



Tomasz DRZYMAŁA, Zoja BEDNAREK

WPŁYW WYSOKIEJ TEMPERATURY NA STRUKTURĘ ORAZ SPADEK WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCISKANIE DLA BETONU ZWYKŁEGO I WYSOKOWARTOŚCIOWEGO

Streszczenie

W pracy zamieszczono wyniki badań wytrzymałościowych próbek wykonanych z betonu zwykłego C30/37 oraz betonu wysokowartościowego C60/75, które poddano oddziaływaniu wysokiej temperatury zbliżonej do temperatury występującej w środowisku pożaru. Celem referatu jest wykazanie wpływu wygrzewania betonu w wysokiej temperaturze zgodnie z przyjętym rozkładem „temperatura – czas”, występującym w betonie w czasie pożaru, na strukturę oraz jego wytrzymałość na ściskanie. Podczas badań proces wygrzewania próbek przebiegał według tzw. krzywej pożarowej „temperatura – czas” obrazującej narastanie temperatury w trakcie standardowego pożaru. Temperatury wygrzewania zawierały się w zakresie od 20°C do 800°C. Po wygrzewaniu w piecu, próbki poddawano badaniom wytrzymałości na ściskanie oraz badaniom strukturalnym. Strukturę badano za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego. Na podstawie uzyskanych wyników sformułowano wnioski z wykonanych badań.

WPROWADZENIE

Wpływ wysokich temperatur występujących podczas pożaru powoduje nieodwracalne zmiany w strukturze betonu oraz obniżenie parametrów wytrzymałościowych. Należy nadmienić, że oprócz pożaru, w wyniku którego może nastąpić poważne zagrożenie dla nośności i stateczności elementu konstrukcyjnego występuje także szereg innych przypadków, w których wysokotemperaturowe właściwości materiałów odgrywać będą ważną rolę (zbiorniki procesowe, reaktory).

Norma PN-EN 1992-1-2:2008 (Eurokod 2) [8] zakłada, że działanie wysokiej temperatury na beton powoduje jego degradację wyrażającą się przede wszystkim obniżeniem wytrzymałości. Z powyższego podejścia wynika waga znajomości wpływu oddziaływania temperatury pożarowej na beton. Dostępne dane literaturowe nie pozwalają na jednoznaczne określenie wpływu wysokiej temperatury na właściwości mechaniczne i strukturalne betonu. Do takiego stwierdzenia upoważnia fakt, że końcowy wynik ogrzania betonu zależy od wielu parametrów, w tym przede wszystkim od rodzaju kruszywa, wymiarów próbki i metodyki badań, a także w szczególności od szybkości nagrzewania elementu i stanu początkowego zawilgocenia. Przyjmuje się, że wraz ze wzrostem temperatury następuje degradacja betonu, powodująca obniżenie wytrzymałości, a w dalszym etapie

uszkodzenia mechaniczne, w niektórych przypadkach również odpryskiwanie fragmentów powierzchniowych warstw betonu [1, 3, 4]. Powyższe założenia znalazły wyraz w normie [8], w której m.in. podane są dane do prognozowania względnej wytrzymałości betonu, w zależności od temperatury i rodzaju kruszywa. Rodzaj kruszywa został określony bardzo ogólnie, z podziałem na dwie grupy – kruszywa krzemianowe i kruszywa wapniowe (nazwa kruszywa krzemianowe nie ma odpowiednika w polskim nazewnictwie).

Celem artykułu jest wykazanie wpływu wygrzewania betonu w wysokiej temperaturze zgodnie z przyjętym rozkładem „temperatura – czas” występującym w betonie w czasie pożaru, na strukturę i skład fazowy zaczynu oraz jego wytrzymałość na ściskanie. Makrostrukturę próbek betonu oceniano na podstawie badań makroskopowych, wykonanych okiem nieuzbrojonym, mikrostrukturę analizowano w skaningowym mikroskopie elektronowym. Porównania przeprowadzono w stosunku do betonu nie poddanego działaniu wysokiej temperatury.

1. DANE OGÓLNE O STRUKTURZE BETONU

Pod pojęciem struktury betonu rozumie się zazwyczaj obraz jego budowy wewnętrznej, w tym rozmieszczenie elementów składowych, np. ziaren kruszywa, lepiszcza porów powietrznych oraz zespół relacji między tymi elementami, charakterystyczny dla tego układu. W technologii materiałów budowlanych przyjęto pojęcie tzw. Reprezentatywnego Elementu Objętości – w skrócie REO [6]. Jest to taka objętość materiału, w którym znajdują się wszystkie zasadnicze składniki kompozytu i to w proporcjach właściwie charakteryzujących cały materiał. Wielkość REO nie jest w danym kompozycie stała, lecz zależy od tego jakie cechy kompozytu mają być badane. W związku z tym ten sam beton może mieć inny REO z uwagi na badania wytrzymałości na ściskanie, inny ze względu na badanie rys, a jeszcze inny przy rozpatrywaniu makro lub mikrostruktury. Zazwyczaj analiza makroskopowa lub mikroskopowa betonu oparta jest na pomiarze wielkości liniowych przekrojów ziarn i porów w zgrądach betonu i obliczeniu na podstawie uzyskanych wyników pomiarów wybranych parametrów [2]. Odrębnym składnikiem kompozytów cementowych, do których zalicza się beton, są również strefy kontaktowe inaczej zwane też warstwami kontaktowymi między ziarnami kruszywa a zaczynem cementowym, między zbrojeniem a zaczynem cementowym.

1.1. Struktura i skład fazowy zaczynu w betonie

Najbardziej wrażliwym składnikiem betonu na zmienne warunki otoczenia, w tym wysoką temperaturę jest zaczyn cementowy. Zmiany w jego składzie i strukturze determinują właściwości mechaniczne betonu. Stwardniały zaczyn cementowy, składa się z uwodnionych krzemianów wapnia, wodorotlenku wapnia, uwodnionych glinianów, glinożelazianów i glinosiarczanów wapnia, pozostałości nie uwodnionych ziarn cementu, węgla wapnia i porów. Możliwości identyfikacji wybranych składników zaczynu w betonie, przy wykorzystaniu metod instrumentalnych, zestawiono w tabelicy 1 [2].

Tab. 1. Możliwości identyfikacji składników stwardniałego zaczynu za pomocą wybranych metod instrumentalnych

SKŁADNIK ZACZYNU	METODA BADAŃ			
	Mikroskopia		Rentgenowska analiza dyfrakcyjna	Termiczna analiza różnicowa (DTA, DTG i TG)
	Optyczna	Elektronowa		
Relikty nie uwodnionych ziarn cementu	+	+	+	-
Żużel i popiół lotny	+	+	+ [*]	+ [*]
Uwodnione krzemiany wapnia typu C-S-H	-	+	+	+ [*]
Wodorotlenek wapnia (portlandyt)	+	+	+	+
Ettringit	-	+	+	-
Uwodnione glinożelazyny wapnia typu AFm	-	+	+	+ [*]
Węglan wapnia kalcyt aragonit vateryt	+	+	+	+

[*]- Możliwość pośredniego oznaczenia danego składnika

1.2. Wpływ podwyższonej temperatury na strukturę i skład fazowy betonu

W literaturze istnieje wiele danych na temat wpływu krótkotrwałego nagrzewu na zmianę właściwości fizycznych i mechanicznych betonu. Istnieją jednak duże trudności porównywania tych danych ze sobą. Spowodowane to jest różnicami w metodach badań, a także zróżnicowaniem wieku i kształtu próbek, szybkością nagrzewu, czasem wygrzewania, istnieniem lub brakiem obciążenia przy nagrzewie, różnymi sposobami i szybkością chłodzenia. Zazwyczaj badania wpływu podwyższonej temperatury na beton prowadzi się w celu wykorzystania tych danych do oceny jakości betonu po pożarze.

Po pożarze konstrukcji, w zależności od wysokości temperatury i czasu działania ognia, beton zmienia swoją strukturę i skład fazowy, co determinuje zmianę jego charakterystyk wytrzymałościowych. Wysokość temperatury nagrzewu betonu w przekroju elementów betonowych lub żelbetowych zależy od temperatury w ognisku pożaru, a także od czasu trwania oddziaływania ognia. Zazwyczaj w warunkach laboratoryjnego nagrzewu próbek betonu najczęściej nie bierze się pod uwagę warunków pożaru, a przede wszystkim przeważnie krótkotrwałego działania ognia, stosunkowo szybkiego stygnięcia betonu, na przykład przy gaszeniu wodą, stanu obciążenia itp. Przy ogrzewaniu zaczynu w temperaturze do 1000°C ulegają rozkładowi wszystkie produkty hydratacji i hydrolizy, a także karbonatyzacji cementu. W zależności od wysokości temperatury i czasu jej oddziaływania na zaczyn w betonie zarówno stopień odwodnienia zaczynu jak i jego dekarbonatyzacji będzie zróżnicowany.

Zgodnie z Instrukcją ITB nr 279 [5] można oszacować wysokość temperatury, do której został nagrzan beton w trakcie pożaru lub oddziaływania wysokiej temperatury w warunkach laboratoryjnych, na podstawie badań makrostruktury betonu i zawartości w nim wybranych składników. W oparciu o zamieszczone dane [2, 5, 6] przeanalizowano wyniki obserwacji w SEM mikrostruktur próbek betonów wygrzewanych i do porównania nie wygrzewanych w wysokiej temperaturze.

2. PRZYGOTOWANIE PRÓBEK DO BADAŃ I PROCEDURY BADAWCZE

2.1. Struktura i skład fazowy zaczynu w betonie

Badaniom poddano próbki betonu klasy C30/37 oraz klasy C60/75 bez wygrzewania (beton porównawczy ok. 20°C) i wygrzewane w temperaturze: 300°C, 600°C i 800°C. Szczegółowe dane dotyczące składu betonu zestawiono w tablicy 2 i 3 [4]. Wszystkie składniki betonu spełniały wymagania właściwych norm.

Tab. 2. Skład mieszanki betonowej dla betonu klasy C30/37

Składniki	Jednostka miary	Beton klasy C30/37
Cement CEM I 32,5 R	[kg/m ³]	399
Piasek Wiślany 0,2 mm	[kg/m ³]	649
Żwir Jeziorki 2/16 mm	[kg/m ³]	1281
Plastyfikatory Chrysofluid CE40,	% mc	1
Woda	[dm ³]	143
w/c	-	0,358

Tab. 3. Skład mieszanki betonowej dla betonu klasy 60/75

Składniki	Jednostka miary	Beton klasy C60/75
Cement CEM I 42,5 R	[kg/m ³]	450
Piasek Wiślany 0,2 mm	[kg/m ³]	736
Grys granitowy „Graniczna” 2/8 mm	[kg/m ³]	456
Grys granitowy „Graniczna” 8/16 mm	[kg/m ³]	684
Plastyfikatory Chrysofluid CE40,	% mc	1,7
Woda	[dm ³]	143
w/c	-	0,318

Próbki w postaci walców o średnicy $d = 100$ mm i wysokości $h = 200$ mm dojrzewały 28 dni w warunkach normowych. Następnie próbki dojrzewały w warunkach laboratoryjnych przez okres pół roku. Po tym okresie próbki zostały poddane wygrzewaniu w wysokiej temperaturze w odpowiednio przystosowanym do tego celu średniotemperaturowym elektrycznym piecu komorowym typu PK 1100/5 wyposażonym w komputer z oprogramowaniem do rejestracji temperatur oraz sterowania procesem nagrzewania.

Badania próbek betonu wykonano na maszynie hydraulicznej EDZ – 100 przystosowanej do badania wytrzymałości na ściskanie z zamontowanym czujnikiem do pomiaru siły. Maszyna hydrauliczna oraz próbki betonowe spełniały wymagania normowe [9, 10].

Proces wygrzewania przebiegał zgodnie z krzywą „temperatura-czas” odpowiadającą rozkładowi temperatur w płycie betonowej na głębokości 50 mm. Prędkość nagrzewania wynosiła 5-6°C/min. Pomiaru temperatury dokonano za pomocą trzech termopar zewnętrznych (T_2 , T_3 , T_4) oraz termopary wewnętrznej (T_1). Po osiągnięciu założonej temperatury na przyjętym rozkładzie temperatury próbki wygrzewano w stałej temperaturze do wyrównania temperatury w całej próbce (na wszystkich czterech termoparach pomiarowych). Czas wygrzewania próbek był zależny od zaprogramowanego programu badań, celem którego było wyrównanie temperatury w całej próbce. Po wygrzewaniu próbki studzono wraz z piecem, po ostygnięciu poddano je badaniu wytrzymałości na ściskanie. Podczas wygrzewania próbek betonowych C30/37 w temperaturze 1000°C, uległy one poważnym zniszczeniom, (rys. 1). W związku z powyższym graniczną temperaturę wygrzewania ustalono na 800°C.



Rys. 1. Próbki betonu klasy C30/37 po wygrzaniu w temperaturze 1000°C [7]

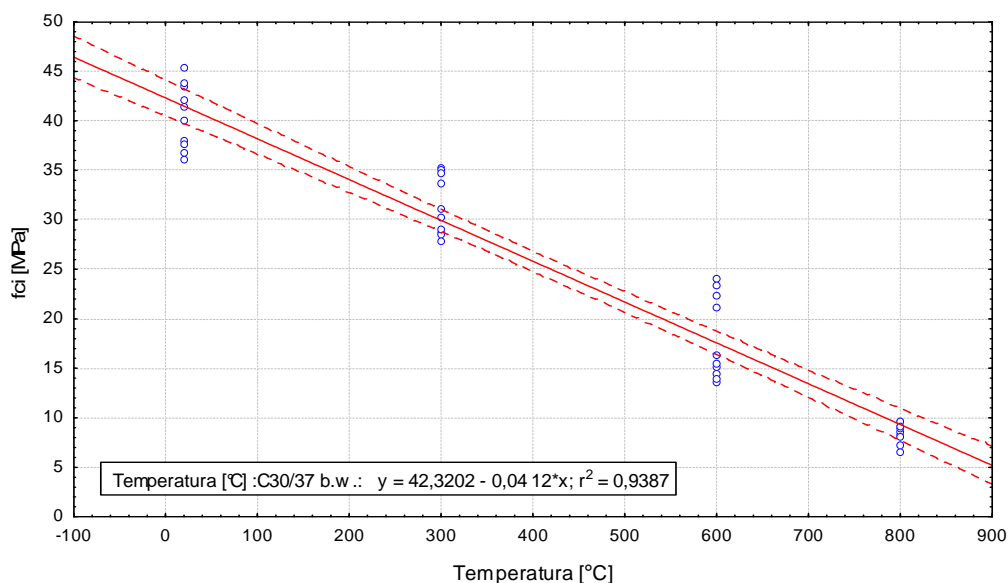
2.2. Preparaty do badań makro i mikrostruktury

Preparaty do badań makro i mikrostruktury przebadano w postaci fragmentów pozostałych po badaniu wytrzymałości na ściskanie. Z uzyskanych fragmentów próbek wykonano świeże przełamy, które naklejono na stoliki preparatowe, a następnie pokryto je warstwą węgla o grubości około 10 nm w urządzeniu Baltec SCD 005 z przystawką CEA 035. Powierzchnia preparatów poddana obserwacjom w SEM wynosiła 0,5 – 1,0 cm². Badaniom poddano wszystkie próbki betonów przewidziane do badań. Zakres stosowanych powiększeń od 100x do 50000x. Analizę mikroskopową wykonano przy pomocy skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) typu LEO 1530 produkcji firmy ZEISS, w Instytucie Wysokich Ciśnień PAN w Warszawie. Badaniom poddano próbki betonu klasy C30/37 i C60/75: bez ogrzewania i po ogrzewaniu w temperaturze 300°C, 600°C i 800°C.

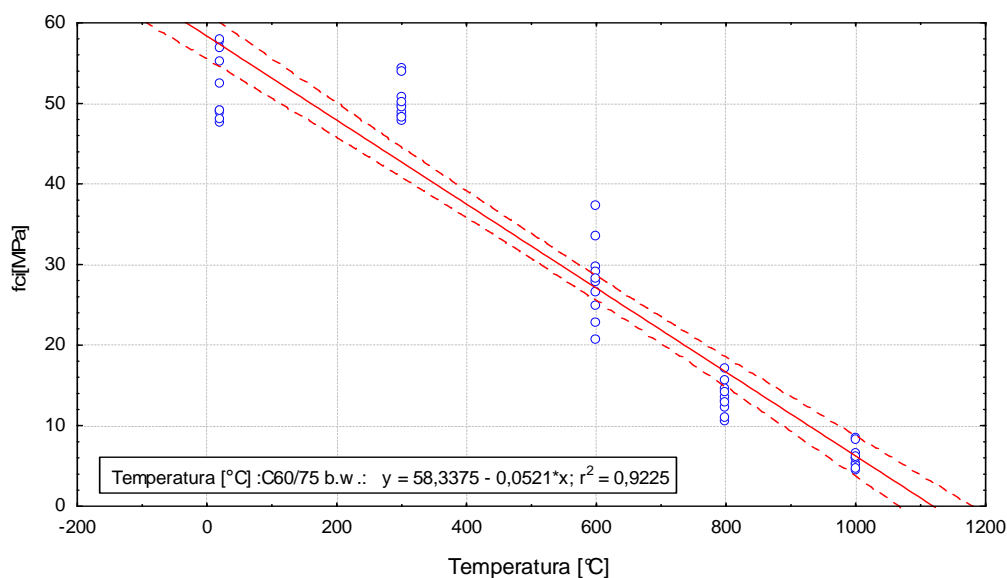
3. WYNIKI BADAŃ

3.1. Opracowanie wyników badań wytrzymałości na ściskanie

Wyniki badań opracowano w postaci tabelarycznej oraz graficznej. Badania miały charakter porównawczy. Dokonano porównań spadku wytrzymałości na ściskanie na skutek wzrostu temperatury dla betonu zwykłego klasy C30/37 oraz wysokowartościowego klasy C60/75. W każdym punkcie pomiarowym zbadano po 10 próbek. Przykładowe wykresy wynikowe przedstawiono na rys. 2, 3 oraz 4. Na wykresie (rys. 2 i 3) przedstawiono przebieg linii trendu oraz poziom ufności. Wartość współczynnika determinacji jest na wysokim poziomie wskazuje to na wysoką jakość dopasowania rzeczywistej regresji wytrzymałości z kierunkiem linii trendu.

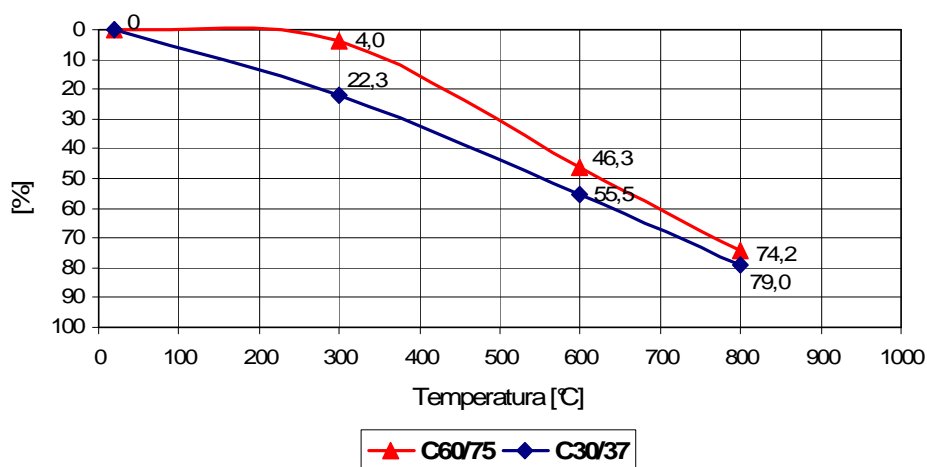


Rys. 2. Wykres regresji wytrzymałości na ściskanie w funkcji temperatury dla betonu klasy C30/30



Rys. 3. Wykres regresji wytrzymałości na ściskanie w funkcji temperatury dla betonu klasy C60/75

Na rys. 3 przedstawiającego procentowy spadek wytrzymałości betonu klasy C30/37 oraz C60/75 w funkcji temperatury. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie badanych betonów zestawiono w tabelicy 4 [2, 7].



Rys. 3. Spadek procentowy wytrzymałości betonu klasy C30/37 oraz C60/75

Tab. 4. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie betonu klasy C30/37 oraz C60/75 wygrzewanego w wysokiej temperaturze

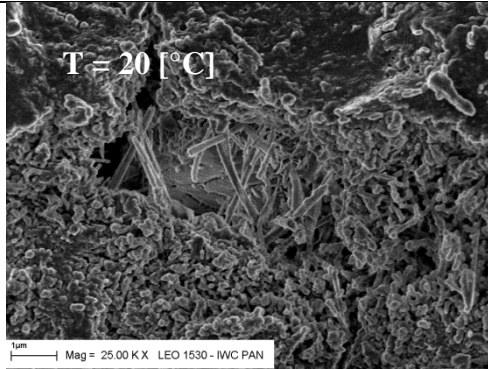
Temperatura [°C]	f_{cm} [MPa]	f_{max} [MPa]	f_{min} [MPa]
C30/37			
20°C	40,45	45,33	36,06
300°C	31,41	35,27	27,76
600°C	17,99	24,06	13,50
800°C	8,49	9,68	6,49
C60/75			
20°C	52,25	57,81	47,62
300°C	50,13	54,24	47,75
600°C	28,04	37,31	20,63
800°C	13,46	17,06	10,57
1000°C	6,09	8,53	4,46

3.2. Makrostruktura betonu i mikrostruktura zaczynu w betonie

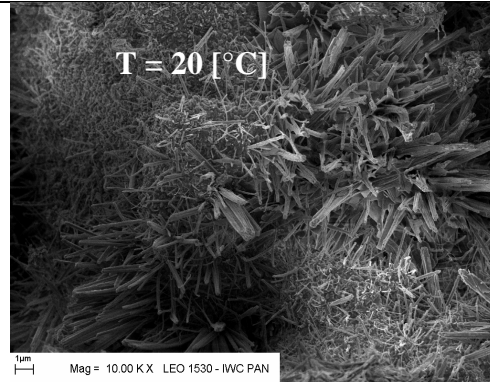
W niniejszym opracowaniu podano skrócone zestawienie wybranych cech szczególnych makro i mikrostruktury zaczynu w badanych próbkach, związanych z określoną temperaturą nagrzewu próbek, uzyskanych z obserwacji makroskopowych i mikroskopowych w SEM. Analiza makroskopowa objęła wyniki obserwacji próbek okiem nieuzbrojonym. Analiza w SEM była prowadzona najczęściej w powiększeniach od 100 do 25000x, sporadycznie wykonywano obserwacje w powiększeniu 50000x i większym, tablica 5. Charakterystyczne fotografie w SEM zaczynów w badanych próbkach betonu zamieszczono na rysunkach 4 – 11 [2, 7].

Tab. 5. Wybrane cechy struktury betonu C30/37 oraz C60/75 powstałej pod wpływem działania zróżnicowanej temperatury

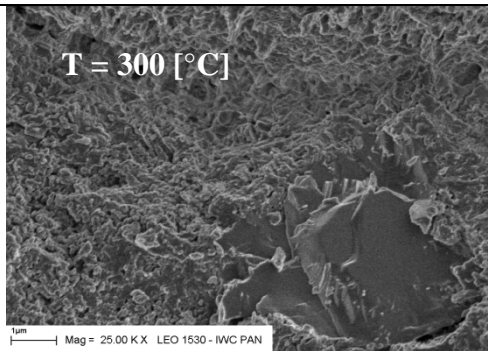
Temperatura	Wybrane cechy struktury zaczynu w próbkach betonu C30/37	Wybrane cechy struktury zaczynu w próbkach betonu C60/75
20°C	Cechy wspólne	
	W skali makroskopowej struktura zwarta. W mikrostrukturze zaczynu wyróżniono: droбноziarnistą, a miejscami drobnowłóknistą masę złożoną z uwodnionych krzemianów wapnia typu C-S-H o wielkości do 0,5µm.	
20°C	Kryształy wodorotlenku wapnia, w postaci stosunkowo dużych tabliczek o zarysach sześciokątnych, budowie warstwowej i wielkości od 2 do 6 µm, kryształy ettringitu, przeważnie jako skupiska igiełkowatych postaci, o długości do 2 µm i średnicy około 0,2 µm oraz relikty nie uwodnionego klinkieru cementu portlandzkiego w postaci ziarn o nieregularnym kształcie i częściowo skorodowanych powierzchniach.	Kryształy wodorotlenku wapnia, w postaci stosunkowo dużych tabliczek o zarysach sześciokątnych, budowie warstwowej i wielkości ok. 1 µm, kryształy ettringitu, przeważnie jako skupiska igiełkowatych postaci, o długości do 9 µm i średnicy około 0,2 µm, pojedyncze tabliczki uwodnionych glinianów wapnia o wielkości do 7 nm oraz relikty nieuwodnionego klinkieru cementu portlandzkiego w postaci ziarn o nieregularnym kształcie i częściowo skorodowanych powierzchniach.
	Cechy wspólne	
300°C	W skali makroskopowej struktura zwarta. W mikrostrukturze zaczynu wyróżniono: drobnoporowatą i droбноziarnistą, a miejscami masę złożoną z uwodnionych krzemianów wapnia typu C-S-H o wielkości do 0,5µm, kryształy wodorotlenku wapnia w postaci stosunkowo dużych tabliczek o zarysach sześciokątnych, budowie warstwowej i wielkości do 4 µm.	
	Nie stwierdzono obecności kryształów ettringitu, relikty nie uwodnionego klinkieru cementu portlandzkiego występują w postaci większych ziarn o nieregularnym kształcie.	Relikty nieuwodnionego klinkieru cementu portlandzkiego występują w postaci większych ziarn o nieregularnym kształcie; nie stwierdzono obecności kryształów ettringitu, jedynie sporadycznie stwierdzono obecność drobnych kryształów włóknistych, podobnych morfologicznie do ettringitu.
600°C	Cechy wspólne	
	W skali makroskopowej beton wykazuje rysy, kruszywo wylupuje się z zaprawy, a zaczyn ulega dalszemu rozkruszeniu pod słabym naciskiem. Mikrostruktura zaczynu jest silnie porowata, wyróżniono w niej: masę złożoną z uwodnionych krzemianów wapnia typu C-S-H w postaci drobnych, jakby rozmytych płytek o wielkości od 0,1 do 0,7µm, kryształy wodorotlenku wapnia, w postaci stosunkowo dużych, sześciokątnych, tabliczek o zarysach rozmytych, częściowo odkształconych, budowie warstwowej i wielkości do 4 µm	
600°C	Nie stwierdzono obecności kryształów ettringitu, relikty nie uwodnionego klinkieru cementu portlandzkiego występują w postaci większych ziarn o nieregularnym kształcie.	Nie stwierdzono obecności dużych kryształów ettringitu, jedynie pojedyncze, drobne rurkowate kryształy prawdopodobnie tego związku, relikty nieuwodnionego klinkieru cementu portlandzkiego występują w postaci większych ziarn o nieregularnym kształcie.
	Cechy wspólne	
800°C	W skali makroskopowej beton wykazuje liczne rysy i dezintegruje się pod słabym naciskiem. Mikrostruktura zaczynu jest silnie porowata, wykazuje też dezintegrację z równoczesną wyraźną krystalizacją w mikroobszarach włóknistych kryształów, morfologicznie podobnych do ettringitu, o długości do 1 µm i zróżnicowanej grubości od 0,1 do 0,5 µm oraz kryształów w postaci pojedynczych płytek o pokroju heksagonalnym i wielkości od 0,5 do 1 µm.	
	Identyfikacja tych dwóch, nowopowstałych składników zaczynu wymaga wykonania rentgenowskiej analizy dyfrakcyjnej. Relikty nie uwodnionego klinkieru cementu portlandzkiego występują w postaci większych ziarn o nieregularnym kształcie i licznych porach, widocznych na powierzchni ziarn, prawdopodobnie po wytrawionych termicznie produktach hydratacji.	Wykonana rentgenowska analiza dyfrakcyjna zaczynu wyseparowanego z tego betonu nie wykazała jednak obecności portlandytu i ettringitu. Relikty nieuwodnionego klinkieru cementu portlandzkiego występują w postaci większych ziarn o nieregularnym kształcie i licznych porach, widocznych na powierzchni ziarn, prawdopodobnie po wytrawionych termicznie produktach hydratacji.



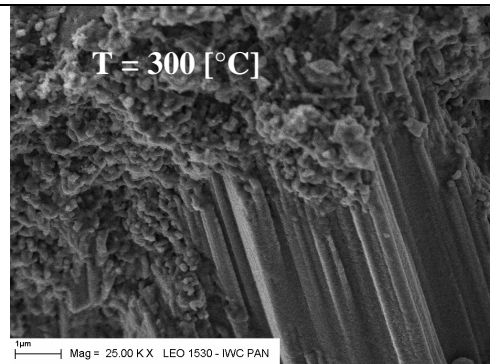
Rys. 4. Zaczyn w betonie C30/37, produkty hydratacji cementu C-S-H i ettringit (E)



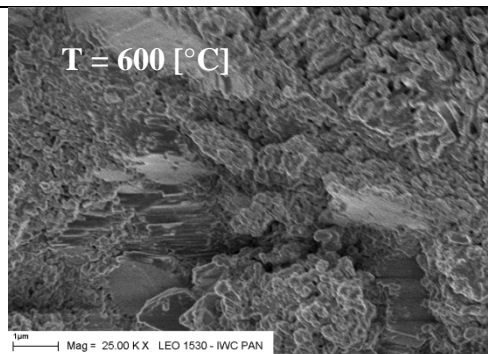
Rys. 5. Zaczyn w betonie C60/75, produkty hydratacji cementu C-S-H i ettringit (E)



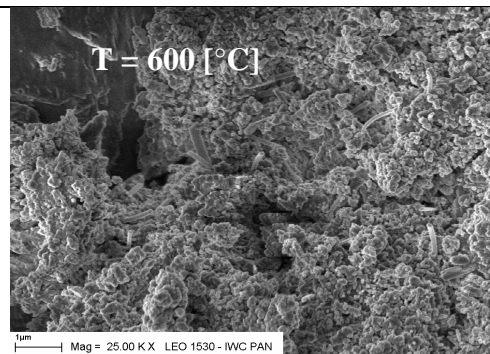
Rys. 6. Zaczyn w betonie C30/37 C-S-H i relikty klinkieru (K)



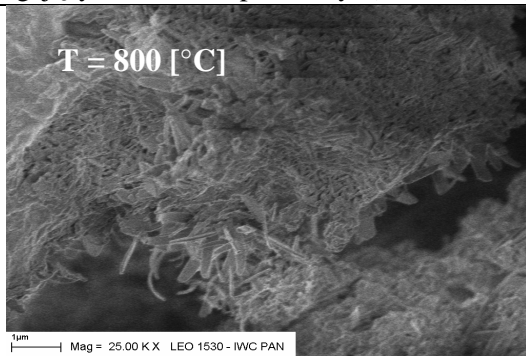
Rys. 7. C-S-H, relikty klinkieru (C60/75)



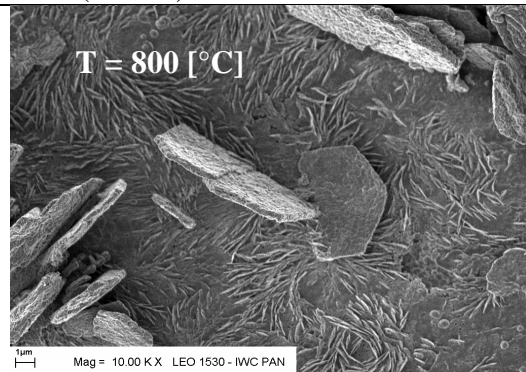
Rys. 8. Wytrawione termicznie C-S-H i ulegający rozkładowi portlandyt (C30/37)



Rys. 9. Zmienione powierzchniowo C-S-H, relikty klinkieru (C60/75)



Rys. 10. Mikrostruktura zaczynu w betonie (C30/37) krystalizacja włóknistych kryształów, pory powietrzne



Rys. 11. Nowopowstałe produkty w zaczynie w postaci płytek (C60/75)

WNIOSKI Z PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

Na podstawie przeprowadzonych badań wytrzymałościowych, obserwacji makroskopowych okiem nieuzbrojonym oraz mikroskopowych w SEM próbek betonów, poddanych wygrzewaniu w wysokiej temperaturze (300°C, 600°C i 800°C) i porównawczo dojrzewających w temperaturze 20°C można stwierdzić:

1. Właściwości wytrzymałościowe betonu ulegają znaczącemu obniżeniu w wysokiej temperaturze. W temperaturze 800°C wytrzymałość betonu klasy C30/37 spada o około 80%. Natomiast dla betonu klasy C60/75 spadek wytrzymałości jest nieco mniejszy i wynosi 74,2%.
2. Betony wysokowartościowe, są bardziej odporne na działanie wysokich temperatur. Spadek wytrzymałości na ściskanie o około 80% występuje w przypadku betonu C30/37 w temperaturze 800°C (temperatura krytyczna), w przypadku betonu C60/75 ten spadek obserwujemy w temperaturze 1000°C.
3. W skali makroskopowej badane próbki betonu nie poddawane działaniu wysokiej temperatury oraz wygrzewane w temperaturze do 300°C nie wykazują istotnych różnic i charakteryzując się zwartą strukturą. Wygrzewanie próbek w 600°C powoduje powstanie rys i osłabia kontakty kruszywo-zaczyn w betonach. Wygrzewanie próbek w temperaturze 800°C pogłębia proces powstawania rys i spękań w próbkach, a nawet doprowadza do ich częściowej dezintegracji pod słabym naciskiem.
4. Wygrzewanie próbek betonu w temperaturze 300°C powoduje wzrost porowatości zaczynu i brak kryształów ettringitu. Wygrzewanie próbek betonu w temperaturze 600°C i 800°C wpływa na dalszy wzrost porowatości zaczynu i powoduje pojawienie się składników w postaci włóknistych kryształów, podobnych do ettringitu i płytek, podobnych do portlandytu, tylko mniejszych o wielkości do 1 µm.
5. Zmianom makro i mikrostruktury betonu zwykłego klasy C30/37 wygrzewanego w 300°C towarzyszy spadek wytrzymałości na ściskanie o 22,3 %. Zmianom makrostruktury i mikrostruktury betonu wygrzewanego w temperaturze 600°C i 800°C, towarzyszą spadki wytrzymałości na ściskanie, które odpowiednio wynoszą dla temperatury 600°C przeszło 50 %, a dla temperatury 800°C około 80 %.
6. Zmianom makro i mikrostruktury betonu wysokowartościowego klasy C60/75 wygrzewanego w 300°C towarzyszy spadek wytrzymałości na ściskanie o 4,0 %. Zmianom makrostruktury i mikrostruktury betonu wygrzewanego w temperaturze 600°C i 800°C, towarzyszą spadki wytrzymałości na ściskanie, które odpowiednio wynoszą dla temperatury 600°C około 46,3 %, a dla temperatury 800°C około 74,2 %.
7. Biorąc pod uwagę istotne różnice występujące w przypadku oddziaływania na konstrukcje betonowe temperatur o różnej wysokości oraz różne skutki tego oddziaływania w postaci zmian struktury i wytrzymałości, czasem niewidocznych gołym okiem, niezwykle istotne jest ustalenie w miarę dokładne temperatur występujących w czasie pożaru w otoczeniu konstrukcji betonowej.

EFFECT OF HIGH TEMPERATURE ON THE STRUCTURE AND STRENGTH OF CONCRETE MADE OF NORMAL STRENGTH CONCRETE (NSC) AND HIGH STRENGTH CONCRETE (HSC)

Abstract

This paper presents the results of strength studies of the concrete samples, made of normal strength concrete C30/37 and high strength concrete C60/75, subjected to high temperature close to temperatures occurring during the fire. The objective of this paper was to demonstrate the impact of concrete's heating in high temperature, according to the assumed "temperature-time" distribution curve occurring during the fire, on the concrete's structure and compression strength. During the studies a process of samples heating proceeded in accordance with so-called "temperature – time" fire curve presenting temperature increase during a standard fire. Heating temperatures were in a range between 20°C and 800°C. After heating in the oven, compression strength and structure tests of the samples were conducted. The structure was investigated by means of the scanning electron microscope. Based on the obtained results of the studies some conclusions were formulated.

BIBLIOGRAFIA

1. Abramowicz M., Drzymała T., Kowalski R.: *Praktyczne aspekty wpływu wysokiej temperatury na beton oraz fibrobeton z dodatkiem włókien polipropylenowych*. Międzynarodowa Konferencja „Dni Betonu”, Wisła 2012.
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.
3. Drzymała T., Bednarek Z.: *Wybrane kierunki zastosowań fibrobetonu z dodatkiem włókien polipropylenowych poddanego oddziaływaniu wysokiej temperatury*. Logistyka nr 6/2011.
4. Drzymała T., Bednarek Z.: *Analiza wyników badań modułu sprężystości fibrobetonu z dodatkiem włókien polipropylenowych poddanego oddziaływaniu wysokiej temperatury*. Logistyka nr 6/2011.
5. Jarmontowicz A., Krzywobłocka-Laurów R.: *Wytyczne szacowania temperatury betonu po nagrzewie na podstawie badań laboratoryjnych, Instrukcja nr 279*. Wyd. ITB, Warszawa 1986.
6. Praca zbiorowa pod redakcją A. M. Brandta i J. Kasperkiewicza: *Metody diagnozowania betonów i betonów wysokowartościowych na podstawie badań strukturalnych*. Wyd. IPPT PAN, Warszawa 2003.
7. Praca naukowo - badawcza: *Wpływ temperatur występujących podczas pożaru na wybrane parametry wytrzymałościowe fibrobetonu*. S/E – 422/8/2007, I Etap, kierownik naukowy Bednarek Z., SGSP Warszawa 2008.
8. PN-EN 1992-1-2:2008 Eurokod 2: *Projektowanie konstrukcji z betonu Część 1-2: Reguły ogólne. Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe*.
9. PN-EN 12390-1:2001 *Badania betonu. Część 1: Kształt, wymiary i inne wymagania dotyczące próbek do badania i form*.
10. PN-EN 12390-4:2001 *Badania betonu. Część 4: Wytrzymałość na ściskanie. Wymagania dla maszyn wytrzymałościowych*.

Autorzy:

dr inż. Tomasz DRZYMAŁA – Szkoła Główna Służby Pożarniczej w Warszawie

prof. dr hab. inż. Zoja BEDNAREK – Szkoła Główna Służby Pożarniczej w Warszawie