

Tomasz JUSZCZAK\*

Politechnika Świętokrzyska, Kielce

## WPLYW CEMENTÓW ZAWIERAJĄCYCH ŻUŻEL WIELKOPIECOWY NA PRZEPUSZCZALNOŚĆ I MROZODPORNOŚĆ BETONU

**Streszczenie.** W referacie przedstawiono fragment własnych badań, których celem była próba oceny wpływu stosunku woda-spoivo oraz rodzaju spoiva, zawierającego zróżnicowane ilości dodatku żużla wielkopieczowego na charakterystyki porowatości (porowatość całkowita, nasiąkliwość), przepuszczalność chlorków i mrozoodporność betonu.

## INFLUENCE OF ADDITION BLAST FURNACE SLAG ON PERMEABILITY AND FREEZE-THAW DURABILITY OF CONCRETE

**Summary.** The paper presents the results of a laboratory study undertaken to evaluate the influence of addition of blast furnace slag on properties of hardened concrete connected with freeze-thaw durability.

The experiments were designed (16 concretes) to consider the influence of water-cementitious material ratio ( $W/B=0,25-0,55$ ) and cement type containing different amount of fly ash (CEM I, CEM II/A-S, CEM II/B-S and CEM III/A) on porosity characteristics (absorption, chloride permeability), compressive strength and freeze-thaw resistance of hardened concrete.

### 1. Wprowadzenie

Współczesna technologia betonu daje szerokie możliwości modyfikowania mikrostruktury materiałów cementopochodnych poprzez zastosowanie aktywnych chemicznie dodatków mineralnych. Skuteczność działania danego dodatku zależy od jego składu chemicznego oraz stopnia rozdrobnienia. Dodatki typu II działają w sposób fizyczny jako mikrowypełniacze porów, a w dłuższym okresie wchodzą w reakcje chemiczne jako spoivo glinokrzemianowe.

\* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Jerzy Wawrzeńczyk, prof. Politechniki Świętokrzyskiej

Odpowiednio rozdrobnione dodatki wpływają na redukcję objętości i ciągłość porów kapilarnych. Jeśli nawet nie ma istotnej redukcji porowatości całkowitej, to istotny wzrost objętości drobnych porów żelowych ma zasadnicze znaczenie dla procesów transportu wody [1].

Duża szczelność i niska przepuszczalność betonu traktowane są jako synonim trwałości w odniesieniu do korozji chemicznej związanej z zagadnieniami: korozji zbrojenia, karbonizacji, korozji chlorkowej itp. [2].

W przypadku mrozoodporności dogęszczenie struktury może być skuteczne pod warunkiem całkowitego wyeliminowania obecności porów kapilarnych lub trwałego zablokowania ich ciągłości. Stwierdzono bowiem, że nawet stosunkowo niewielka objętość wody zdolnej do zamarzania przy dużej szczelności matrycy może prowadzić do zniszczenia betonu [3]. Z punktu widzenia zagadnienia mrozoodporności istotne jest więc pytanie, czy w dłuższym okresie czasu na skutek ciśnień generowanych podczas przemiennego zamrażania-rozmrażania oraz ciśnienia osmotycznego możliwe jest przerwanie ciągłości i wnikanie wody do wnętrza początkowo odizolowanych porów o większych wymiarach.

Stosowanie cementów żuźlowych i hutniczych ma zasadnicze znaczenie techniczne i ekonomiczne w przypadku budowy hydrotechnicznych, mostowych czy zbiorników w oczyszczalniach ścieków, gdzie beton musi spełniać wiele wymagań odnośnie do: przepuszczalności, ograniczonego wydzielania ciepła, odporności na czynniki chemiczne oraz mrozoodporności. Pozostaje otwarte pytanie, jak projektować takie betony z uwzględnieniem zagadnień mrozoodporności dla różnych klas ekspozycji?

## 2. Opis badań własnych

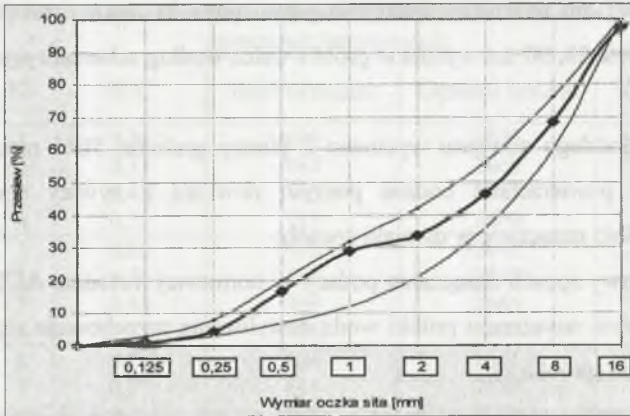
Celem badań była próba oceny wpływu ilości żuźla (cementu z dodatkiem żuźla) na strukturę porowatości i mrozoodporność betonu. Program badań obejmował wykonanie oznaczeń cech fizycznych, przepuszczalności chlorków oraz mrozoodporności dla 4 serii betonów.

Strukturę betonu zróżnicowano poprzez zastosowanie materiałów przedstawionych w tabeli 1. Jako kruszywo stosowano piasek naturalny 0/4, kruszywo bazaltowe frakcji 2/8 i 8/16 mm oraz superplastyfikator na bazie polikarboksylianów. Przyjęto stałe uziarnienie stosu okruszowego o punkcie piaszkowym  $pp=33\%$ . Krzywą uziarnienia przedstawiono na rysunku 1.

Tabela 1

Oznaczenie serii, zakres stosunku W/C oraz rodzaj użytego cementu

Oznaczenie serii	Zakres stosunku W/C	Rodzaj cementu
A	0,25÷0,55	CEM I 42,5N-HSR/NA
B	0,25÷0,55	CEM II/A-S 42,5N
C	0,25÷0,55	CEM II/B-S 32,5R
D	0,25÷0,55	CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA



Rys. 1. Uziarnienie stosu okruszowego w układzie krzywych granicznych

Fig. 1. Granulation of aggregate

Zakres pracy obejmował:

a) badania świeżej mieszanki betonowej:

- konsystencji metodą opadu stożka  $SL$ ,
- gęstości objętościowej  $g_b$ ,

b) program badań stwardniałego betonu obejmował wykonanie badań na próbkach kostkowych, jak również na próbkach odwiertach po okresie 28 dni, 90 i 1 roku.

W referacie przedstawiono analizę wyników po 28 i 90 dniach.

Badania na próbkach kostkowych:

- wytrzymałości na ściskanie  $f_{cc}'$ ,
- mrozodporności na próbkach-kostkach metodą zwykłą  $M_{F150}$  wg PN-88/B-06250 [6].

Badania na próbkach-odwiertach:

- właściwości fizycznych: nasiąkliwości wagowej  $n_w$  i objętościowej  $n_o$ , zawartości powietrza w stwardniałym betonie  $Zp1$ ,
- odporności betonu na penetrację chlorków  $Q$  wg zaleceń GDDP [4].

Badania wytrzymałości na ściskanie na próbkach-kostkach o wymiarach  $h=a=10$  cm – 2 szt. przeprowadzono po okresie 2, 7, 28 i 90 dni zgodnie z PN-EN 12390-3.

Badania mrozoodporności przeprowadzono na próbkach-kostkach, które poddano 150 cyklom zamrażania i rozmrażania w powietrzu (3 szt.). Kontrola uszkodzeń, poza oceną makroskopową, sprowadzała się do pomiaru zmian mas i utraty wytrzymałości na ściskanie w stosunku do próbek - świadków (3 szt.).

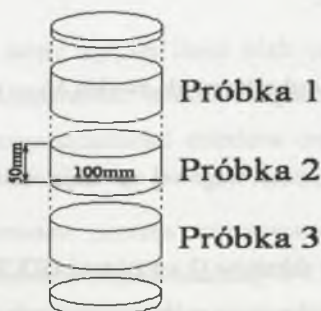
Podczas wykonywania zarobów formowano próbki o wymiarach 15x20x50 cm. Próbki te dojrzewały przez 7 dni w wodzie, następnie przez okres 21 dni w warunkach powietrzno suchych. Po upływie 28, 90 dni wycinano próbki-walce według schematu przedstawionego na rysunku 2.

Następnie z każdego odwiertu wycinano 2 plastry grubości  $50 \pm 1$  mm ( próbki 1 i 2, rys. 2), których powierzchnie boczne pokryto powłoką z żywicy epoksydowej. Tak przygotowane próbki nasączało w dwojaki sposób:

- $Q_{24d}$  – standardowy sposób nasączenia podany w normowej metodzie ASTM [5], gdzie po podciśnieniowym nasączeniu próbki wodą destylowaną przechowuje się ją w wodzie w ciągu 24 godzin (próbka 2),
- $Q_{7d}$  – zmodyfikowana metoda nasączenia, gdzie po procesie podciśnieniowego nasycenia próbkę przechowuje się w wodzie w ciągu 7 dni (próbka 1).

Następnie tak przygotowane próbki-plasty umieszczano w specjalnie do tego celu zaprojektowanej komorze pomiarowej, pomiędzy dwoma zbiornikami o pojemności  $2,2 \text{ dm}^3$  wypełnionymi odpowiednio roztworem 3% NaCl i 0.3N NaOH. Przez tak powstały układ przepuszczano prąd elektryczny o założonym napięciu 60V. Dokonywano odczytu aktualnej wartości natężenia prądu co 5 minut przez okres 6 godzin. Zależność zmiany natężenia przepływającego prądu w funkcji czasu podawana jest w kulombach (C).

Ponadto, z różnicy nasiąkliwości objętościowej pod próżnią i zwykłej wyznaczano zawartość powietrza w stwardniałym betonie (próbka 3).



Rys. 2. Schemat pocięcia odwiertu z bloku betonowego  
Fig. 2. A schematic diagram of cutting samples

### 3. Wyniki badań i ich analiza

Podstawowe informacje o składach i właściwościach świeżych mieszanek betonowych zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Podstawowe informacje o składzie i właściwościach świeżych mieszanek betonowych

SERIA	Nr	W/C	Ilość cementu	Gęstość betonu	Konsystencja
A	1	0,25	609	2675	S3
	2	0,35	463	2668	S3
	3	0,45	366	2643	S4
	4	0,55	325	2608	S3
B	1	0,25	603	2645	S3
	2	0,35	458	2641	S3
	3	0,45	369	2665	S3
	4	0,55	324	2607	S3
C	1	0,25	604	2651	S3
	2	0,35	453	2650	S4
	3	0,45	363	2633	S4
	4	0,55	324	2600	S3
D	1	0,25	600	2632	S3
	2	0,35	454	2639	S4
	3	0,45	365	2633	S4
	4	0,55	326	2620	S4

Wyniki oznaczeń cech fizycznych: nasiąkliwości wagowej  $n_w$ , objętościowej  $n_o$ , zawartości powietrza w stwardniałym betonie  $Z_{pl}$ , przepuszczalności chlorków  $Q$  po 28 i 90 dniach dojrzewania oraz wyniki badania mrozoodporności  $M_{F150}$  po 150 cyklach zamrażania i rozmrażania zestawiono w tabeli 3.

Mieszanka betonowa charakteryzowała się bardzo dobrą urabialnością – opad stożka od 100÷210 mm. Po 28 i 90 dniach dojrzewania betony uzyskały podobną nasiąkliwość bez względu na rodzaj użytego cementu.

Wytrzymałość betonu na ściskanie po 28 dniach dojrzewania wynosiła 56,7÷114,8 MPa.

Wzrost masy próbek po przebyciu 150 cykli zamrażania i rozmrażania wskazuje na postępujący proces destrukcji wewnętrznej betonu – pojawiające się mikrospeknięcia powodują wchłanianie dodatkowej ilości wody. Największe ubytki wytrzymałości wykazały próbki serii D i C4 o wskaźniku W/C= 0,55 i 0,45. W dalszej analizie przyjęto jako kryterium mrozoodporności spadek wytrzymałości  $\Delta R=10\%$ .

Badania nasiąkliwości wagowej oraz przepuszczalności betonów po 28 dniach dojrzewania wykazały, że dla każdego stosunku W/C z zakresu 0,25÷0,55 najmniejsze

wartości ładunku elektrycznego przepływają przez betony serii D (rys. 3), zawierające najwięcej dodatku żużla.

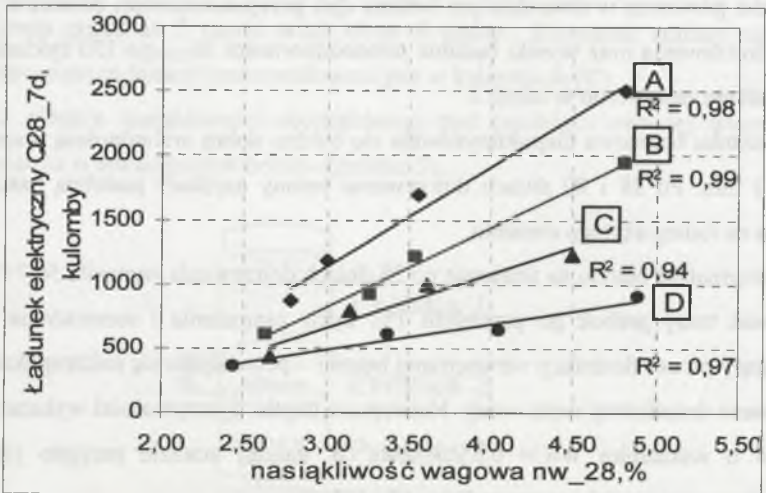
Tabela 3

## Wyniki oznaczeń po 28 i 90 dniach dojrzewania

SERIA	Nr	$n_{w\_28}$ [%]	$n_{o\_28}$ [%]	$n_{w\_90}$ [%]	$n_{o\_90}$ [%]	Zp1 [%]		Q <sub>28</sub> [C]		Q <sub>90</sub> [C]		M <sub>FI50</sub> [%]	
						Zp1 <sub>28</sub>	Zp1 <sub>90</sub>	Q <sub>28_24</sub>	Q <sub>28_7</sub>	Q <sub>90_28</sub>	Q <sub>90_7</sub>	ΔG	ΔR
A	1	2,8	7,2	2,8	7,3	0,13	0,07	840	867	662	694	-0,07	-2,7
	2	3,0	7,9	2,9	7,7	-0,13	-0,27	1100	1181	932	953	-0,07	-2,3
	3	3,6	9,2	3,8	9,6	-0,25	-0,35	1702	1689	1685	1689	0,29	-13,1
	4	4,8	11,9	4,6	11,4	0,34	-0,30	2281	2502	2270	2364	0,18	-10,3
B	1	2,6	6,8	2,7	7,1	-0,76	0,07	787	609	605	450	-0,01	-1,5
	2	3,3	8,4	3,3	8,3	0,72	0,69	1083	915	803	827	-0,01	-5,2
	3	3,5	9,1	3,6	9,2	1,32	0,78	1159	1206	1080	906	-0,02	-5,1
	4	4,8	12,1	4,6	11,5	0,53	0,10	1150	1939	1682	1466	0,09	-10,7
C	1	2,7	6,9	2,7	7,0	-0,09	-1,05	616	429	326	297	-0,01	-2,2
	2	3,2	8,1	3,3	8,3	1,05	-0,28	874	792	492	484	-0,03	-2,3
	3	3,6	8,7	3,9	9,8	0,69	-0,24	1234	991	648	692	0,36	-12,9
	4	4,5	11,3	4,7	11,6	0,60	-0,43	1697	1226	970	1077	0,33	-16,1
D	1	2,4	6,4	2,4	6,3	-0,22	-0,49	482	364	267	292	-0,06	-1,1
	2	3,4	8,7	2,9	7,7	0,26	-0,20	760	600	447	448	0,16	-13,4
	3	4,1	10,3	3,8	9,6	0,59	0,41	781	645	468	443	0,49	-18,4
	4	4,9	12,1	4,3	10,6	1,07	0,54	935	894	481	559	0,27	-20,3

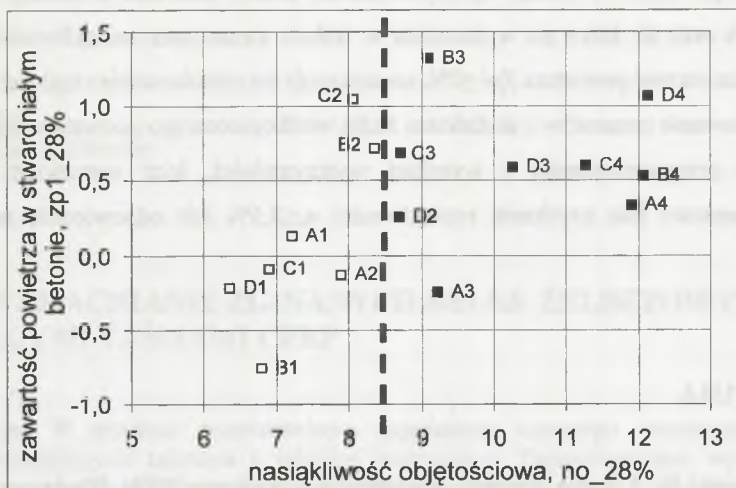
ΔG – zmiana mas próbek po 150 cyklach zamrażania i rozmrażania,

ΔR – utrata wytrzymałości próbek po 150 cyklach zamrażania i rozmrażania.



Rys. 3. Nasiąkliwość wagowa betonów badanych po 28 dniach oraz przepuszczalność wyrażona w kulombach po 7 dniach nasączenia próbek

Fig. 3. The mass absorption of concretes and chloride permeability to be Expresssem by Colombs and to be investigated after 28 days maturation



Rys. 4. Zależność pomiędzy nasiąkliwością  $n_{o,28}$ , ilością powietrza  $Z_{pl}$  a odpornością betonu na działanie mrozu. Czarne punkty oznaczają beton niemrozoodporny

Fig. 4. Relationship between volume absorption  $n_{o,28}$ , content air  $Z_{pl}$ , and freeze-thaw durability. The black points show not durable concrete

Na rysunku 4 przedstawiono zależność pomiędzy nasiąkliwością  $n_{o,28}$  i zawartością powietrza  $Z_{pl}$  a wynikami badań mrozoodporności, z którego wynika, że betony szczelne o nasiąkliwości  $n_{o,28} < 8,5\%$  są mrozoodporne. Większość z nich to betony o zawartości powietrza  $Z_{pl}$  poniżej 0, co świadczy o tym, że pory po wysuszeniu uległy zablokowaniu i nie można ich wypełnić wodą nawet pod próżnią.

Ze względu na ograniczoną objętość artykułu nie została zaprezentowana pełna analiza uzyskanych wyników.

#### 4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że dodatek żużla wielkopiecowego do cementu ma istotny wpływ na właściwości stwardniałego betonu. Korzystne oddziaływanie widoczne jest w obniżeniu przepuszczalności betonu przy zbliżonej nasiąkliwości dla betonów o tym samym stosunku W/C. Zwiększenie ilości dodatku żużla powoduje istotne obniżenie przepuszczalności przy danej nasiąkliwości betonu.

Przeprowadzone badania mrozoodporności wykazały największą utratę wytrzymałości dla betonów z największą zawartością żużla dla serii D (CEMIII/A) i serii C (CEMII/B-S).

Do grupy betonów mrozoodpornych należą betony szczelne o niskiej nasiąkliwości  $n_{o,28} \leq 8,5\%$  oraz te, które po wysuszeniu w trakcie oznaczania nasiąkliwości pod próżnią wykazały zawartość powietrza  $Z_{pl} \leq 0\%$ , co wskazuje na zablokowanie ciągłości porów.

Zastosowanie cementów z dodatkiem żużla wielkopiecowego pozwala uzyskiwać betony o niskiej przepuszczalności i wysokiej wytrzymałości, lecz warunkiem zapewnienia mrozoodporności jest uzyskanie nasiąkliwości  $n_{o} \leq 8,5\%$  lub odpowiednie napowietrzenie betonu.

## LITERATURA

1. Kurdowski W.: Chemia cementu. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1991.
2. Neville A.M.: Właściwości betonu. Polski Cement, Kraków 2000.
3. Rusin Z.: Technologia betonów mrozoodpornych. Kraków 2002.
4. Zalecenia dotyczące oceny jakości betonu 'in situ' w nowo budowanych konstrukcjach obiektów mostowych – Załącznik do Zarządzenia Nr 11 GDDP, 1998.
5. ASTM C 1202-91, Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration, P.A. 19103, USA.
6. PN-88/B-06250, Beton zwykły.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jan Małolepszy