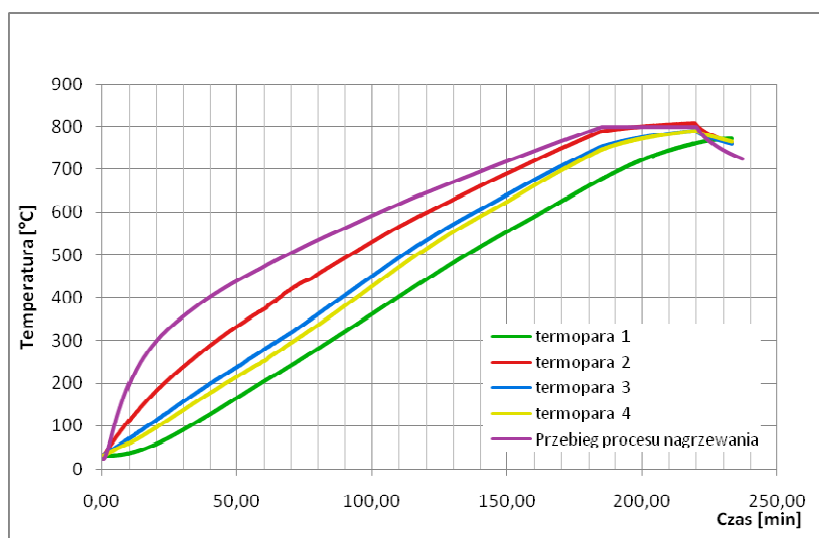
Rzeczywiste rozkłady temperatur występujące w miejscu rozmieszczenia termopar (na zewnątrz próbki – termopary zewnętrzne T_2 , T_3 , T_4 oraz wewnątrz próbki – termopara wewnętrzna T_1) pokazano przykładowo na rys. 12 – 14.



Rys. 12. Przebieg procesu nagrzewania wsadu pieca - temperatura 300°C [12]



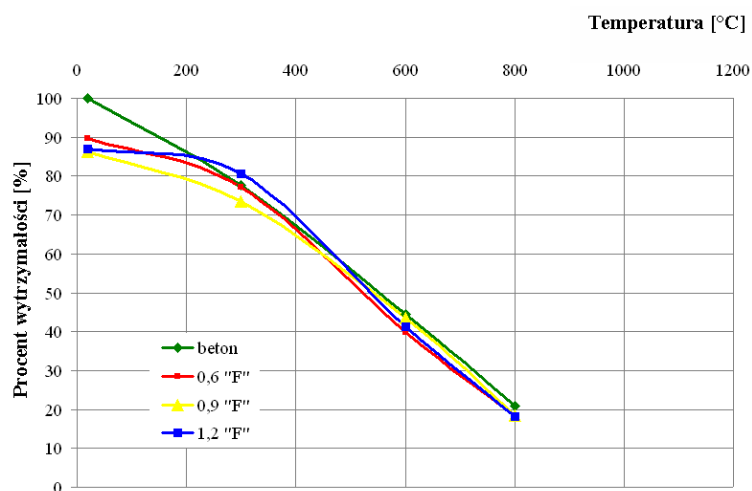
Rys. 13. Przebieg procesu nagrzewania wsadu pieca – temperatura 600°C [12]



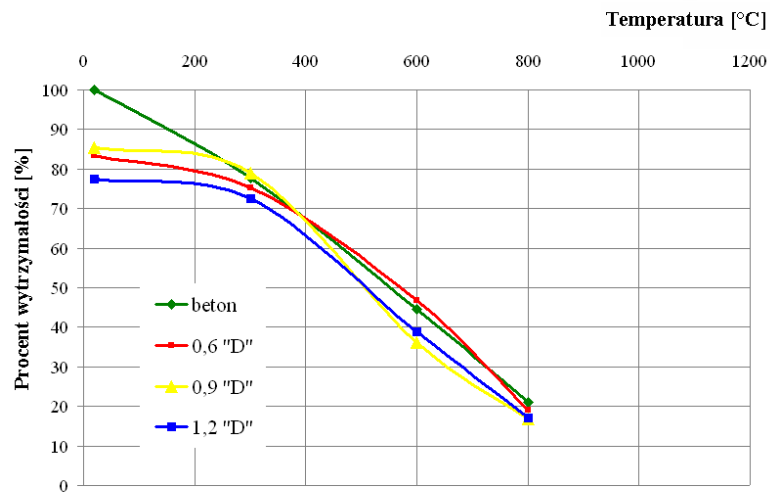
Rys. 14. Przebieg procesu nagrzewania wsadu pieca - temperatura 800°C [12]

5. Wyniki badań

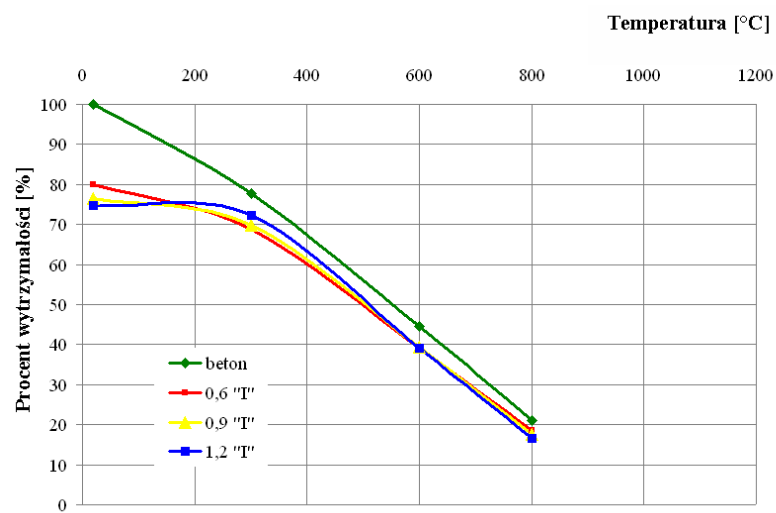
Po przeprowadzeniu badań zgodnie z wcześniej ustalonym programem badawczym otrzymano następujące wyniki przedstawione w formie wykresów rys. 15 – 32, opisujących spadek wytrzymałości poszczególnych grup fibrobetonu.



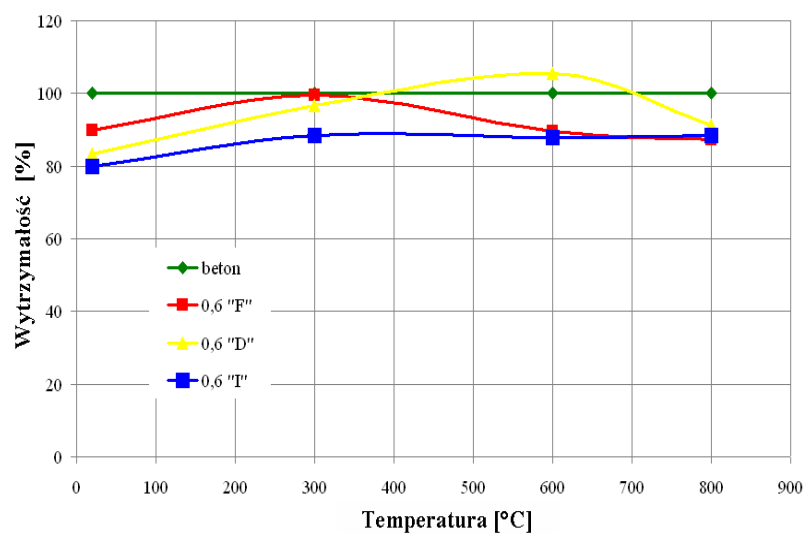
Rys. 15. Spadek wytrzymałości betonu z włóknami „F” w porównaniu do wytrzymałości betonu klasy C30/37 [12]



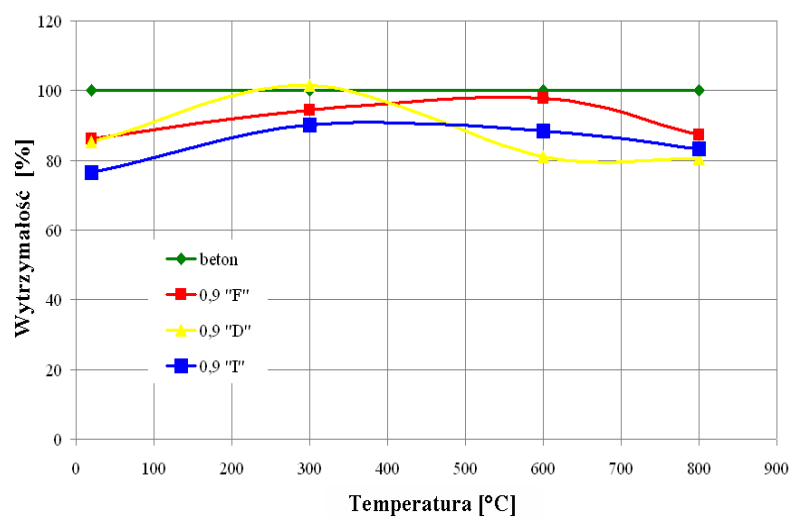
Rys. 16. Spadek wytrzymałości betonu z włóknami „D” w porównaniu do wytrzymałości betonu klasy C30/37 [12]



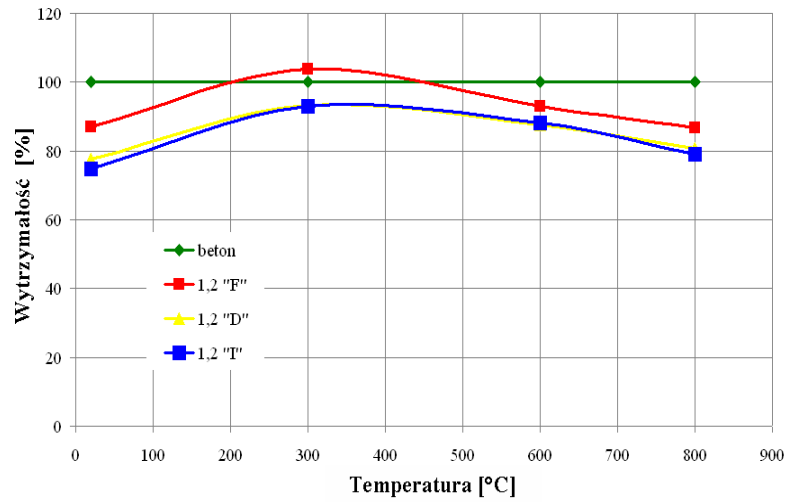
Rys. 17. Spadek wytrzymałości betonu z włóknami „T” w porównaniu do wytrzymałości betonu klasy C30/37 [12]



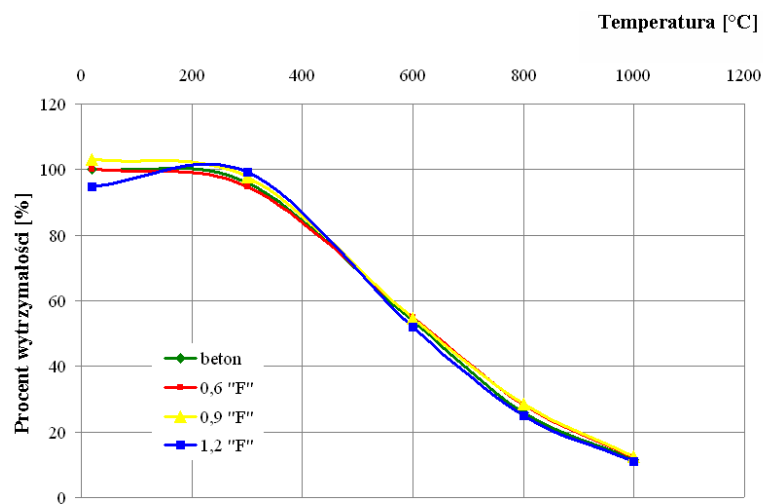
Rys. 18. Względny spadek wytrzymałości różnych fibrobetonów z dodatkiem włókien $0,6 \text{ kg/m}^3$ w stosunku do betonu klasy C30/37, w zależności od temperatury [12]



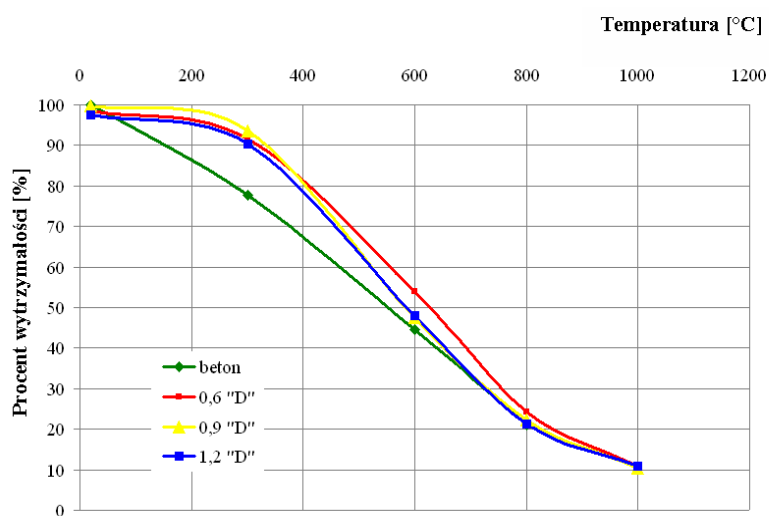
Rys. 19. Względny spadek wytrzymałości różnych fibrobetonów z dodatkiem włókien $0,9 \text{ kg/m}^3$ w stosunku do betonu klasy C30/37, w zależności od temperatury [12]



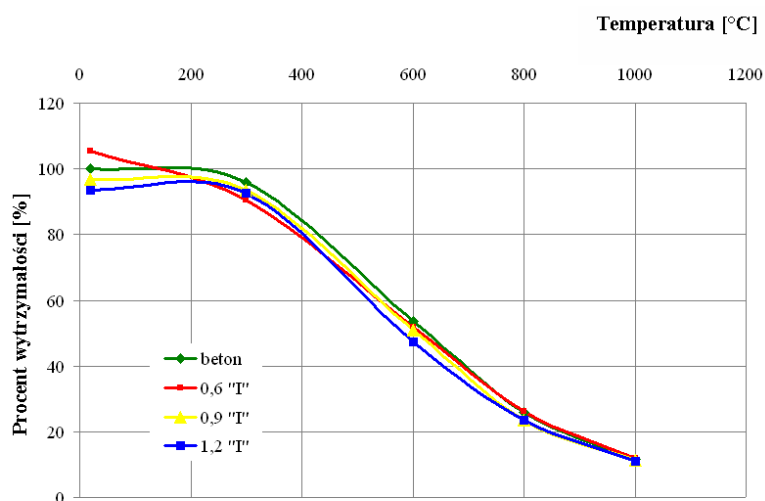
Rys. 20. Względny spadek wytrzymałości różnych fibrobetonów z dodatkiem włókien 1,2 kg/m³ w stosunku do betonu klasy C30/37, w zależności od temperatury [12]



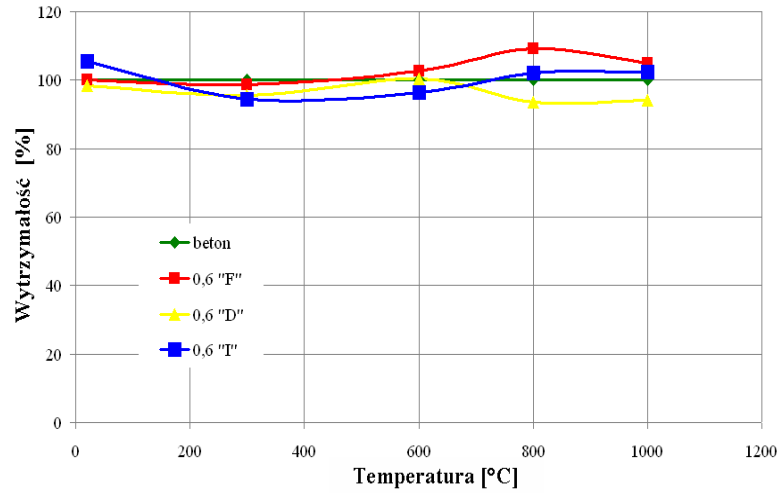
Rys. 21. Spadek wytrzymałości betonu z włóknami „F” w porównaniu do wytrzymałości betonu klasy C60/75 [12]



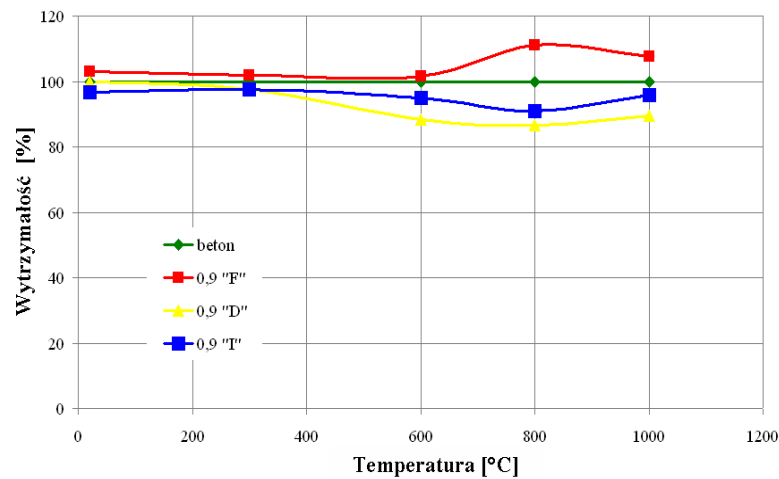
Rys. 22. Spadek wytrzymałości betonu z włóknami „D” w porównaniu do wytrzymałości betonu klasy C60/75 [12]



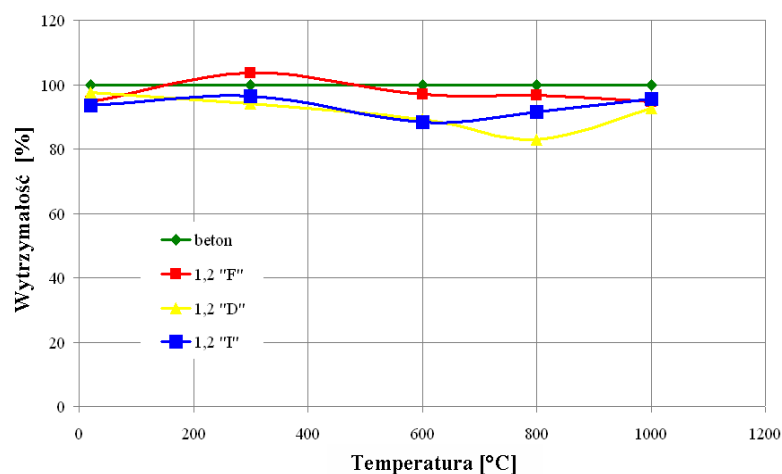
Rys. 23. Spadek wytrzymałości betonu z włóknami „I” w porównaniu do wytrzymałości betonu klasy C60/75 [12]



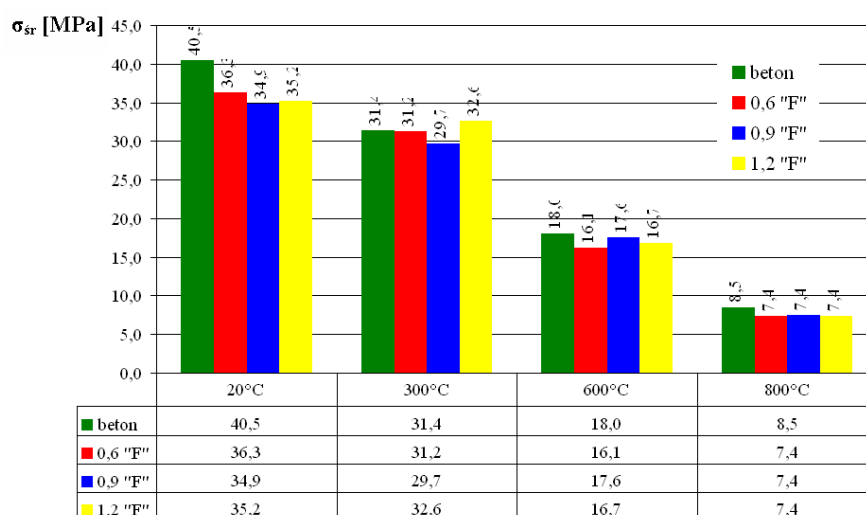
Rys. 24. Względny spadek wytrzymałości różnych fibrobetonów z dodatkiem włókien $0,6 \text{ kg/m}^3$ w stosunku do betonu klasy C60/75, w zależności od temperatury [12]



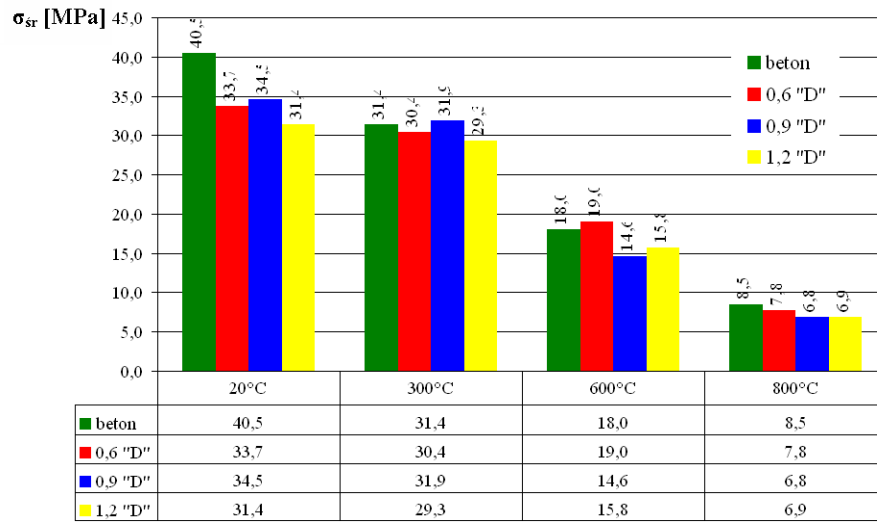
Rys. 25. Względny spadek wytrzymałości różnych fibrobetonów z dodatkiem włókien $0,9 \text{ kg/m}^3$ w stosunku do betonu klasy C60/75, w zależności od temperatury [12]



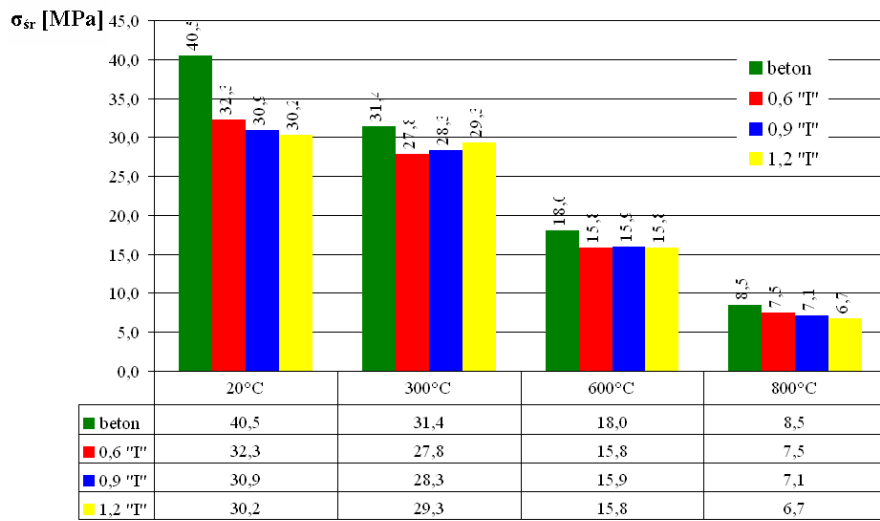
Rys. 26. Względny spadek wytrzymałości różnych fibrobetonów z dodatkiem włókien 1,2 kg/m³ w stosunku do betonu klasy C60/75, w zależności od temperatury [12]



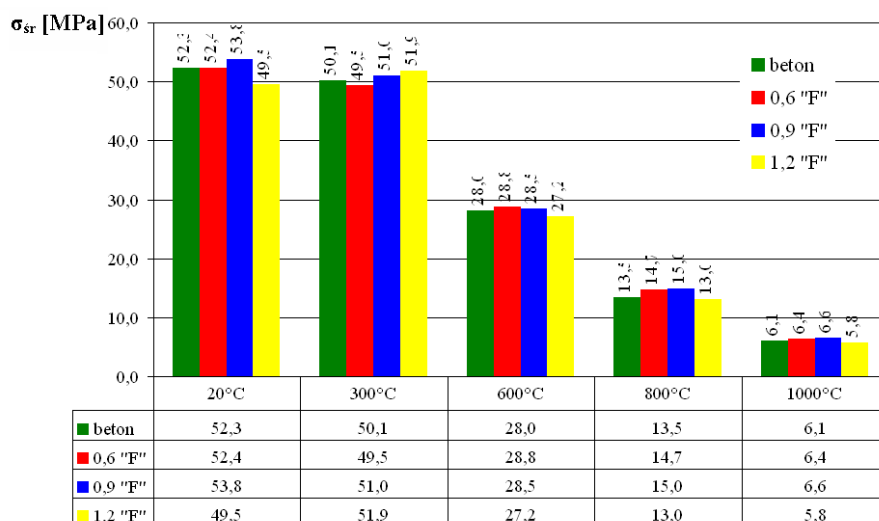
Rys. 27. Zestawienie wytrzymałości betonów z włóknami „F” o różnej ich zawartości w badanych temperaturach, względem czystego betonu klasy C30/37 [12]



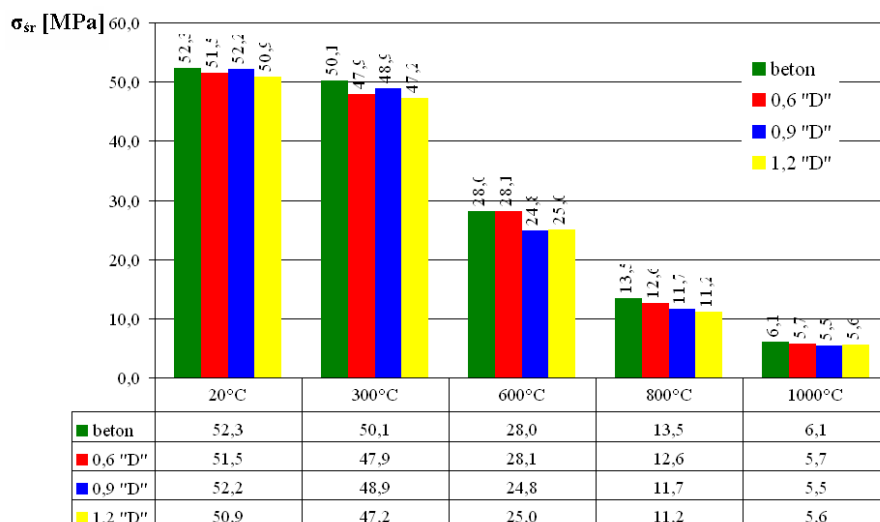
Rys. 28. Zestawienie wytrzymałości betonów z włóknami „D” o różnej ich zawartości w badanych temperaturach, względem czystego betonu klasy C30/37 [12]



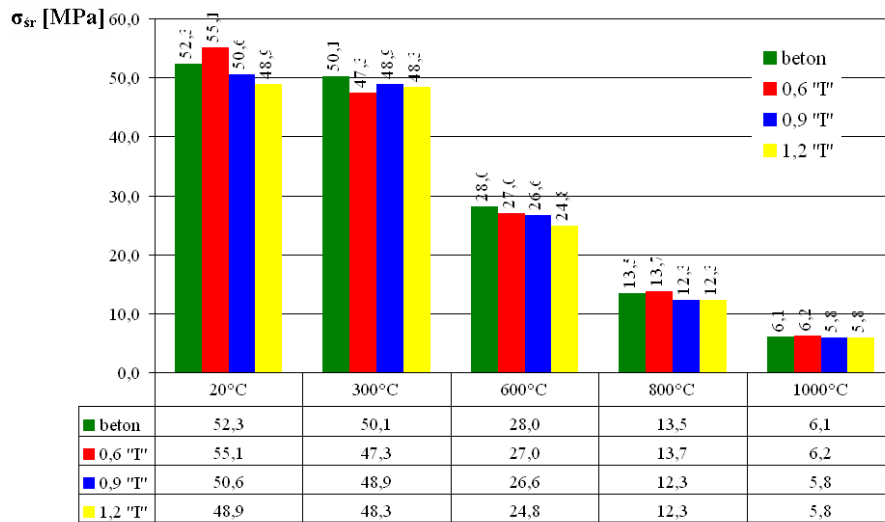
Rys. 29. Zestawienie wytrzymałości betonów z włóknami „T” o różnej ich zawartości w badanych temperaturach, względem czystego betonu klasy C30/37 [12]



Rys. 30. Zestawienie wytrzymałości betonów z włóknami „F” o różnej ich zawartości w badanych temperaturach, względem czystego betonu klasy C60/75 [12]



Rys. 31. Zestawienie wytrzymałości betonów z włóknami „D” o różnej ich zawartości w badanych temperaturach, względem czystego betonu klasy C60/75 [12]



Rys. 32. Zestawienie wytrzymałości betonów z włóknami „I” o różnej ich zawartości w badanych temperaturach, względem czystego betonu klasy C60/75 [12]

6. Wnioski z przeprowadzonych badań

Na podstawie uzyskanych wyników sformułowano następujące wnioski:

1. W temperaturze od 20°C do 300°C widoczny jest największy procentowy spadek wytrzymałości fibrobetonu w stosunku do czystego betonu klasy C30/37, niezależnie od rodzaju zastosowanych włókien oraz składu wagowego tych włókien. W przypadku fibrobetonu z zastosowaniem betonu klasy C60/75 spadek wytrzymałości jest porównywalny do czystego betonu dla włókien „I” oraz „F” oraz łagodniejszy dla włókien „D”, niezależnie od rodzaju zastosowanych włókien oraz składu wagowego tych włókien.
2. W temperaturach powyżej 300°C spadek wytrzymałości fibrobetonu jest zbliżony do czystego betonu klasy C30/37, bez dodatku włókien. Ta prawidłowość ma również miejsce w przypadku betonu wysokowartościowego klasy C60/75.
3. Nie zauważono istotnego wpływu rodzaju zastosowanych włókien na spadek wytrzymałości fibrobetonu w temperaturach wysokich dla betonu klasy C30/37 oraz dla betonu klasy C60/75.
4. Właściwości wytrzymałościowe fibrobetonu ulegają nieodwracalnemu obniżeniu w wysokiej temperaturze. W temperaturze 800°C wytrzymałość betonu oraz fibrobetonu klasy C30/37 spada o ponad 90%. Dla betonu oraz fibrobetonu wysokowartościowego klasy C60/75 wytrzymałość spada o ponad 90%, dopiero po wygrzaniu próbek w temperaturze 1000°C.

S U M M A R Y

Zoja BEDNAREK,
Tomasz DRZYMAŁA

**FIRE TEMPERATURE INFLUENCE ON STRENGTH PARAMETER
IN FIBER-REINFORCED CONCRETE**

The assumptions were the basis for a multidirectional analysis which enabled determining the fiber-reinforced concrete strength changes due to firing temperature, heating time, polypropylene fiber content and kind. The research results show that addition of polypropylene fibers reduces the strength properties of the C30/37 and C60/75 classes concrete.

PIŚMIENNICTWO

1. Bednarek Z.: Studium wpływu nieustalonych warunków termicznych na stosowane przy ocenie bezpieczeństwa pożarowego konstrukcji parametry wytrzymałościowe stali budowlanych. *Zeszyty Naukowe SGSP* 1992, nr 1(10).
2. Drzymała T.: Wpływ temperatur występujących w czasie pożaru na podstawowe parametry wytrzymałościowe wibrobetonu. SGSP, Warszawa 2006.
3. Erdakov P., Khokhryachkin D.: Impact of fire on the stability of tunnels. Master's Thesis, Luleå University of Technology 2005.
4. Gawin D., Pasavento F., Majorana C. E., Schrefler B.A.: Modelowanie procesu degradacji betonu w wysokich temperaturach. *Inżynieria i Budownictwo* 2003, nr 4.
5. Gawin D., Witek A., Pasavento F., Schrefler B.A.: Efficacy of various methods used for protection of concrete structures against thermal spalling in fire conditions, V Międzynarodowa Konferencja, Bezpieczeństwo pożarowe budowli. Warszawa – Miedzeszyn, 14 – 16 listopada 2005.
6. 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.
7. Kitchen A.: Fibres for passive fire protection In tunnels, *Tunneling & Trenchless Construction*, 2004.
8. Purkiss J. A.: Some mechanical properties of glass reinforced concrete at elevated temperatures. Proceedings of 3rd International Conference on Composite Structures, Paisley College (ed. I.H. Marshall) Elsevier Applied Science, London and New York, 230-241, 1985.
9. Purkiss J. A.: Steel fibre reinforced concrete at elevated temperatures. The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Vol. 6, 3, 179–184, 1984.

10. Schrefler B. A., Khoury G., Gawin D., Majorana C. E.: Thermo-hydro-mechanical modelling of high performance concrete at high temperatures, *Eng. Comp.*, Vol. 19, nr 7, 787–819, 2002.
11. Schrefler, B. A., Brunello P., Gawin D., Majorana C.E., Pesavento F. 2001.: Concrete at high temperature with application to tunnel fire. *Computational Mechanics* 29 (2002) 43–51, Springer-Verlag 2002.
12. Praca naukowo-badawcza: Wpływ temperatur występujących podczas pożaru na wybrane parametry wytrzymałościowe fibrobetonu, S/E – 422/8/2007, I Etap, kierownik naukowy Z. Bednarek. SGSP, Warszawa 2008.
13. Praca naukowo-badawcza: Badanie wpływu temperatur występujących podczas pożaru na wytrzymałość wibrobetonu. BW/E – 422/8/2008, kierownik pracy T. Drzymała. SGSP, Warszawa 2008.
14. ISO 834: Fire resistance test elements of building construction, International Standards, Geneva 1985.