ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2004
Seria: BUDOWNICTWO z. 102 Nr kol. 1644

Beata ŁAŹNIEWSKA*
Politechnika Śląska

BADANIE STRUKTURY POROWATOŚCI BETONÓW SAMOZAGĘSZCZALNYCH W ASPEKCIE ICH MROZOODPORNOŚCI

Streszczenie. W referacie analizowano zagadnienie porowatości betonów samozagęszczalnych. Szczególną uwagę poświęcono procesowi tworzenia się struktury porowatości powstającej w wyniku odpowietrzania się mieszanki betonowej. Określenie efektywnego stopnia napowietrzenia mieszanki betonowej jest kluczowym parametrem pozwalającym prognozować mrozoodporność betonu.

TESTING POROSITY STRUCTURE OF SELF-COMPACTING CONCRETES IN VIEW OF THEIR FREEZE RESISTANCE

Summary. The paper presents testing of porosity structure of self-compacting concrete. Concrete mix of self-compacting concrete self-eliminates needless air bells. In consequence, porosity structure influences freeze resistance of self-compacting concrete.

1. Wstęp

O odporności mrozowej betonu decyduje jego struktura porowatości. Ważnym zagadnieniem jest też rozmieszczenie i wymiary porów powietrznych. Na rozmieszczenie tych porów w betonie samozagęszczalnym (Self-Compacting Concrete SCC) wpływa m.in. wskaźnik wodno-cementowy oraz obecność domieszek i dodatków. Przy zwiększeniu wskaźnika wodno-cementowego powyżej wartości 0,38, pojawia się dodatkowy problem związany z koniecznością napowietrzania mieszanki [1].

Mieszanka betonu samozagęszczalnego posiada zdolność eliminowania zbędnych pęcherzyków powietrza przy zachowaniu jednorodności i stabilności struktury [2, 3].

* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Jan Ślusarek, prof. Pol. Śląskiej

Nie wiadomo jednak, jaka część powietrza pozostaje w strukturze SCC. W celu identyfikacji ilości powietrza pozostającego w strukturze betonu należy wykonać badania struktury jego porowatości.

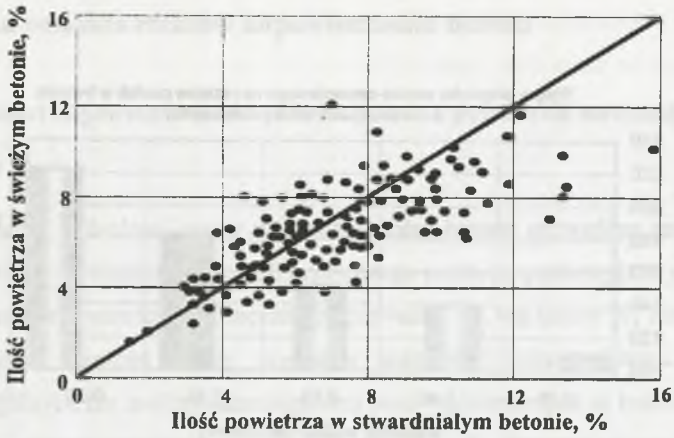
W referacie dokonano wstępnego przeglądu literatury na temat sposobów tych badań. Na podstawie tego przeglądu opracowany będzie program badań struktury porowatości betonów samozagęszczalnych. W dalszej kolejności planowane są bowiem badania szczegółowe.

Zagadnienie odpowietrzania się samozagęszczalnej mieszanki betonowej zostało już zasygnalizowane w referacie [4]. Zaproponowano w nim model kinetyki zmian porowatości SCC, który może być przydatny do analizy odporności mrozowej SCC. W modelu tym istotnym parametrem są niejednorodności końcowe (zawartość powietrza w SCC), mające ścisły związek z odpornością mrozową tworzywa cementowego.

2. Badanie napowietrzenia mieszanki betonowej

Zawartość powietrza w mieszance betonowej można określić np. metodą ciśnieniową. Ilość mierzonego powietrza zależy od cech składników, składu mieszanki, temperatury mieszanki oraz jej urabialności. Wielkość pęcherzyków, ich stabilność i rozmieszczenie zależą od czynników technicznych i technologicznych [5]. Czynniki technologiczne i techniczne to m.in.: rodzaj mieszanki betonowej, czas mieszania, temperatura mieszanki, czas transportu, układanie mieszanki betonowej i zagęszczanie mieszaki betonowej. Wielkość pęcherzyków, ich stabilność i rozmieszczenie zależą także od czynników materiałowych. Jako przykładowe czynniki można przytoczyć: rodzaj i jakość środka napowietrzającego, konsystencję mieszanki betonowej, W/C, ilość i rodzaj cementu, dodatki mineralne, kruszywo, wodę zarobową oraz domieszki chemiczne.

Zawartość powietrza w stwardniałej strukturze SCC może być określona np. metodą mikroskopową [6]. Okazuje się, że wyniki badań zawartości powietrza, określone metodą ciśnieniową oraz mikroskopową, są silnie skorelowane liniowo [7]. Wyniki tych analiz przedstawiono na rysunku 1.

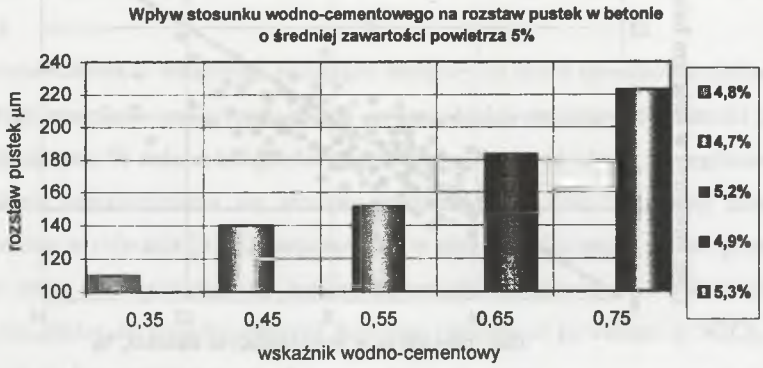


Rys. 1. Zależność pomiędzy ilością powietrza określoną metodą ciśnieniową oraz metodą mikroskopową wg ASTM C457 [8]

Fig. 1. Relation between quantity of definite air pressure method and quantity of definite air microscopic method by ASTM C457 [8]

3. Optymalna struktura porów powietrznych w betonie

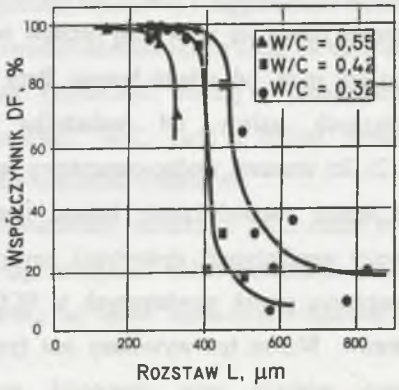
Tworząc optymalną strukturę SCC, nie można skupić się tylko na zawartości powietrza w jego strukturze. Istotne jest również właściwe napowietrzenie betonu, które można stwierdzić na podstawie współczynnika rozstawu pustek powietrznych $\bar{L}$ [10, 11]. Przeciętny rozstaw pomiędzy pustkami wymagany do pełnego zabezpieczenia przed uszkodzeniami mrozowymi wynosi 250 μm [12]. Obecnie zaleca się zazwyczaj rozstaw wynoszący 200 μm. Rozstaw pęcherzyków powietrza zależy m.in. od składu betonu. Przy danej zawartości powietrza rozstaw pustek powietrznych zależy od wskaźnika W/C mieszanki betonu samozagęszczalnego (rys. 2). Im stosunek wodno-cementowy jest bliższy wartości 0,50, tym bardziej wymagane jest lepsze napowietrzenie betonu (zwiększonej ilości powietrza towarzyszy zazwyczaj niższy współczynnik dystrybucji powietrza) [8]. Natomiast wzrost wartości współczynnika rozstawu pustek powietrznych w SCC powodowany jest poprzez obecność superplastyfikatorów. Wzrost ten wywołany jest tym, iż pęcherzyki powietrzne posiadają rozmiary nieco większe przy obecności superplastyfikatora. Ponadto, superplastyfikatory w połączeniu z pewnymi cementami i domieszkami napowietrzającymi mogą wytworzyć niestabilny układ pustek powietrznych, w rezultacie powoduje niejednorodne napowietrzenie struktury SCC. Wyniki tych analiz przedstawiono na rys. 3.



Rys. 2. Wpływ wskaźnika W/C na rozstaw pustek w betonie o średniej zawartości powietrza 5% [12]

Rys. 2. Influence of the W/C ratio on distance of voids in concrete with average contents of air 5% [12]

Zawartość powietrza w SCC zależy także od obecności dodatków pylastych w jego strukturze. Zaczyn cementowy, zawierający takie dodatki, ma pory drobniejsze od czystego zaczynu cementowego przy tej samej wartości wskaźnika W/C. Dodatkowo, występuje zjawisko obniżenia zawartości powietrza w mieszance betonowej. Rusin [5] zauważa, że obie te tendencje mogą wywołać istotny spadek mrozoodporności nienapowietrzonych betonów z dodatkami, o średnich i wysokich wartościach W/C (W/C > 0,37).



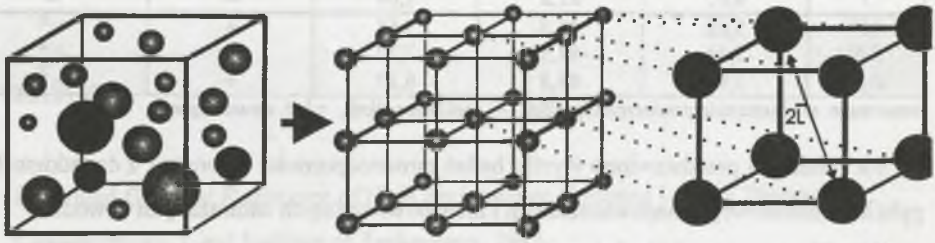
Rys. 3. Zależność między rozstawem $\overline{L}$ a wskaźnikiem DF (wskaźnik trwałości) dla betonu z dodatkiem superplastyfikatora [13]

Fig. 3. Relation between factor $\overline{L}$ and index DF (index of durability) for concrete with addition of superplasticizers [13]

4. Metodyka badania efektów napowietrzania betonu

4.1. Ocena jakości napowietrzania na podstawie badań pośrednich mrozoodporności betonu

Spośród metod pośredniej oceny mrozoodporności betonu szczególne znaczenie mają metody stanowiące rozwinięcie koncepcji krytycznego rozstawu pęcherzyków powietrznych. Badanie struktury porowatości SCC można przeprowadzić np. wg normy [6] lub PN-EN 480, która w sposób bardziej ścisły precyzuje metodykę badania betonu. Składa się ono z poszczególnych faz analizy stereologicznej porów powietrznych w betonie. W normie [6] zastosowano pewne założenia upraszczające (rysunek 4), dotyczące sposobu określenia rozmieszczenia porów w betonie.



Obraz rzeczywisty Założenia upraszczające Sposób wyliczenia $\bar{L}$

Rys. 4. Model napowietrzonego zaczynu cementowego wg ASTM C 457 [5]
Fig. 4. Model of aerated cement paste by ASTM C 457 [5]

Jeżeli weźmiemy pod uwagę różnorodność cech materiałowych SCC, trudno oczekiwać, że można powiązać jeden parametr (np. współczynnik $\bar{L}$), charakteryzujący jakość danego betonu z jego mrozoodpornością. Z tego powodu badania struktury powietrznej betonu muszą zostać rozszerzone o badania bezpośrednie [8].

4.2. Ocena jakości napowietrzania na podstawie badań bezpośrednich mrozoodporności betonu

Metody bezpośredniej oceny mrozoodporności betonu traktowane są jako metody o podstawowym znaczeniu. Polegają one na cyklicznym zamrażaniu i odmrażaniu próbek betonowych. Ocena skutków niszczącego działania mrozu dokonywana jest poprzez pomiary:

częstotliwości rezonansowej, odkształceń, wytrzymałości, masy itp. Szczegółowe porównanie tych metod zamieszczono m.in. w pracy [8].

Na podstawie wyników badań mrozoodporności SCC można wnioskować o właściwym jego napowietrzeniu. Badania takie wykonywał ostatnio J. Wawrzeńczyk [14]. Wybrane wyniki tych badań zamieszczono w tablicy 1. Pomimo uzyskania znacznej wytrzymałości beton nienapowietrzony (seria 3) uległ spękaniu zarówno w trakcie cyklicznego zamrażania w powietrzu, jak również w wodzie (wykonano 300 cykli zamrażania wg PN-88/B-06250).

Tablica 1

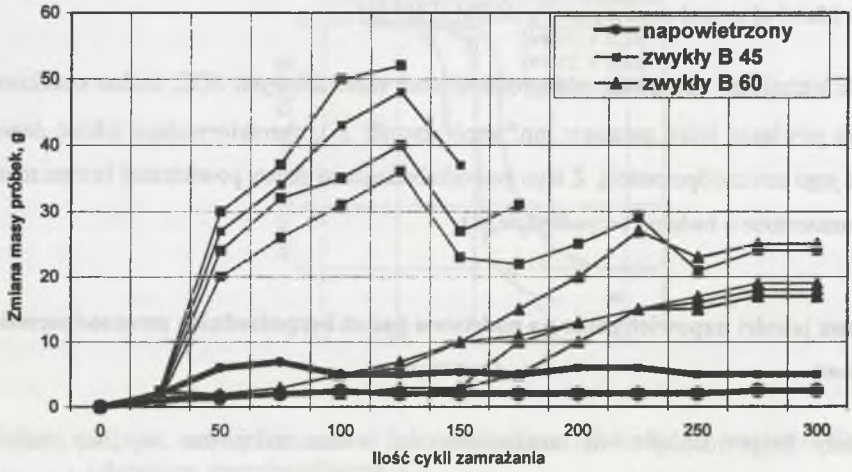
Właściwości stwardniałych betonów [14]

Seria	Nasiąkliw. n_w %	Wytrzym. f_c MPa	Zawartość powietrza %	Ocena mrozoodporności w powietrzu	Ocena mrozoodporności w wodzie
1	3,79	86,0	0,78	+	+
2	5,18	72,8	1,71	+	+
3	6,07	61,8	1,64	--	--
4-N	5,02	47,0	5,55	+	+[z]
5-N	5,44	44,5	7,32	+	+[z]
6-N	5,94	48,8	6,17	+	+[z]

oznaczenie: z- złuszczenie powierzchni próbek, -- spękanie próbek, + bet. mrozoodporny

Na rysunku 5 przedstawiono wyniki badań mrozoodporności betonów (z dodatkiem 10% pyłu krzemionkowego) napowietrzanych i nienapowietrzonych zamrażanych w wodzie.

Wyniki powyższych badań mogą świadczyć o tym, iż w celu ochrony SCC przed mrozem, o niskim wskaźniku W/C, konieczny jest zabieg ich napowietrzania [14].



Rys. 5. Zmiana masy próbek w trakcie cyklicznego ich zamrażania-rozmrażania [14]
Fig. 5. Modification of mass of samples during theirs cyclic freezing-defrosting [14]

5. Wnioski

Odporność mrozowa betonu jest ściśle związana ze strukturą jego porowatości. Obecność domieszek i dodatków w SCC oraz wskaźnik W/C > 0,38 może pogarszać jego mrozoodporność [15, 16]. Wydaje się zatem, że występuje konieczność napowietrzania SCC w celu jego ochrony przed skutkami mrozu.

Problem ten będzie analizowany w najbliższej przyszłości. Opracowany będzie program badawczy nawiązujący do modelu kinetyki odpowietrzania się mieszanki betonowej [4]. Umożliwi on identyfikację efektywnego stopnia napowietrzenia SCC. Postawiono bowiem tezę, że istnieje ścisły związek pomiędzy kinetyką zmian porowatości a odpornością mrozową stwardniałego tworzywa. Do identyfikacji tego związku wykorzystane będą elementy teorii homogenizacji, która została przedstawiona w referacie [4].

LITERATURA

1. Fagerlund G.: Frost Resistance of High Performance Concrete – Some Theoretical Considerations. Lund Institute of Technology, 1993.
2. Giergiczny Z., Małolepszy J., Szwabowski J., Śliwiński J.: Cementy z dodatkami mineralnymi w technologii betonów nowej generacji. wyd. Górażdże Cement, Opole 2002.
3. Szwabowski J.: Reologia samozagęszczalnych mieszanek betonowych. IV Sympozjum Naukowo-Techniczne „Reologia w technologii betonu", Gliwice, czerwiec 2002, wyd. Górażdże Cement, 61-76.
4. Łaźniewska B.: Model kinetyki zmian porowatości betonów samozagęszczalnych. IV Konferencja Naukowa Doktorantów Wydziału Budownictwa, Gliwice - Wisła 20 – 21 listopada 2003, 239 – 246.
5. Rusin Z.: Technologia betonów mrozoodpornych. Polski Cement, Kraków 2000.
6. ASTM Destignation C457: Standard practice for microscopical determination of air-viod centent and parameters of air-void system in hardended concrete. Annulal Book of ASTM Standards, Vol. 04.02, 1985, 403-410.
7. Pigeon M., Saucier F., Cameron G.: Air-Void Stability, Part V: Temperature, General Analysis, and Performance Index. ACI Materials Journal, V. 88, No. 1, 1991.

8. Bureau U.S. OF RECLAMATION: The air-void system of Highway Research Board co-operative concretes, Concrete Laboratory Report Nr C-824, Denver, Colorado, April 1956.
9. Wawrzeńczyk J.: Diagnostyka mrozoodporności betonu cementowego. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, Kielce 2002.
10. Litvan G.: Air entrainment in the presence of superplasticizers. ACI Journal, Vol. 80, No. 4, 1983, 326-331.
11. Sommer H.: The precision of the mocroscopical determination of the air void system hardended concrete. Cement, Concrete and Aggregates. Vol. 1, No. 2, 979, 49-55.
12. Bureau U.S. OF RECLAMATION: Investigation into the effect of water/cement ratio on the freezing-thawing resistance of non-air and air-entrained concrete, Concrete Laboratory Report Nr C-810, Denver, Colorado, 1955.
13. Kobayashi M., Nakakuro E., Kodama K., Negami S.: Frost resistance of superplasticized crete. ACI SP-68, 1981, 269-282.
14. Wawrzeńczyk J., Wojtasik P.: Mrozoodporność betonu SCC wykonanego z dodatkiem mączki wapiennej. Konferencja Naukowo-Techniczna - Jadwisin 2002.
15. Aitcin P. C.: High performance concrete. E&FN SPON, London 1998.
16. Aitcin P. C.: Trwały wysokowartościowy beton – sztuka i wiedza. Konferencja „Beton na progu nowego Milenium". Polski Cement, 413-431, Kraków 2000.

Recenzent: Dr hab. inż. Jerzy Wawrzeńczyk