ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2006
Seria: BUDOWNICTWO z. 109 Nr kol. 1735

Beata ŁAŹNIEWSKA*
Politechnika Śląska, Gliwice

STABILNOŚĆ NAPOWIETRZENIA MIESZANKI BETONOWEJ SAMOZAGĘSZCZALNEJ

Streszczenie. Charakterystyka struktury porowatości mrozoodpornego betonu samozagęszczalnego powinna charakteryzować się odpowiednimi parametrami struktury porowatości.

Rezultaty przedstawionych badań w niniejszym referacie wskazują, iż warunek ten jest do spełnienia pod warunkiem zapewnienia mieszance odpowiednich właściwości reologicznych, które determinują stabilność napowietrzenia. Jednak zauważono, że wprowadzenie domieszki napowietrzającej zmienia wartość tych parametrów, więc problem stabilności napowietrzenia komplikuje się.

AIR-VOID STABILITY IN SELF COMPACTING CONCRETE

Summary. Influence of rhelogical on air void stability in self compacting concrete were explained in this report. Ensuring an adequate stable air-void system in flowable concrete is essential to guarantee proper resistance to freezing and thawing. The air characteristic of SCC can be similar to those found for normal-slump concrete. It was also noticed, that rhelogical parameters of self compacting concrete mix are changed as results of air entraining.

1. Wprowadzenie

W celu zapewnienia mrozoodporności betonu, zgodnie z wymogami normy PN-EN 206, stosowany jest m.in. zabieg napowietrzania mieszanki betonowej. Na skutek zastosowania domieszki napowietrzającej (AEA) powstają liczne, małe pory powietrzne w objętości mieszanki. Pory te powinny charakteryzować się określoną wielkością oraz rozmieszczenie ich w objętości betonu powinno być równomierne. Wyznacznikiem tego rozmieszczenia jest

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

wskaźnik rozmieszczenia porów $\bar{L}$. Canadian Standards Association (CSA A23.2-2000) zaleca, aby w stwardniałym betonie wartość $\bar{L}$ < 0,23 mm oraz zawartość powietrza > 3% w celu zapewnienia mrozoodporności betonu [2]. W przypadku betonów wysokowartościowych o w/s < 0,36 wartość $\bar{L}$ < 0,25 mm zapewnia dobrą mrozoodporność betonu [6].

Mieszanka samozagęszczalna ma zdolność samoczynnego wydalenia przypadkowych, stosunkowo dużych porów powietrznych wprowadzonych podczas jej mieszania. W przypadku wymogu napowietrzenia takiej mieszanki pory powietrzne, wytworzone na skutek działania domieszki napowietrzającej, mogą ulec destabilizacji, co może się objawiać na trzy sposoby: ucieczką części dużych porów w trakcie transportu i układania; znikaniem drobnych porów o wymiarach <10 μm w wyniku rozpuszczania się powietrza w wodzie; łączeniem się małych porów w większe (koalescencja). W rezultacie może nastąpić zwiększenie rozstawu porów $\bar{L}$. Z tego względu napowietrzenie mieszanki samozagęszczalnej wymaga szczególnej kontroli [5].

O stabilności napowietrzenia mieszanki decydują właściwości reologiczne mieszanki. Nasuwa się wiec pytanie, jakim zakresem wartości powinny się one charakteryzować, aby mieszanka samozagęszczalna wyeliminowała duże, zbędne pory powietrzne wprowadzone podczas jej mieszania, a zatrzymała mniejsze, które powstały w wyniku działania domieszki napowietrzającej?

Wiążące się z tym kwestie są przedmiotem dalszej części tego referatu. Przedstawiono także wyniki literaturowych badań stabilności napowietrzenia mieszanki betonowej samozagęszczalnej oraz prowadzonych przez autorkę, z których następnie zostały wyciągnięte stosowne wnioski.

2. Mechanizm samozagęszczenia mieszanki betonowej

Samozagęszczanie, jako zdolność mieszanki betonowej do samoczynnego wydalenia porów powietrznych z jej objętości, zachodzi pod wpływem siły wyporu *W*, której wartość określona jest za pomocą wzoru (1) [1], [13]:

$$W = (\rho_m - \rho_p) g V_z, \text{ [N]} \tag{1}$$

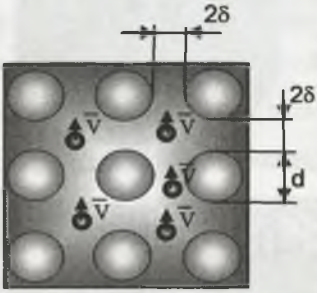
gdzie:
V_z - objętość pora powietrznego, m^3,
ρ_m- gęstość zaczynu, kg/m^3,
ρ_p - gęstość powietrza, kg/m^3,
g - przyśpieszenie ziemskie, m/s^2.

Wypływ pora powietrznego nastąpi, gdy [13], [11]:

$$(\rho_z - \rho_p) d_p \cdot g > \tau_{0z} \cdot A, \tag{2}$$

gdzie:
τ_{0z} - granica płynięcia zaczynu, Pa,
A- stała zależna od kształtu pora, dla kulistego A = 18,
d_p - średnica pora powietrznego.

Jeżeli warunek (2) zostanie spełniony, to por powietrzny zacznie poruszać się względem nieruchomego zaczynu. Prędkość ta jednak zależy od grubości warstewek międzyziarnowych 2δ (rys. 1) i granicy płynięcia zaczynu, w którym porusza się por powietrzny [12]. Będzie tym większa, im jej wymiar będzie rósł, a granica płynięcia malała.



d - wymiar średnicy ziarna
2δ - wymiar przestrzeni międzyziarnowych
$\bar{v}$ - prędkość wypływu pora

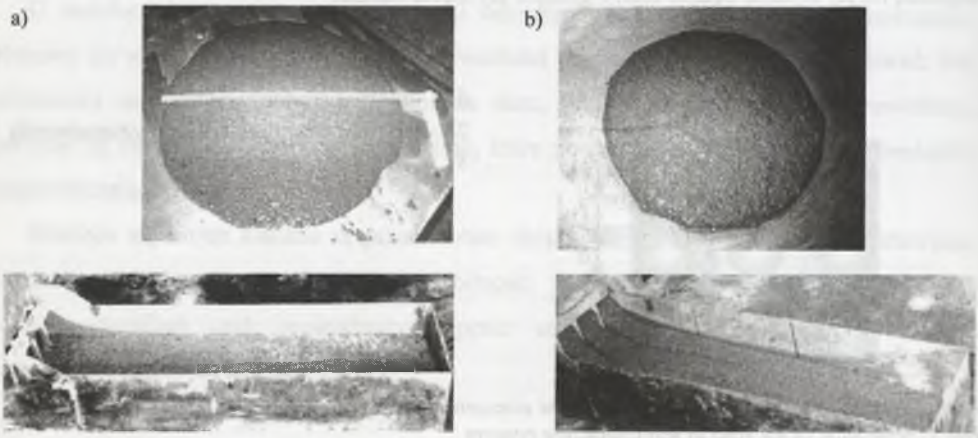
Rys. 1. Schemat ilustrujący pory powietrzne w mieszance samozageszczalnej
Fig. 1. Schematic of air void in self comacting concret

Zwróćmy także uwagę, że prędkość ta rośnie wraz ze wzrostem objętości i siły wyporu pora powietrznego (1). Jest to istotne, ponieważ w przypadku napowietrzonej mieszanki samozagęszczalnej w jej objętości znajdują się pęcherzyki duże, technologicznie wprowadzone oraz mniejsze, wytworzone w wyniku działania AEA. Mieszanka ta powinna charakteryzować się takimi właściwościami reologicznymi, które pozwolą zatrzymać mieszance pożądane, mniejsze pory powietrzne oraz umożliwią wydalić przypadkowe, większe, niekorzystne z punktu widzenia właściwości mechanicznych betonu. Problem ten jest rozważany w dalszej części tego referatu przy omawianiu wyników przedstawionych badań doświadczalnych, które są pewną próbą rozwiązania tego zagadnienia.

3. Rezultaty badań stabilności napowietrzenia mieszanki samozagęszczalnej

Na podstawie poprzedniego rozdziału wnioskować można, że o stabilności napowietrzenia mieszanki samozagęszczalnej decydują właściwości reologiczne. Ustalenie pożądanych wartości parametrów reologicznych nie jest jednak proste, ponieważ domieszki napowietrzające modyfikują w znacznym stopniu właściwości reologiczne mieszanki betonowej [4].

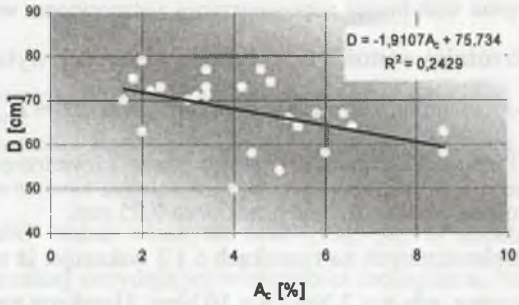
Z drugiej strony, właściwości reologiczne są modyfikowane poprzez wielkość napowietrzenia mieszanki. Badane przez autorkę mieszanki o znacznym stopniu napowietrzenia charakteryzowały się mniejszą średnicą rozpływu niż nienapowietrzone (rys. 2 i 3). Rezultaty pomiarów za pomocą reometru wskazały, iż wraz ze zmniejszaniem się średnicy i czasu rozpływu tychże mieszanek następował spadek wartości g i h.



Rys. 2. Porównanie stopnia płynności mieszanki betonowej samozagęszczalnej napowietrzonej (b) i nienapowietrzonej (a)
Fig. 2. Fluidity level change results of self comapcting concrete with (b)or not (a)air entraining agent

Zagadnienie stabilności napowietrzenia było rozważane m.in. w badaniach Szwabowskiego [12] oraz Proske [8]. Rezultaty badań prowadzonych przez Proske wskazują, iż własności reologiczne wpływają na wielkość i jednorodność napowietrzenia betonu.

Zmniejszanie się wartości średnicy rozpływu (wzrost granicy płynięcia) w połączeniu z wydłużaniem się wartości czasu rozpływu (wzrost lepkości plastycznej) skutkuje znaczącym wzrostem zawartości powietrza w objętości mieszanki.



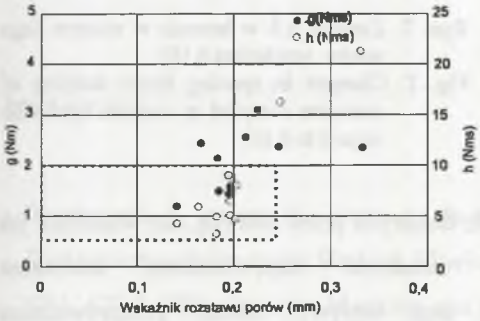
Rys. 3. Zależność pomiędzy zawartością powietrza a stopniem płynności w przypadku mieszanki samozageszczalnej

Fig. 3. Relationship among air void contain and fluidity level for self compacting concrete

Zatem, wartości parametrów nie mogą być zbyt wysokie, nasuwa się więc pytanie, jakim zakresem wartości powinny się one charakteryzować?

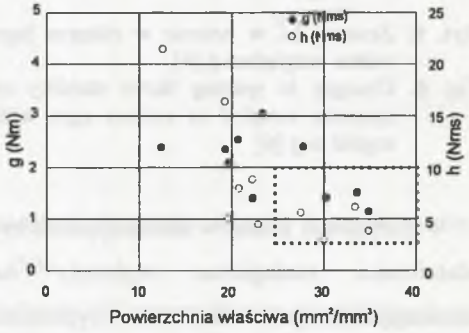
Zagadnienie to było rozważane w pracy Kamala, Khayata i Assaada [6]. Analizowali oni wpływ składu mieszanki na stabilizację napowietrzenia. Efekt oddziaływania właściwości reologicznych mieszanki na stabilność napowietrzenia i parametry struktury porowatości okazał się być szczególnie interesujący.

Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono wpływ wartości g i h na wielkość powierzchni właściwej α i wartość wskaźnika rozstawu porów $\overline{L}$. Tak więc, w celu uzyskania wartości $\overline{L}$ < 0,25 wartości parametrów reologicznych powinny wynosić: g < 2 Nm i h < 10 Nms.



Rys. 4. Współzależność pomiędzy wskaźnikiem rozstawu porów powietrznych a g i h (oszacowanych po 10 min od momentu wymieszania wody i cementu) dla 10 mieszanek SCC [6]

Fig. 4. Relationship among sparing factor, g, and h for mixtures sampled 10 min after initial water and cement contact [6]



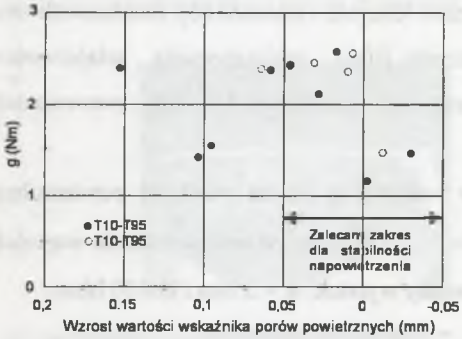
Rys. 5. Współzależność pomiędzy powierzchnią właściwą porów powietrznych a g i h (oszacowanych po 10 min od momentu wymieszania wody i cementu) dla 10 mieszanek SCC [6]

Fig. 5. Relationship among sparing factor, g, i h for mixtures sampled 10 min after initial water and cement contact [6]

W celu oceny stopnia stabilności napowietrzenia ustanowiono wskaźnik $\Delta\bar{L}$. Wartość $\Delta\bar{L}$ jest określana jako różnica wartości $\bar{L}$, określanej dla próbek wykonanych po 10 i 50 lub 90 minutach licząc od momentu połączenia wody z cementem: $\Delta\bar{L} = \bar{L}_{10min} - \Delta\bar{L}_{50\ lub\ 95min}$ [6].

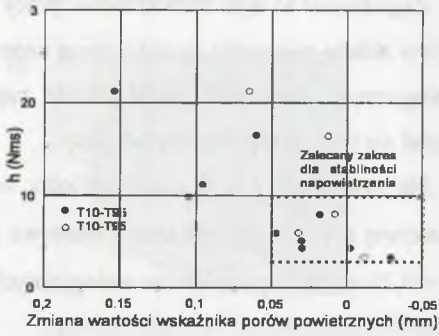
Według Sauciera, Pigeona i Plantea [10] system porów powietrznych może być uważany za stabilny, jeżeli całkowita wartość $\Delta\bar{L}$ nie przekracza 0,05 mm.

Analiza danych, zamieszczonych na rysunkach 6 i 7 wskazuje, iż mniejsza zmienność tej wartości może mieć miejsce, gdy g < 2 Nm i h < 10 Nms. Uzyskany wynik badań jest zgodny ze stwierdzeniem sformułowanym uprzednio, które mówi o tym, iż wartości g i h powinny być utrzymane w tych granicach w celu zapewnienia odpowiedniego systemu porów powietrznych. Jednak wartości g i h nie powinny być jednak zbyt małe, aby nie wystąpiła segregacja mieszanki [6].



Rys. 6. Zmiana $\Delta\bar{L}$ w betonie w różnym jego wieku względem g [6]

Fig. 6. Changes in spacing factor stability of concrete sampled at various ages with regard to g [6]



Rys. 7. Zmiana $\Delta\bar{L}$ w betonie w różnym jego wieku względem h [6]

Fig. 7. Changes in spacing factor stability of concrete sampled at various ages with regard to h [6]

W przypadku betonów samozagęszczalnych, badanych przez autorkę, nie wiadomo, jak właściwości reologiczne wpłynęły na stabilność napowietrzenia mieszanek samozagęszczalnych. W celu wyjaśnienia tego wpływu zostały przeprowadzone mikroskopowe badania jakości napowietrzenia betonu przy wykorzystaniu komputerowego analizatora obrazu. Wyniki analizy tych badań zostaną nadal analizowane i zamieszczone w pracy doktorskiej autorki.

4. Podsumowanie

Stabilność napowietrzenia mieszanki betonowej samozagęszczalnej jest niezwykle istotna z punktu widzenia odporności mrozowej betonu. Jednak w przypadku mieszanki betonowej samozagęszczalnej zapewnienie stabilności jej napowietrzenia nie jest proste.

Jak dowodzą wyniki badań własnych oraz [13], [8], o stabilności napowietrzenia mieszanki samozagęszczalnej decydują jej właściwości reologiczne. Rezultaty tychże badań wskazują także na duży wpływ parametrów reologicznych na jakość napowietrzenia betonu.

Struktura porowatości mrozoodpornego betonu powinna charakteryzować się równomiernie rozmieszczonymi porami powietrznymi o rozstawie $\bar{L} \leq 0{,}25$ wg [6].

W celu uzyskania $\bar{L} \leq 0{,}25$ mm i $\alpha \geq 0{,}25$ mm^{-1}, wartość parametrów reologicznych powinna wynosić: g < 2 Nm i h < 10 Nms. Zachowanie tego warunku jest niezbędne dla zapewnienia stabilności napowietrzenia mieszanek samozagęszczalnych [6]. Zaobserwowano również, że maksymalne odchylenie wartości $\bar{L}$ wynosiło ± 0,05 mm pomiędzy betonami wykonanymi po czasie 10, 50 lub 90 minut, który upłynął od momentu połączenia wody z cementem, gdy mieszanki betonowe samozagęszczalne miały wskazane powyżej wartości parametrów reologicznych [6].

W przypadku mieszanek samozagęszczalnych, badanych przez autorkę, h mieszanki było większe niż 10 Nms. Analiza wyników badań struktury porowatości pozwoli ocenić, czy miało to istotny wpływ na stabilność napowietrzenia mieszanki.

LITERATURA

1. Bandrowski J., Merta H., Zioło J.: Sedymentacja zawiesin, zasady i projektowanie. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1995.
2. CSA A23.2-2000, Concrete Materials and Methods of Concrete Construction/Methods of Test for Concrete, 2000, p. 46-48.
3. Gołaszewski J.: Korygowanie wpływu domieszek napowietrzających na urabialność i wytrzymałość na ściskanie betonów wysokowartościowych, Konferencja Dni Betonu, Tradycja i Nowoczesność, Wisła 11-13 X, 2004.
4. Gołaszewski J.: Kształtowanie urabialności mieszanki betonowej superplastyfikatorami. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.

5. Grodzicka A., Bundyra-Oracz G.: Wpływ mikrostruktury na mrozoodporność SCC w obecności soli odladzającej. Konferencja Dni Betonu, Tradycja i nowoczesność, Wisła 11-13 X, 2004.
6. Kamal H., Khayat and Joseph Assaad: Air-Void Stability in Self –Consolidating Concret. ACI Materials Journal, V. 99, No. 4., July-August 2002, p. 408-416.
7. Persson B.: Internal frost resistance and salt frost scaling of self-compacting concrete. Cement and Concrete Research 33 (2003) p. 373-379.
8. Proske T.: Self-Compacting Concrete – pressure on formwork and ability to deaerate. Darmstadt Concrete 17, 2002.
9. Rusin Z.: Technologia betonów mrozoodpornych. Polski Cement Sp. z o. o., Kraków 2001.
10. Saucier F., Pigeon M. and Plante P.: Air-Void Stability, Part III: Field Tests of Superplasticized Concretes. ACI Materials Journal, V. 87, No. 1, Jan.-Feb. 1990, p. 3-11.
11. Szwabowski J.: Reologia a urabialność betonu samozagęszczalnego. Cement Wapno Beton 1/2004, s. 14-19.
12. Szwabowski J.: Reologia mieszanek na spoiwach cementowych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1999.
13. Szwabowski J.: Reologia samozagęszczalnych mieszanek betonowych. IV Sympozjum Naukowo-Techniczne „Reologia w technologii betonu", s. 61-76, Wyd. Górażdże Cement, Gliwice czerwiec 2002.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jerzy Piasta