

Wpływ powierzchni właściwej żużla wielkopieczowego na właściwości zapraw o dużej wytrzymałości

Effect of the ground granulated blast furnace slag specific surface on the properties of high strength mortars

1. Wstęp

Rozwój materiałów, a w tym również materiałów budowlanych, już od wielu lat koncentruje się na poszukiwaniu rozwiązań o możliwie dużej trwałości oraz bardzo dobrych właściwościach użytkowych, związanych na przykład z wysoką wytrzymałością mechaniczną, przy zapewnieniu małego zużycia energii w procesie ich wytwarzania. W związku z zapotrzebowaniem na tego rodzaju materiały, w ostatnim dwudziestolecu rozwinięta została technologia betonów wysoko-wartościowych BWW, a w ostatnim okresie obserwuje się rozwój szeregu technologii specjalistycznych, charakteryzujących się możliwością wytwarzania materiałów o dużej wytrzymałości i trwałości, które znalazły zastosowanie praktyczne.

W kompozytach o wysokich lub ultrawysokich wytrzymałościach (1-5), w roli spoiwa wykorzystuje się cementy portlandzkie najwyższej klasy, bez dodatków mineralnych. Zawierają one zazwyczaj dodatek pyłu krzemionkowego w celu zmniejszenia porowatości tworzywa i poprawy jego mikrostruktury. Wcześniejsze badania autorów (6) pokazały, że zastosowanie w roli spoiwa żużla wielkopieczowego, czy to w postaci cementu CEM II/B-S, czy też jako dodatku do cementu CEM I, nie wpływa na pogorszenie cech użytkowych wytwarzanych zapraw, zatem badania w tym kierunku są uzasadnione.

Podstawowym celem niniejszej pracy jest ustalenie właściwości fizycznych, jakimi powinien się charakteryzować żużel, aby pozwalał on na wytwarzanie zapraw o takich samych lub zbliżonych właściwościach co zaprawy z samego cementu portlandzkiego. Dlatego też wykonano badania rozwoju wytrzymałości zapraw z cementu portlandzkiego, którego część zastępowano zmielonym żużlem wielkopieczowym w ilości 20 lub 40%. Stosowano żużle zmielone do trzech różnych powierzchni właściwych, w celu ustalenia najbardziej korzystnego wariantu technologicznego, pozwalającego na wytworzenie zapraw o właściwościach co najmniej zbliżonych do wzorca uzyskiwanego z cementu portlandzkiego.

1. Introduction

The building materials development have been focused for many years on the production of composites which are characterized by the following features: durability as highest as it is possible and very good practical properties, originated from high strength, together with minimized production costs. The high performance concrete technology, spread out for the last twenty years, is the best example of this trend. Many other new, special concrete technologies leading to the production of high strength concrete were put into practice more recently.

In the production of ultra high strength concrete composites the Portland cements class 52,5 with no additives are used (1-5). The silica fume is also added to reduce porosity and improve the microstructure of cement matrix. However, it has been proved in our previous studies (6) that the ground granulated blast furnace slag does not impact the practical properties, as it is introduced as CEM II/B-S or blended with CEM I. Therefore the further studies on the blast furnace slag effect were carried out.

The experiments in this report aimed in the blast furnace processing (grinding), to produce the material which could be used as partial Portland cement replacement, having very similar strength properties as the reference neat Portland cement used. The blast furnace slag was ground to obtain the three samples with different specific surface values. The Portland cement replacement in the mortars was 20% and 40% respectively. The effect of slag specific surface on the strength development was then investigated.

2. Experimental

2.1. Materials

The commercial cement CEM I 52,5 R and the granulated blast furnace slag from Katowice metallurgical plant were used; the characteristics of materials is given in Tables 1 and 2. The three

2. Program badań

2.1. Właściwości fizykochemiczne składników zapraw

Do badań zastosowano przemysłowy cement CEM I 52,5 R oraz żużel wielkopiecowy, których charakterystykę podano w tablicach 1 i 2. Żużel z Huty Katowice zmielono do trzech powierzchni właściwych: 380m²/kg (żużel L), 500m²/kg (żużel M) i 580m²/kg (żużel H). Ponadto do niektórych zapraw dodawano pył krzemionkowy, a w celu zmniejszenia w/c wprowadzano superplastyfikator na bazie eteru polikarboksylogowego. W końcu składnikiem zapraw był piasek kwarcowy frakcji 0-1mm, uzyskany z piasku normowego, po odsianiu frakcji większej od 1 mm.

Tablica 1 / Table 1

WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE CEMENTU CEM I 52,5R

PHYSICAL PROPERTIES OF CEM I 52,5R

Właściwość/Property		Wartość/Value
Wytrzymałość na ściskanie/ Compressive strength, MPa	2 dni/after 2 days	35,3
	28 dni/after 28 days	59,7
Początek wiązania/Initial setting time		170 min
Stołość objętości/ Volume stability		1,0 mm
Powierzchnia właściwa wg Blaine'a/Blaine specific surface		415 m ² /kg

Tablica 2 / Table 2

SKŁAD CHEMICZNY ŻUŻLA WIELKOPIECOWEGO I CEMENTU

CHEMICAL COMPOSITION OF GBSF AND CEMENT

Skład chemiczny/Chemical composition, %		
Rodzaj składnika Component	Granulowany żużel wielkopiecowy Granulated blast furnace slag	Cement portlandzki Portland cement
SiO ₂	37,03	18,90
CaO	42,54	62,90
Al ₂ O ₃	8,52	5,50
MgO	7,60	1,50
Fe ₂ O ₃	1,28	3,00
Na ₂ O	0,95	0,18
K ₂ O	0,69	1,04
SO ₃	0,34	3,41
Cl	0,05	-
Straty prażenia/LOI	0,60	3,10

2.2. Skład zapraw

Skład mieszanin suchych składników oraz określone wskaźniki w/s (spoiwo- liczone jako suma składników wiążących: cementu, żużla i pyłu krzemionkowego) przedstawiono w tablicy 3. Wytrzymałość na ściskanie i na rozciąganie przy zginaniu oznaczano po 1, 2, 7, 28 i 180 dniach twardnienia. Ilość zastosowanego superplastyfikatora była stała i wynosiła 0,35% masy suchych składników spoiwa.

slag samples were ground to the specific surface of 380m²/kg (slag L), 500 m²/kg (slag M) and 580 m²/kg (slag H) respectively. The silica fume was added to some batches as well as the polycarboxylate - based superplasticizer admixture, introduced to lower the w/c ratio. The mortars were prepared using the 0–1 mm sand fraction, obtained from the standard sand by separation of the fraction coarser than 1 mm.

2.2. Composition of mortars

The composition of mortars (dry) and water to binder (cement, slag and silica fume summarized) ratios are shown in Table 3. The compressive and flexural strength were determined after 1, 2, 7, 28 and 180 days of curing. The constant, 0,35% (by mass of dry binders) superplasticizer admixture was used.

The homogenized dry components were subsequently mixed with water within 300 s; the water was added to attain the 180 mm +/-10 mm flow diameter on the flow table. As one can see in Table 3, the cement replacement by slag has no influence on the water to binder ratio, while at the silica fume addition the w/s value must be of 0,05 higher. The mortar mixture was cast into the 25x25x100 mm moulds and subjected to densification on the jolting table, analogously as standard cement mortar. The samples were demoulded after 24 preliminary maturing and then placed in water.

3. Results and discussion

The strength measurements were done after 1, 2, 7, 28 and 180-day curing; the values from the three bars were calculated as an average for each sample (in such a way the three compressive strength results and six flexural strength ones were taken into account). The results are shown in Table 4.

As one could expect, the use of granulated blast furnace slag as cement replacement brings about the strength development decrease at early age, as higher as the percentage of slag is higher. This trend is easily visible from curves presented in Figs 1 and 2, on which the strength ratios for cement with and without slag, for the samples examined after the same curing time, are plotted.

The silica fume containing mortars exhibit slower strength development, mainly because of the higher w/s ratio; the compressive strength values are close to those for the cement – slag mortars with 20% cement replacement while the flexural strength is reduced more significantly.

3.2. Effect of silica fume addition on the properties of mortars with 20% GBFS containing cement material

The strength development in the blast furnace slag containing mortars and additional 10% cement replacement by silica fume is

Zestaw suchych składników, wstępnie uśrednionych, mieszano następnie przez 300 s, z taką ilością wody, która

pozwałała na uzyskanie konsystencji 180 mm ±10 mm na stoliku rozpluwowym. Jak wynika z tablicy 3, zastąpienie cementu żużlem nie wpłynęło na zmianę wskaźnika w/s, natomiast dodatek pyłu krzemionkowego spowodował jego wzrost o 0,05. Z przygotowanych zapraw formowano beleczki o wymiarach 25x25x100 mm, poddając zaprawę w formach zagęszczaniu na stoliku wstrząsowym, analogicznie do normowych warunków wykonania zapraw cementowych. Próbkę wyjmowano z form po 24 h wstępnego dojrzewania i umieszczano w wodzie, w której dojrzewały.

Tablica 3 / Table 3

SKŁAD ZAPRAW

THE COMPOSITION OF MORTARS

Oznaczenie zaprawy Sample designation	Udział składnika, % masy/Component content, % by mass						Wskaźnik w/s w/s ratio
	piasek sand	cement	żużel L slag L	żużel M slag M	żużel H slag H	pył krzemionkowy Silica fume	
C	50	50	-	-	-	-	0,215
C-PK	50	46,5	-	-	-	3,5	0,260
C-L20	50	40	10	-	-	-	0,215
C-M20	50	40	-	10	-	-	0,215
C-H20	50	40	-	-	10	-	0,215
C-L40	50	30	20	-	-	-	0,215
C-M40	50	30	-	20	-	-	0,215
C-H40	50	30	-	-	20	-	0,215
C-PK-L20	50	36,5	10	-	-	3,5	0,260
C-PK-M20	50	36,5	-	10	-	3,5	0,260
C-PK-H20	50	36,5	-	-	10	3,5	0,260

Tablica 4 / Table 4

WYTRZYMAŁOŚĆ ZAPRAW

THE STRENGTH OF MORTARS

3. Wyniki badań i ich dyskusja

Wytrzymałość próbek oznaczono po 1, 2, 7, 28 i 180 dniach dojrzewania, na podstawie pomiaru trzech próbek. Wartości średnie dotyczyły więc trzech wyników wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu i sześciu na ściskanie. Wyniki przedstawiono w tablicy 4.

Zgodnie z przewidywaniami, zastąpienie cementu portlandzkiego zmiełonym granulowanym żużlem wielkopieczowym powoduje zmniejszenie szybkości przyrostu wytrzymałości, w początkowym okresie twardnienia. Jak można było oczekiwać, to zmniejszenie wytrzymałości jest większe w przypadku zastąpienia większej ilości cementu. Ten wpływ wynika bardzo wyraźnie z krzywych pokazanych na rysunkach 1 i 2, prezentujących stosunek wytrzymałości zapraw zawierających żużel do wytrzymałości zaprawy z cementu portlandzkiego bez dodatku, po takim samym okresie twardnienia.

Zaprawy cementowe z dodatkiem pyłu krzemionkowego, głównie z uwagi na większy wskaźnik w/s, wykazują wolniejszy przyrost wytrzymałości. To opóźnienie jest zbliżone do zapraw, w których zastąpiono 20% cementu żużlem, ale tylko w zakresie wytrzymałości na ściskanie. Po dodaniu pyłu krzemionkowego wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu ulega jednak zmniejszeniu poniżej

Oznaczenie zaprawy Sample designation	Wytrzymałość na zginanie po okresie twardnienia przez, MPa Flexural strength, at age, MPa					Wytrzymałość na ściskanie po okresie twardnienia przez, MPa Compressive strength, at age, MPa				
	1d	2d	7d	28d	180d	1d	2d	7d	28d	180d
	C	14,8	18,8	20,7	22,8	20,4	69,5	87,5	94,0	108,0
C-PK	12,4	14,6	16,8	20,1	17,7	59,5	72,5	69,0	109,5	125,5
C-L20	12,5	15,2	15,9	19,5	19,5	60,0	67,0	89,5	110,0	106,0
C-M20	12,8	17,8	20,4	23,1	23,4	65,0	79,5	99,5	125,5	134,0
C-H20	12,9	16,7	21,0	22,5	21,9	57,5	77,0	88,0	113,0	128,5
C-L40	8,5	12,2	14,9	17,6	19,2	33,5	58,5	83,0	104,0	125,0
C-M40	7,6	12,7	15,9	20,9	21,6	32,5	65,5	76,5	111,5	122,5
C-H40	9,4	14,0	16,6	22,9	19,8	42,5	71,5	94,5	130,0	126,5
C-PK-L20	9,2	12,0	15,0	18,7	19,5	42,5	59,0	84,0	111,0	121,0
C-PK-M20	8,5	12,0	17,1	19,1	16,8	40,5	60,5	92,0	118,5	131,0
C-PK-H20	9,4	11,0	16,6	19,5	19,8	38,5	64,5	86,0	118,0	112,0

slower than in the mortars with cement blended with silica fume or slag (20%) only. This is the consequence of lower neat cement content in the batch, as well as the water to binder ratio increase – the effect of silica fume high water demand. The flexural strength is therefore reduced, even after 28 days of maturing; the compressive strength is almost the same. The plots in Figs 3 and 4 visualize the strength ratios for the mortars produced from slag, silica fume and cement blends and those only with cement and silica fume. One can notice that the silica fume addition improves the effect of fine grained slag; the 28 day compressive strength is similar to that for the mortars with 20% slag and slightly higher than the value obtained for Portland cement with no additive.

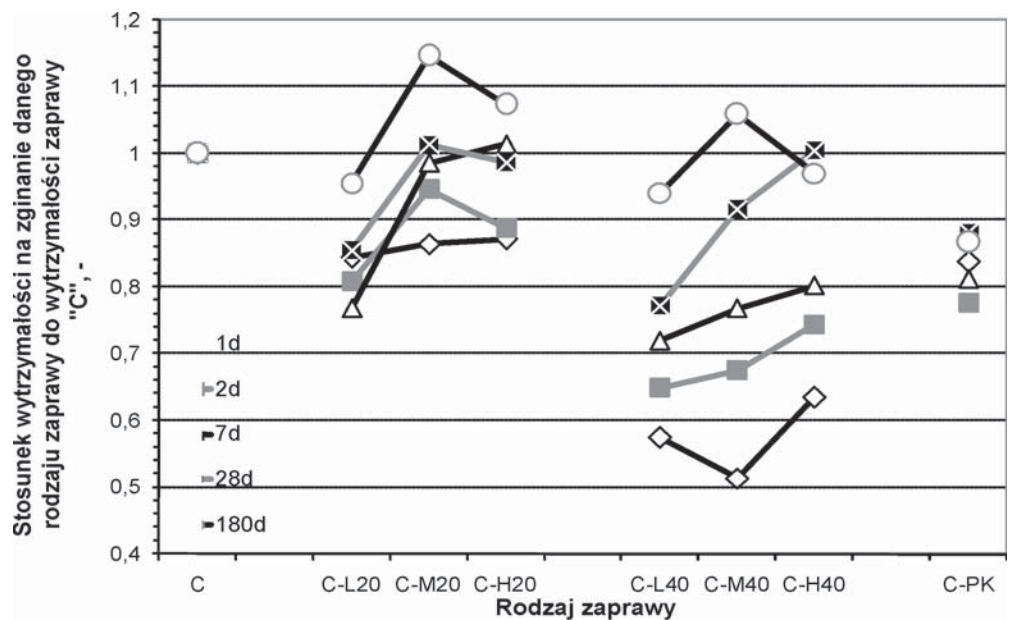
przeciętnych wartości uzyskiwanych przez zaprawy zawierające żużel o powierzchni równej lub większej od 500 m²/kg.

3.2. Wpływ dodatku pyłu krzemionkowego na właściwości zapraw zawierających 20% żużla

Zastąpienie 10% cementu w zaprawach zawierających żużel wielkopiecowy pyłem krzemionkowym sprawia, że szybkość rozwoju wytrzymałości jest mniejsza niż w zaprawie z cementu portlandzkiego z takim samym dodatkiem pyłu krzemionkowego, a także mniejsza od zapraw, w których 20 % cementu zastąpiono żużlem wielkopiecowym. Uzyskany efekt wskazuje na sumowanie się wpływu zmniejszonego udziału cementu oraz zwiększonego wskaźnika w/s, wynikającego z dużej wodozadržności pyłu krzemionkowego. Powoduje to zmniejszenie wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu nawet po 28 dniach dojrzewania w stosunku do zaprawy cementowej zawierającej tylko pył krzemionkowy, przy zachowaniu porównywalnej wytrzymałości na ściskanie. Przedstawione na rysunkach 3 i 4 krzywe obrazujące stosunek wytrzymałości zapraw z dodatkiem żużla i pyłu krzemionkowego, lub samego żużla, do wytrzymałości zaprawy cementowej zawierającej tylko pył krzemionkowy w tym samym okresie twardnienia pokazują ponadto, że wprowadzenie pyłu krzemionkowego zmniejsza niekorzystny wpływ żużla o małym rozdrobieniu. Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach dojrzewania jest porównywalna z zaprawami zawierającymi 20% żużla w masie spoiwa, jest natomiast nieznacznie większa niż zaprawy odniesienia, wykonane z cementu portlandzkiego bez dodatków mineralnych.

4. Podsumowanie

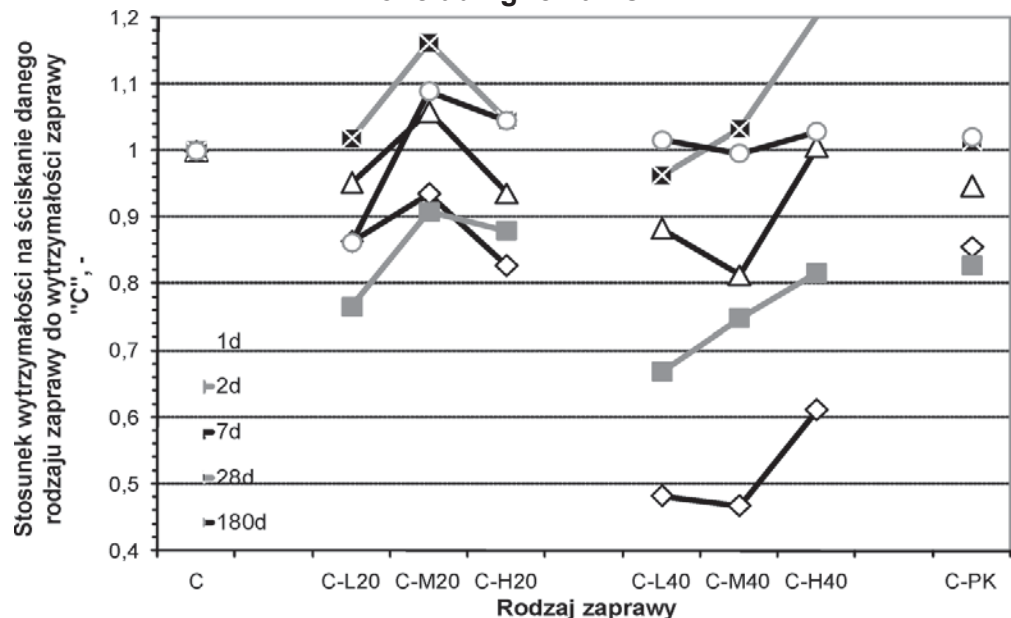
Zastąpienie cementu zmielonym żużlem wielkopiecowym w zaprawach o małym wskaźniku w/s powoduje zmniejszenie szybkości narastania wytrzymałości w stosunku do zaprawy z cementu portlandzkiego bez dodatków, w początkowym okresie



Rys. 1. Stosunek wytrzymałości zapraw na rozciąganie przy zginaniu w odniesieniu do wytrzymałości zaprawy cementowej

Fig. 1. Flexural strength ratios for mortars with and without slag

4. Concluding remarks



Rys. 2. Stosunek wytrzymałości zapraw na ściskanie do wytrzymałości zaprawy z cementu portlandzkiego

Fig. 2. Compressive strength ratios for mortars with and without slag

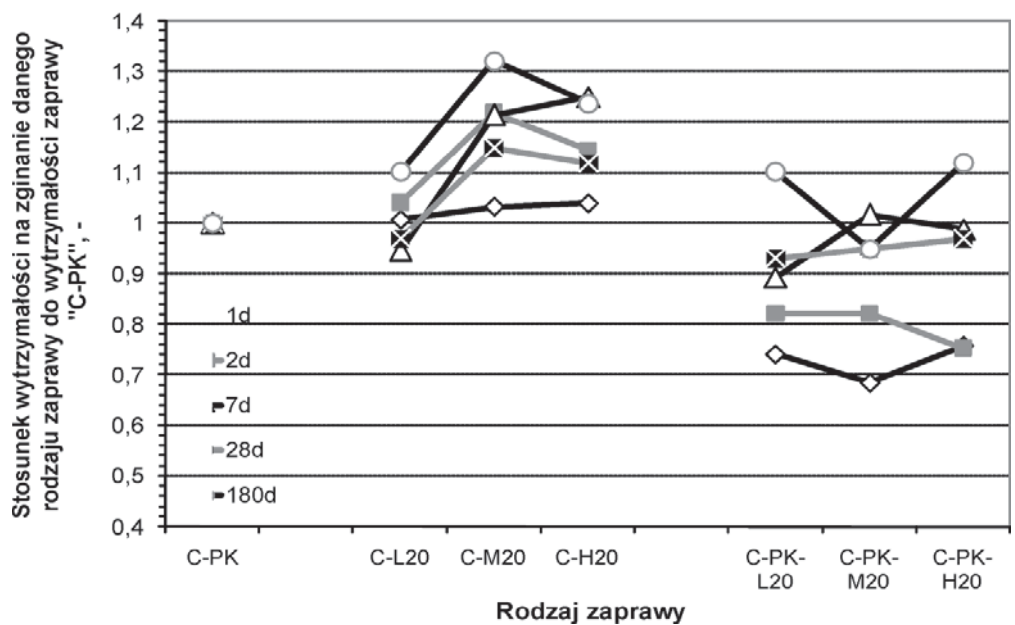
The Portland cement replacement by finely ground blast furnace slag in the mortars produced at low water to binder ratio brings about slower strength development at early age, as compared to the data for cement mortars without additives. Simultaneously, these mortars attain higher strength values on the long term curing. Therefore the possibility to control the strength development of mortars with blast furnace slag by fine grinding has been proved. It has been found also that at simultaneous slag and silica fume addition the effect of slag high specific surface becomes negligible.

dojrzwiania. Równocześnie jednak powoduje zwiększenie wytrzymałości tych zapraw po dłuższym okresie. Uzyskane wyniki wskazują na możliwość wpływania na szybkość rozwoju wytrzymałości zapraw zawierających zmielony żużel wielkopiecowy za pomocą jego rozdrobnienia. Ponadto pokazano, że równoczesne dodanie do spoiwa pyłu krzemionkowego sprawia, że stopień zmielenia żużla wielkopiecowego nie ma już tak dużego wpływu na szybkość rozwoju wytrzymałości.

Pracę przedstawiono w oparciu o badania prowadzone w ramach działalności statutowej nr 11.11.160.117 prowadzonej w Katedrze Technologii Materiałów Budowlanych, Wydziału Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

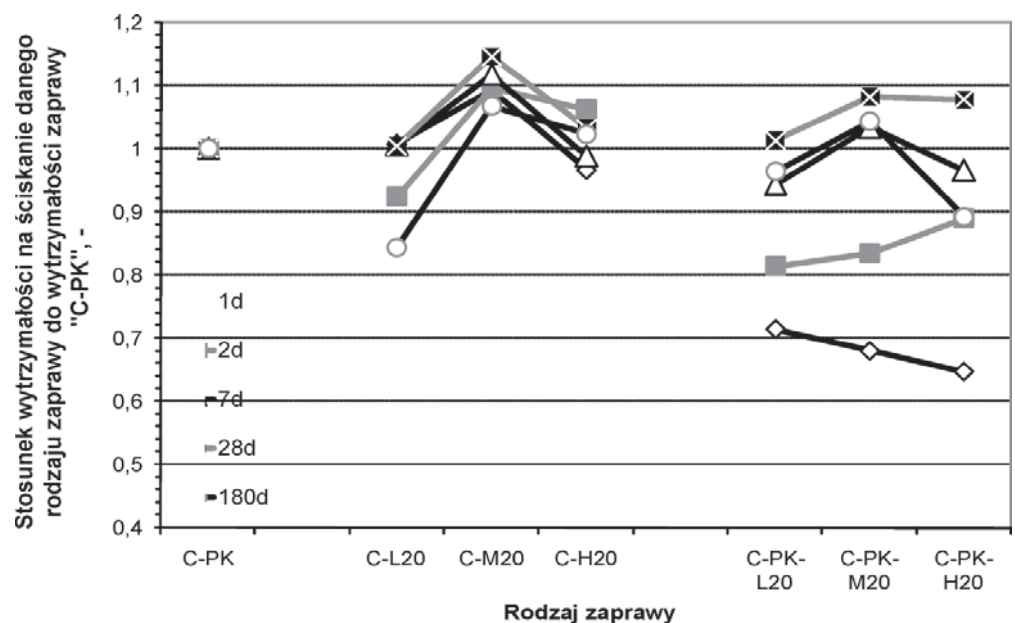
Literatura / References

1. P. Richard, M. Cheyrezy, Composition of reactive powder concretes., Cem. Concr. Res, vol. 25, str. 1501-1511 (1995).
2. J. Lukasik, P. Acker, Ch. Vernet, M. Behloul, Ductal®: plastyczny beton o najwyższych parametrach użytkowych, Materiały Konferencji „Dni Betonu”, Wisła 2004, str. 111-124, Polski Cement Sp. z o.o., Kraków 2004.
3. P. Acker, Why does Ultrahigh-Performance Concrete (UHPC) exhibit such a Low Shrinkage and such a Low Creep?, Proceedings of: Autogenous Deformations of Concrete, ACI Fall Convention, Phoenix, USA, 2002.
4. BFUP, AFGC Ultra High Performance Fibre-Reinforced Concretes, Interim Recommendations, AFGC publication, France, 2002.
5. B. Cavill, G. Chirgwin, The worlds first Ductal road bridge Sherpherds gully creek bridge, NSW, 21st Biennial Conference Institute of Australia, 17-19 July 2003. Brisbane.
6. A. Łagosz, Materiał kompozytowy wysoko-wytrzymałościowy, Konferencja „Dni Betonu”, Tradycja i Nowoczesność, s. 101-113, Wisła 9-11 października 2006.



Rys. 3. Stosunek wytrzymałości zapraw na rozciąganie przy zginaniu wytrzymałości zaprawy cementowej z dodatkiem pyłu krzemionkowego

Fig.3 Flexural strength ratios for mortars produced from cement – slag –silica fume blends and mortars with silica fume only



Rys. 4. Stosunek wytrzymałości zapraw ściskanie do wytrzymałości zaprawy cementowej z dodatkiem pyłu krzemionkowe

Fig. 4. Compressive strength ratios for mortars produced from cement – slag –silica fume blends and mortars with silica fume only