

MACIEJ GRUSZCZYŃSKI\*

NOWATORSKIE WYKORZYSTANIE BETONU  
CEMENTOWO-POLIMEROWEGO DO NAPRAWY  
FAŁOCHRONU WYSPOWEGO W PORCIE GDYNIAINNOVATIVE APPLICATION OF POLYMER-CEMENT  
CONCRETE FOR THE REPAIR OF BREAKWATER  
IN GDYNIA HARBOUR

## Streszczenie

W artykule zaprezentowano nowatorską technologię zastosowania betonu cementowo-polimerowego do naprawy pochodzącej z końca lat 20. XX wieku konstrukcji falochronu wyspowego w porcie Gdynia. Przedstawiono analizę wyników badań dodatku polimerowego na właściwości betonu – mrozoodporność, strukturę porowatości, wodoszczelność, wytrzymałość. Oceny wpływu dodatku polimerowego na wielkość tych cech dokonywano na podstawie wyników uzyskanych podczas prób w warunkach przemysłowych na próbkach betonu pobranych podczas zarobów próbnych i w czasie naprawy konstrukcji.

*Słowa kluczowe: naprawa konstrukcji, beton cementowo-polimerowy, trwałość betonu, struktura porowatości*

## Abstract

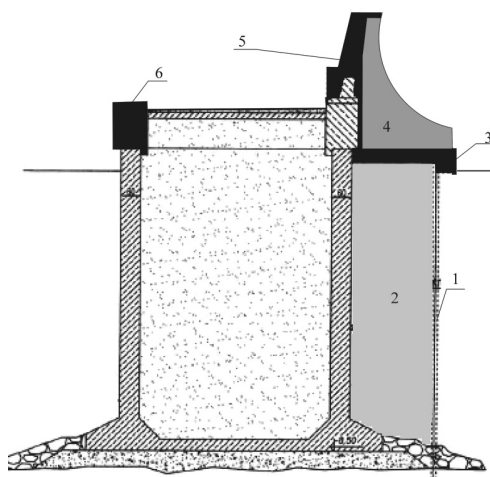
In the paper there is presented innovative technology of polymer-cement concrete application for the repair works of breakwater structure built in the thirties of the last century and localized in Gdynia Harbour. There is included the analysis of results of polymer addition onto concrete properties – freeze resistance, porosity structure, water tightness and strength. Estimation of polymer additive influence onto these properties was carried out on the base of results obtained during tests in industrial conditions on concrete samples taken from trial batches and during execution of structure repairs.

*Keywords: structure repair, polymer-cement concrete, concrete durability, porosity structure*

\* Dr inż. Maciej Gruszczyński, Instytut Materiałów i Konstrukcji Budowlanych, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska.

## 1. Wstęp

W pierwszej połowie 2006 roku rozpoczęły się prace, których zadaniem była naprawa uszkodzeń i wzmocnienie konstrukcji falochronu wyspowego w porcie Gdynia. Przedmiotowa konstrukcja powstała w 1928 roku i praktycznie poza doraźną naprawą uszkodzeń wojennych nie przechodziła istotnych remontów. Z tego też powodu Zarząd Portu Gdynia postanowił o konieczności naprawy i podniesienia wysokości konstrukcji na całej długości 2019 m. Opracowany projekt naprawy przewidywał poprawę stabilności konstrukcji przez jej poszerzenie o 2,5 m, jak również podniesienie konstrukcji „nosków” falochronu do wysokości 4,40 m ponad lustro wody oraz naprawę wszelkiego typu innych uszkodzeń, spowodowanych ponad 70-letnią eksploatacją. Na ilustracji 1 przedstawiono przekrój naprawianej konstrukcji – kolorem czarnym zaznaczono elementy do wykonania których wykorzystano beton cementowo-polimerowy.



- II. 1. Przekrój konstrukcji falochronu – kolorem czarnym zaznaczono elementy wykonane z betonu cementowo-polimerowego (1 – ścianka szczelna Larsena, 2 – ściana poszerzająca, 3 – płyta wieńcząca, 4 – element prefabrykowany, tzw. łamacz fal, 5 – reprofilowany „nosek” falochronu, 6 – belka cumownicza)
- III. 1. Cross-section of breakwater structure – black color denotes elements made of cement-polymer concrete (1 – Larsen type sheet piling, 2 – widening wall, 3 – crowning slab, 4 – prefabricated element so-called wave-breaker, 5 – re-profiled breakwater nib, 6 – mooring beam)

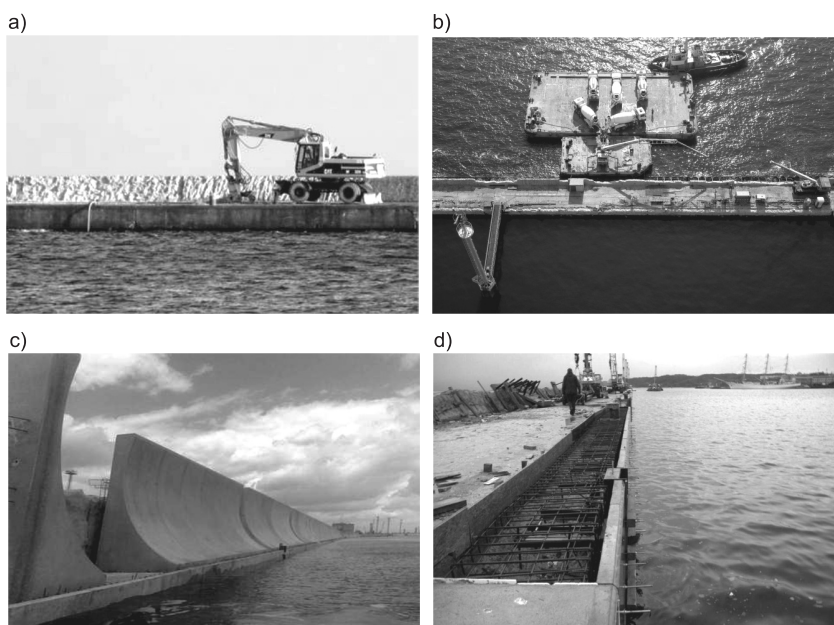
W przedmiotowej naprawie zdecydowano się na zastosowanie betonu cementowo-polimerowego ze względu na jego zalety w stosunku do betonu zwykłego, z których najważniejsze to:

- bardzo wysoka odporność na destrukcyjne działanie wody morskiej i znakozmiennych temperatur,
- bardzo dobra przyczepność do betonu stwardniałego i stali,
- znacząco mniejsze wartości rejestrowanych odkształceń skurczowych i modułu sprężystości,
- istotne zwiększenie wartości wytrzymałości na zginanie.

## 2. Technologia naprawy konstrukcji falochronu

Naprawa konstrukcji falochronu wyspowego w porcie Gdynia przebiegała etapami, z których najważniejsze to:

- usunięcie warstwy skorodowanego betonu (il. 2a),
- wykonanie ściany wzmacniającej o szerokości 2,5 m w osłonie ścianki szczelnej Larsena, w technologii betonu kontraktorowego klasy C30/37 (il. 2b),
- wykonanie płyty wieńczącej ścianę wzmacniającą z betonu cementowo-polimerowego klasy C35/45,
- ustawienie na wykonanej konstrukcji elementów prefabrykowanych z betonu klasy C30/37 (il. 2c) i wykonanie reprofilacji nosków falochronu i belki cumowniczej betonem cementowo-polimerowym klasy C35/45 (il. 2d).



- II. 2a-d. Etapy naprawy konstrukcji falochronu w porcie Gdynia (a) usunięcie skorodowanego betonu, b) betonowanie ściany stabilizującej i poszerzającej, c) ustawianie elementów prefabrykowanych na poszerzonej konstrukcji falochronu, d) przygotowana do betonowania belka cumownicza)
- III. 2a-d. Stages of breakwater structure repair works in Gdynia Harbour (a) taking off the corroded concrete, b) concreting the stabilizing and widening wall, c) placing prefabricated elements on the widened breakwater structure, d) mooring beam ready for concreting)

## 3. Cel i zakres badań

Celem zrealizowanego programu badawczego było opracowanie optymalnej receptury betonu modyfikowanego dodatkiem dyspersji kopolimeru styrenowo-akrylowego, której produkcja jest możliwa w standardowej wytwórni betonu. Podyktowane to było faktem,

że proponowane przez dostawców chemii budowlanej gotowe suche mieszanki typu „ready mix” są kosztowne (cena  $1\text{ m}^3$  gotowej mieszanki w granicach 4–5 tys. zł) i przy skali zapotrzebowania na nie (ponad  $1500\text{ m}^3$ ), ich zastosowanie na placu budowy ze względów ekonomicznych było problematyczne.

Zaroby próbne mające ocenić odporność betonu cementowo-polimerowego na działanie znakozmiennych temperatur, wielkość odkształceń skurczowych, wodoszczelność i wytrzymałość, wykonano w skali przemysłowej (objętość pojedynczego zarobu  $2\text{ m}^3$ ) na węźle betoniarskim dostawcy betonu firmy OL-Trans w Mrzeżynie k. Gdyni.

Mieszanki betonu cementowo-polimerowego wykonano na bazie cementu CEM I 42,5 N HSR NA i kruszyw granitowych, przy zmiennej wartości wskaźnika w/c (0,38; 0,40; 0,42). Jako dodatek polimerowy wykorzystano dyspersję kopolimeru styrenowo-akrylowego Estrifan Additiv KD962, którą dozowano w ilości 0, 5, 8, 11% w stosunku do masy cementu. Łącznie wykonano 12 zarobów próbnych, formując z każdej mieszanki 36 próbek kostkowych o boku 15 cm i 12 belek  $15 \times 15 \times 60$  cm. Dodatkowo badano właściwości mieszanki betonowej: gęstość, utrzymanie konsystencji w czasie oraz zawartość powietrza wraz z opisem wymiarowej struktury porowatości metodą AVA. Nadto oznaczono wpływ zmiennej ilości dodatku dyspersji polimerowej na czas początku wiązania cementu.

#### 4. Wyniki badań i dyskusja

Zrealizowany program badawczy wykazał znaczący wpływ dodatku dyspersji kopolimeru styrenowo-akrylowego na kształtowanie mrozoodporności betonu. Badania prowadzono metodą zwykłą wg PN-88/B-06250, obejmującą 250 cykli zamrażania-odmrażania i metodą *Slab Test* wg CEN/TS 12390-9:2007. Otrzymane wyniki badań potwierdziły uzyskanie betonu o bardzo wysokim stopniu mrozoodporności i wysokiej odporności na złuszczenia w obecności wody morskiej. Szczegółowe zestawienie wyników badań tych cech przedstawiono w publikacji [1].

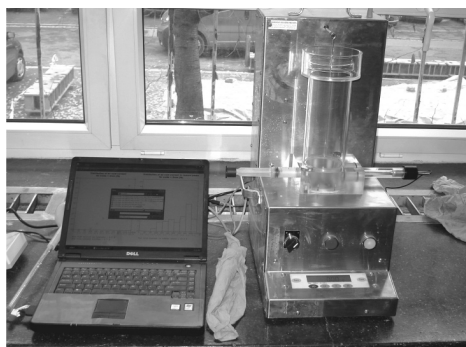
Dodatkowo oceniano wymiarową charakterystykę systemu pustek powietrznych w betonie z wykorzystaniem metody AVA (*Air Void Analyzer*) – il. 3.

Zastosowana metoda oceny struktury porowatości betonu ma tę zaletę, że pomiary struktury napowietrzenia wykonywane są na próbce zaprawy pobranej z mieszanki betonowej i wynik badania w postaci wielkości współczynnika rozkładu struktury porowatości  $\bar{L}$  i wskaźnika mikroporowatości  $A_{300}$  uzyskuje się w przeciągu kilkunastu minut od chwili pobrania próbek badawczych. Jest to oczywista zaleta w porównaniu z procedurą oznaczenia rozkładu porowatości wg PN-EN 480-11:2006, w której badanie prowadzi się metodą planimetryczną na wypolerowanych zglądach stwardniałego betonu. W metodzie tej wynik badania uzyskuje się ze znacznym opóźnieniem, gdy beton jest stwardniały i nie ma praktycznie możliwości korekty jego składu, celem zoptymalizowania struktury porów powietrznych.

Wyniki badań struktury porowatości dla betonów o wskaźniku w/c = 0,38, ze zmienną ilością dodatku dyspersji polimerowej, zestawiono na il. 4a, b.

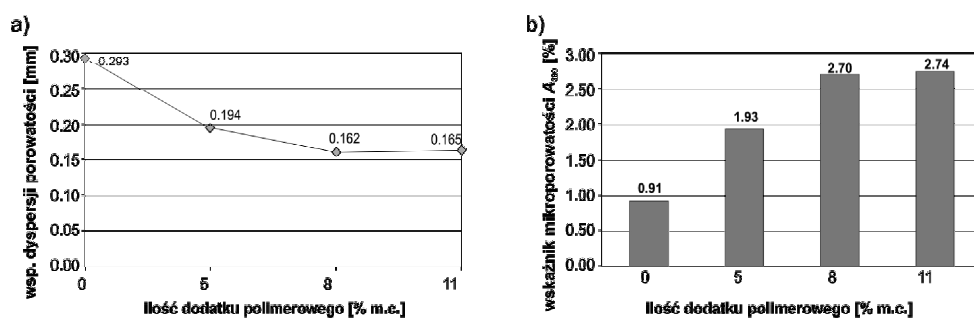
Dodatek dyspersji kopolimeru styrenowo-akrylowego w ilości 5–11% m.c. w połączeniu z równoczesnym stosowaniem domieszki reologicznej na bazie eteru polikarboksyłowego (dozowanie 0,40–0,48% m.c.) powoduje napowietrzenie betonu na poziomie 4,0–4,8%. W odróżnieniu od betonów zwykłych, gdzie zmierzona zawartość powietrza mieściła się

w granicach 1,3–2,5%, zwiększanie poziomu dozowania dodatku polimerowego z 5 do 11% m.c. powoduje niewielkie zmiany poziomu napowietrzenia betonu.



II. 3. Stanowisko do badania struktury porowatości betonu metodą AVA

III. 3. Laboratory stand for testing concrete porosity structure by AVA method



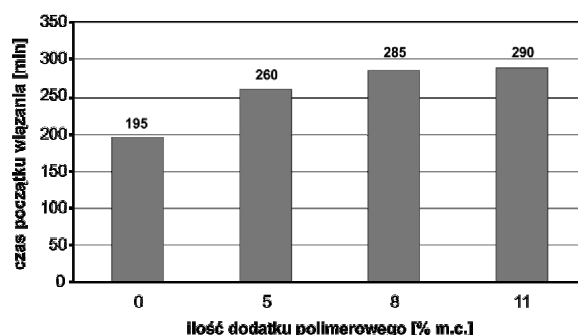
II. 4. Wpływ ilości dodatku dyspersji kopolimeru styrenowo-akrylowego na wymiarową strukturę porowatości betonu: a) współczynnik dyspersji porowatości, b) wskaźnik mikroporowatości)

III. 4. Influence of styrene-acrylic co-polymer dispersion additive amount onto dimensional structure of concrete porosity: a) porosity dispersion coefficient, b) micro-porosity indicator)

Dodatek dyspersji kopolimeru styrenowo-akrylowego powoduje pożądane zmiany wymiarowej struktury porowatości betonu. Rejestruje się korzystne (ze względu na poprawę mrozoodporności) pojawienie się porów o średnicach 10–300  $\mu\text{m}$ , które dostatecznie gęsto rozmieszczone w objętości betonu przerywają ciągłość kapilar i stanowią przestrzeń dla ekspansji lodu podczas zamrażania próbek. Przeprowadzone badania struktury rozkładu porowatości betonu aparatem AVA (podczas kontroli jakości w czasie realizacji inwestycji) dla betonu o wskaźniku w/c wynoszącym 0,38 i przy poziomie dozowania dodatku kopolimeru styrenowo-akrylowego 8% m.c., pozwoliły na ustalenie wartości współczynnika dyspersji porowatości  $\bar{L}$  w granicach 0,160–0,185 mm, co czyni zadość wymogom normowym  $\bar{L} \leq 0,200$  mm. Wynik tego badania, jak również uzyskiwane wartości wskaźnika mikroporowatości  $A_{300} > 1,8\%$ , znajdują swoje potwierdzenie w teście odporności na powierzchniowe złuszczenie (*Slab Test*), który potwierdza uzyskanie betonu o bardzo dobrej jakości (ilość złuszczeń  $m_{56} < 100$  g/m<sup>2</sup>).

Przeprowadzone badania dowodzą, że dodatek dyspersji kopolimeru styrenowo-akrylowego w ilości 5–11% m.c. wpływa na ograniczenie ilości złuszczeń powierzchni betonu pod wpływem oddziaływania znakozmiennych temperatur i wody morskiej. Jak się wydaje, spowodowane jest to uszczelnieniem struktury betonu przez tworzące się podczas hydratacji cementu błony polimerowe, które przenikają matrycę cementową [4, 7]. Zastosowanie dodatku polimerowego już w ilości 5% m.c. prowadzi do zmiany struktury porowatości betonu [6]. Dodatek kopolimeru styrenowo-akrylowego jest przyczyną zmniejszenia udziału porów kapilarnych w ogólnej strukturze porowatości betonu, kosztem zwiększenia objętości porów żelowych, które to nie mają istotnego wpływu na szczelność i trwałość betonu [7].

Wytworzone w strukturze kompozytu błony polimerowe otaczają ziarna cementu, spowalniając proces jego hydratacji, poprzez utrudnienia dostępu doń wody [2, 3]. W analizowanym przypadku efekt opóźnienia wiązania był niezwykle korzystny ze względu na potrzebę długotrwałego transportu mieszanki przy zachowaniu jej konsystencji i pompowalności (w specyfikacji wymagano utrzymania właściwości reologicznych mieszanki – opad stożka 110–150 mm – przez co najmniej 180 min.). Na ilustracji 5 zestawiono wpływ zmiennej ilości dodatku kopolimeru styrenowo-akrylowego na czas początku wiązania zastosowanego cementu CEM I 42,5N.



- II. 5. Wpływ dodatku dyspersji kopolimeru styrenowo-akrylowego na czas początku wiązania cementu wg PN EN 196-3:2006
- III. 5. Influence of styrene-acrylic co-polymer dispersion additive onto time of cement bonding beginning according to PN EN 196-3:2006

Korzystne oddziaływanie dodatku polimerowego na strukturę porowatości kompozytu znajduje swoje odbicie w uzyskanych wynikach wodoszczelności i nasiąkliwości wagowej. Betony modyfikowane dodatkiem dyspersji kopolimeru styrenowo-akrylowego w ilości 5–11% m.c. uzyskały stopień wodoszczelności W10 (wg PN-88/B-06250), przy głębokości wniknięcia wody w granicach 10–25 mm, podczas gdy dla betonu porównawczego głębokość wniknięcia wody w próbki oscylowała w granicach 70–120 mm.

Nadto zastosowanie dodatku kopolimeru styrenowo-akrylowego, na skutek uszczelnienia struktury betonu, powoduje znaczące zmniejszenie nasiąkliwości wagowej betonu. Szczegółowe wyniki tego badania przedstawiono w publikacji [1]. W przypadku betonu cementowo-polimerowego, użytego do naprawy konstrukcji falochronu, wielkości nasiąkliwości wagowej ocenianej podczas kontroli jakości robót mieściły się w zakresie 2,8–3,9% a zatem czyniły zadość wymogom projektowym uzyskania materiału o nasiąkliwości nie większej niż 5%.



W tabeli 1 zestawiono wyniki badania wytrzymałości na zginanie (wg PN-EN 12390-5:2001, czteropunktowy schemat obciążenia) i ściskanie przedmiotowych betonów.

Tabela 1

**Wyniki badań wytrzymałości na zginanie i ściskanie betonów modyfikowanych dodatkiem kopolimeru styrenowo-akrylowego**

w/c	Ilość dodatku modyfikatora polimerowego [% m.c.]							
	0		5		8		11	
	wytrzymałość [N/mm <sup>2</sup> ]		wytrzymałość [N/mm <sup>2</sup> ]		wytrzymałość [N/mm <sup>2</sup> ]		wytrzymałość [N/mm <sup>2</sup> ]	
	zginanie	ściskanie	zginanie	ściskanie	zginanie	ściskanie	zginanie	ściskanie
0,38	5,0	65,1	6,4	61,7	7,3	57,0	7,7	52,0
0,40	4,4	60,0	6,1	56,8	6,6	52,3	7,0	49,4
0,42	4,1	54,3	5,6	52,2	6,2	49,2	6,6	46,1

Zestawione w tab. 1 wyniki badań pokazują, że niezależnie od wielkości wskaźnika w/c, zastosowanie dodatku dyspersji kopolimeru styrenowo-akrylowego w ilości 5–11% m.c., powoduje wzrost wytrzymałości na zginanie betonu w granicach 50–80% w stosunku do betonu zwykłego i jest on proporcjonalny do ilości zastosowanego modyfikatora polimerowego. Obserwowany wzrost wytrzymałości na zginanie powodowany jest wzmocnieniem warstwy kontaktowej zaczyn-ziarno kruszywa na skutek zmniejszenia jej porowatości. Powszechnie uważa się, że warstwa kontaktowa zaczyn-ziarno kruszywa jest bardziej porowata i zawiera mniej produktów hydratacji niż pozostały zaczyn. W przypadku betonu modyfikowanego dodatkiem polimeru pustki w warstwie stykowej wypełnione są cząsteczkami polimeru, co poprawia kontakt kruszywa z matrycą cementową [4, 7]. Innym powodem wzrostu wytrzymałości na zginanie jest zwiększenie odkształcalności kompozytu oraz zdolność powstałych błon polimerowych do mostkowania mikrozarysowań [2, 3, 6].

Przedstawione w tab. 1 wyniki badań pokazują, że w przypadku betonu modyfikowanego dodatkiem polimeru obserwuje się spadki wytrzymałości na ściskanie w granicach 5–10%. Rejestrowane spadki wytrzymałości tego typu kompozytów w stosunku do betonów zwykłych powodowane są opóźnieniem procesu hydratacji spoiwa mineralnego przez tworzące się błony polimerowe, które ograniczają dostęp wody do ziaren cementu. Innym powodem spadku wytrzymałości betonu modyfikowanego jest napowietrzenie mieszanki betonowej w granicach 4,0–4,5%, które nieuchronnie prowadzi do obniżenia wytrzymałości na ściskanie [5].

## 5. Wnioski

Wykonane zaroby próbne i zrealizowany program badawczy pozwoliły na opracowanie technologii produkcji w standardowych wytwórniach, mieszanek betonu cementowo-polimerowego o bardzo wysokiej trwałości i wytrzymałości, przy znacznie mniejszych nakładach kosztowych w stosunku do gotowych mieszanek typu „ready mix”. Zrealizowany program badawczy pozwolił również na sformułowanie następujących wniosków ogólnych:

- uzyskanie betonów o dobrej i bardzo dobrej mrozoodporności możliwe jest przy obniżeniu wartości wskaźnika w/c poniżej 0,40 i przy dozowaniu dodatku kopolimeru styrenowo-akrylowego w granicach 8–11% masy cementu,

- dodatek kopolimeru styrenowo-akrylowego w ilości 8–11% masy cementu pozwala na znaczące zwiększenie odporności betonu na działanie znakozmiennych temperatur w obecności wody morskiej, na skutek uszczelnienia struktury kompozytu przez przenikające matrycę cementową błony polimerowe a z drugiej strony przez korzystną modyfikację wymiarowej charakterystyki porowatości betonu,
- zastosowanie dodatku kopolimeru styrenowo-akrylowego pozwala na istotne zwiększenie wytrzymałości betonu na zginanie, jak również na obniżenie wielkości odkształceń skurczowych do poziomu 0,1 mm/m, co jest szczególnie istotne w przypadku jego zastosowania do naprawy konstrukcji betonowych.

#### Literatura

- [1] Gruszczyński M., Aleksium M., *Freeze resistance of concrete modified with styrene-acrylic co-polymer additive for the repair of a breakwater in Gdynia Harbor*, 13th International Congress on Polymers in Concrete, Madeira, 10-12.02.2010, 721-728.
- [2] Kwiecień A., Gruszczyński M., Zając B., *Tests of polymer joints repairing of concrete pavements and of polymer modified concretes influenced by high deformations*, Key Engineering Materials, Vol. 466 (2011), 225-239.
- [3] Gruszczyński M., *Ocena wielkości odkształceń skurczowych zapraw i betonów cementowych z dodatkiem polimerów*, Cement Wapno Beton nr 3/2007, 139-144.
- [4] Ohama Y., Demura K., Kim W.K., *Freeze-thaw durability of polymer-modified mortars using redispersible polymer powders*, 8th Int. Congress on Polymers in Concrete, Ostende 1995, 251-256.
- [5] Mierzwa J., Gruszczyński M., *The problem of strength compensation in air-entrained concrete with silica fume*, 3rd International Scientific Conference, Quality and Reliability in Building Industry, Levoča 22–24.10.2003, 385-390.
- [6] Schorn H., *Fracture behaviour of PCC*, 2nd International Symposium on Adhesion between Polymers and Concrete, Dresden 1999.
- [7] Czarniecki L., *Influence of polymer admixture on the durability of concrete*, International Seminar Durability of Concrete “Aspects of admixtures and industrial by-products”. Göteborg 1986, 191-222.