

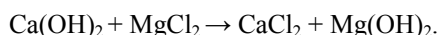
## ODPORNOŚĆ BETONÓW SAMOZAGĘSZCZALNYCH NA BAZIE CEMENTU ŻUŻLOWEGO (CEM III) NA DZIAŁANIE ŚRODOWISK ZAWIERAJĄCYCH JONY CHLORKOWE

Pavla ROVNANIKOVA  
Brno University of Technology, Brno  
Stefania GRZESZCZYK  
Politechnika Opolska, Opole

### 1. Wprowadzenie

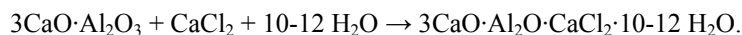
Budowle są narażone na szkodliwe działanie chlorków głównie w wyniku ekspozycji na wodę morską oraz środki odladzające. Szkodliwy wpływ chlorków w materiałach na bazie cementu portlandzkiego polega głównie na ich reakcji z wodorotlenkiem wapniowym utworzonym w wyniku hydratacji faz klinkierowych i obniżeniu pH roztworu.

Do niebezpiecznych dla betonów należy zaliczyć chlorkowe sole odladzające (głównie NaCl). Dyfuzja chlorków w głąb betonu powoduje krystalizację soli w porach kapilarnych i prowadzi do destrukcji betonu. Bardzo niebezpiecznym dla betonu jest chlorek magnezu  $MgCl_2$ , który tworzy ekspansywne sole np.  $MgO \cdot Mg(OH)Cl \cdot 5H_2O$ , a także reaguje z  $Ca(OH)_2$  według reakcji [1]:



$Mg(OH)_2$  charakteryzuje się bardzo małą rozpuszczalnością i nie posiada właściwości wiążących. Przebieg powyższej reakcji przy dużych stężeniach  $MgCl_2$  na skutek zużycia  $Ca(OH)_2$  może powodować hydrolizę fazy C-S-H, a w konsekwencji prowadzić do zniszczenia betonu.

Obecność w zaczynie cementowym chlorku wapniowego  $CaCl_2$  prowadzi do krystalizacji ekspansywnego chlorku wapniowego ( $CaO \cdot CaCl_2 \cdot 6H_2O$ ). Chlorek wapniowy może także reagować z fazą  $C_3A$  z utworzeniem soli Friedela [1]:



Również chlorek sodowy NaCl, chociaż jest znacznie mniej agresywny niż  $CaCl_2$ , może powodować korozję betonu w wyniku powstawania zasadowego chlorku wapniowego [3].

Wiadomo jest, że wprowadzenie do cementu dodatków mineralnych, w tym granulowanych żużli wielkopieczowych, zwiększa odporność na korozję tych materiałów. Dotyczy to również działania środowisk chlorkowych [2].

W pracy przeprowadzono badanie odporności na działanie chlorków betonów samozagęszczalnych na bazie cementu hutniczego CEM III A.

## 2. Materiały do badań

Do badań przygotowano betony samozagęszczalne na bazie cementu hutniczego CEM III/A 32,5 o zawartości żużla wielkopieczowego około 56%. Skład mieszanki betonowej przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1. Skład mieszanki betonowej.

Składnik	Jednostka	Zawartość
cement	kg/m <sup>3</sup>	500
woda	kg/m <sup>3</sup>	153
w/c		0,30
superplastyfikator	% mas	2,6
piasek	kg/m <sup>3</sup>	832,7
kruszywo 2/8	kg/m <sup>3</sup>	416,4
kruszywo 8/16	kg/m <sup>3</sup>	416,4
zawartość powietrza	dm/m <sup>3</sup>	40

Próbki w postaci beleczek o wymiarach 4x4x16 cm wstępnie przebywały przez 28 dni w wodzie, po czym próbki po wysuszeniu do stałej masy zostały umieszczone w środowisku porównawczym (powietrzno-suchym, wilgotność 50 ± 5%) oraz pojemnikach zawierających roztwory korozyjne (MgCl<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>Cl, HCl) w czasie 60 dni.

Charakterystykę roztworów korozyjnych podano w tablicy 2.

Tablica 2. Charakterystyka roztworów korozyjnych

Środowisko	Stężenie
MgCl <sub>2</sub>	37,93 g MgCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O/l
NH <sub>4</sub> Cl	2,97 g NH <sub>4</sub> Cl/l
HCl	10 <sup>-3</sup> mol/l

Stężenie roztworów korozyjnych przyjęto zgodnie z normą ČSN 731340.

Po 60 dniach przebywania próbek w środowiskach agresywnych wykonano badania wytrzymałości na zginanie i ściskanie. Wytrzymałość określono także dla próbek porównawczych przechowywanych przez cały okres badania w środowisku powietrzno-suchym. Mikrostrukturę badanych próbek w roztworach korozyjnych obserwowano pod mikroskopem skaningowym. Na podstawie pomiarów wytrzymałości próbek wyznaczono współczynnik odporności korozyjnej (OK) według zależności

$$OK = \frac{\hat{R}_{(\text{środowisko\_agresywne})}}{R_{\text{powietrze}}} \quad (1)$$

### 3. Wyniki badań odporności korozyjnej betonu

Wyniki badań wpływu różnego rodzaju środowisk agresywnych na kształtowanie się wytrzymałości na ściskanie i zginanie beleczek betonowych po 60 dniach przebywania w środowiskach agresywnych i środowisku porównawczym przedstawiono w tablicy 3.

Tablica 3. Kształtowanie się wytrzymałości na zginanie i ściskanie próbek betonu samozagęszczalnego po czasie 60 dni przebywania w środowiskach agresywnych i powietrzu

Korozja	Środowisko	Wytrzymałość [MPa] po czasie 60 dni	
		zginanie	ściskanie
NH <sub>4</sub> Cl	korozyjne porównawcze	10,2	79,9
		9,1	81,1
		OK=1,12	OK=0,99
HCl	korozyjne porównawcze	10,0	86,5
		9,1	81,1
		OK=1,1	OK=1,07
MgCl <sub>2</sub>	korozyjne porównawcze	11,8	73,3
		9,1	81,1
		OK=1,30	OK=0,90

Z obserwacji próbek betonu samozagęszczalnego przechowywanych w czasie 60 dni w środowisku wodnym i środowiskach agresywnych wynika, że beton ten charakteryzuje się zwiększoną odpornością na działanie silnie agresywnych środowisk zawierających chlorki. We wszystkich badanych przypadkach beleczki zachowały swój kształt i wymiary niezależnie od roztworu korozyjnego, nie obserwowano destrukcji betonu, ani znacznego spadku wytrzymałości próbek betonu poddanych działaniu chlorków w porównaniu do wytrzymałości próbek przechowywanych w warunkach powietrzno-suchych (tablica 3).

Uzyskane wyniki badań wytrzymałości na ściskanie próbek jednoznacznie wskazują, że najbardziej agresywny jest MgCl<sub>2</sub>. Próbki przechowywane w środowisku chlorku magnezu miały mniejszą wytrzymałość na ściskanie niż próbki przechowywane w środowisku porównawczym. Należy jednak podkreślić iż, pomimo tego, wykazywały się stosunkowo dużym współczynnikiem odporności korozyjnej OK=0,9. Natomiast próbki przechowywane w środowisku NH<sub>4</sub>Cl wykazywały porównywalną wytrzymałość (OK=0,99), a próbki poddane działaniu HCl charakteryzowały się większą wytrzymałością na ściskanie niż próbki przechowywane w środowisku porównawczym (OK=1,07).

Charakterystyczne jest, że próbki przechowywane w różnych środowiskach agresywnych wykazują nieco większą wytrzymałość na zginanie w porównaniu do wytrzymałości próbki porównawczej.

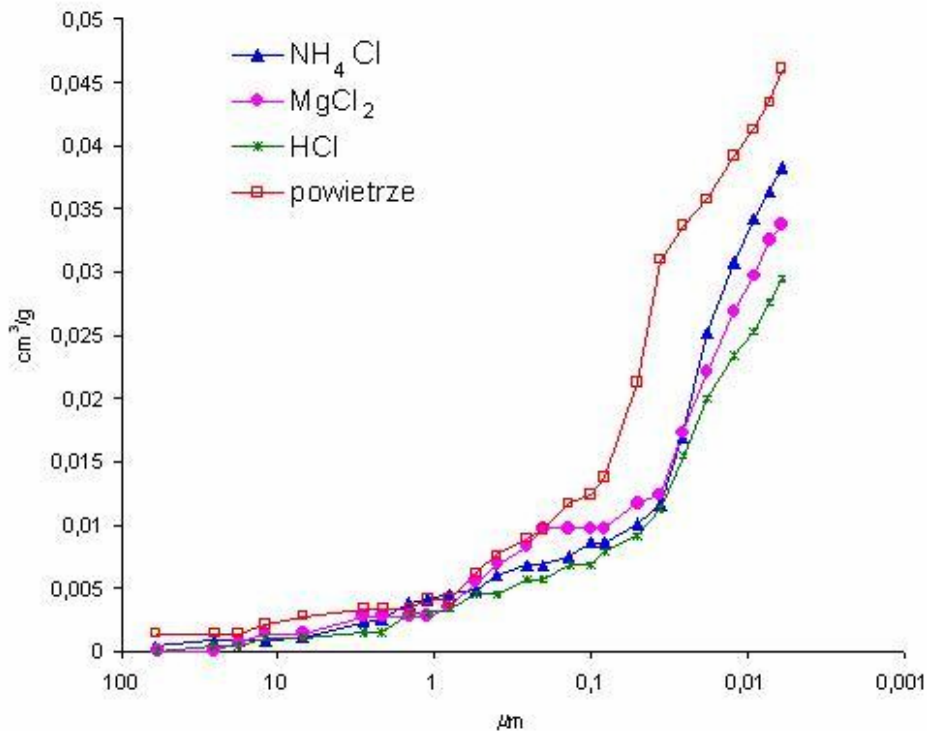
Przeprowadzone badania wykazały, że w przypadku betonów samozagęszczalnych na bazie cementu żuźlowego można przyjąć następujący szereg agresywności chlorków:



#### 4. Porowatość matrycy cementowej w betonach samozagęszczalnych

Ilość i rodzaj porów w matrycy cementowej betonu jest czynnikiem decydującym o trwałości betonu. Trwałość betonu związana jest z jego przepuszczalnością. Powszechnie przyjmuje się, że o przepuszczalności zaczynu decyduje obecność ciągłych porów kapilarnych o średnicy przekraczającej 120 nm [4].

Przeprowadzone badania porowatości próbek za pomocą porozymetrii rtęciowej po 60 dniach przechowywania w środowisku agresywnym (rys.1) wykazały stosunkowo dużą zawartość porów poniżej 100 nm w matrycy cementowej na bazie cementu żuźlowego (CEM III). Największą ilość porów poniżej 100 nm stwierdzono w próbce porównawczej przechowywanej w warunkach powietrznych, następnie kolejno w próbkach poddanych działaniu  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{MgCl}_2$  i  $\text{HCl}$ . Przy czym próbka poddana działaniu  $\text{MgCl}_2$  posiada wyraźnie większy udział porów powyżej 100 nm, natomiast próbka przechowywana w  $\text{HCl}$  w tym zakresie charakteryzuje się najmniejszym udziałem porów.



Rys. 1 Porowatość betonów samozagęszczalnych poddanych działaniu różnych środowisk zawierających chlorki

Fig. 1 Porosity of self-compacting concretes under influence of various environments containing chlorides

Wyniki badań porowatości próbek wyjaśniają przyczynę najmniejszej wartości współczynnika odporności korozyjnej OK dla próbek poddanych działaniu  $MgCl_2$  oraz najmniejszej wartości OK dla próbek przechowywanych w roztworze HCl.

## 5. Wnioski

Betony samozagęszczalne na bazie cementu żuźlowego CEM IIIA zawierającego ok. 50% mas. granulowanego żuźła wielkopieczowego charakteryzują się dużą odpornością na działanie wodnych środowisk zawierających chlorki.

Na podstawie określonego współczynnika odporności korozyjnej OK określono następujący szereg odporności korozyjnej betonów samozagęszczalnych zawierających granulowane żuźle wielkopieczowe w różnych roztworach korozyjnych:



Porowatość próbek betonów w zakresie porów kapilarnych wykazuje dobrą zgodność z określonym szeregiem odporności korozyjnej (OK) betonów samozagęszczalnych w badanych roztworach korozyjnych:  $MgCl_2$ ,  $NH_4Cl$  i HCl. Próbki poddane działaniu  $MgCl_2$  zawierające największy udział porów kapilarnych charakteryzują się najmniejszym współczynnikiem odporności korozyjnej. Odwrotnie, próbki zawierające najmniejszą ilość porów kapilarnych przechowywane w roztworze HCl wykazują największą odporność korozyjną.

## Oznaczenia symboli

$\hat{R}_{(\text{środoowisko\_agresywne})}$  – wytrzymałość na zginanie lub ściskanie próbek betonu samozagęszczalnego w środowisku agresywnym, resistance of self-compacting concrete samples in an aggressive environment to bending and compression,

$R_{\text{powietrze}}$  – wytrzymałość na zginanie lub ściskanie próbek betonu samozagęszczalnego w środowisku powietrzno-suchym, resistance of self-compacting concrete samples in an air-dry environment to bending and compression.

## Literatura

- [1] Kurdowski W.: Chemia cementu, Wydawnictwo Naukowe, PWN, Warszawa, 1991.
- [2] Deja J.: Trwałość zapraw i betonów żuźlowo-alkalicznych, Ceramika, Prace Komisji Nauk Ceramicznych, Kraków, PTC, vol. 83, 2004.
- [3] Małolepszy J. i in.: Technologia betonu – metody badań, Wydawnictwa AGH, Kraków, 2000.
- [4] Neville A.: Właściwości betonu, Polski Cement, Kraków, 2000.

## **RESISTANCE OF SELF-COMPACTING CONCRETES ON THE BASIS OF SLAG CEMENT (CEM III) TO ENVIRONMENTS CONTAINING CHLORINE IONS**

### **Summary**

This paper presents research results on corrosion resistance of self compacting concretes made of cement containing blast furnace slag in water solutions with chlorides.

On the basis of defined resistance coefficient OK. It has been proved that these concretes possess high resistance to environments containing chlorides and the corrosion resistance series has been established for solutions of  $MgCl_2$ ,  $NH_4Cl$  and  $HCl$ .