

Beata ŁAŻNIEWSKA*
Politechnika Śląska

WPLYW DOMIESZKI NAPOWIETRZAJĄCEJ NA WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNE I PROCES ODPOWIETRZANIA BETONOWEJ MIESZANKI SAMOZAGĘSZCZALNEJ

Streszczenie. W referacie przedstawiono właściwości reologiczne mieszanki samozagęszczalnej oraz metodykę ich pomiaru za pomocą testów jednopunktowych. W dalszej kolejności zaprezentowano wpływ domieszek napowietrzających na wartość tych parametrów. Zmiana wartości parametrów reologicznych może powodować zakłócenie procesu odpowietrzania mieszanki samozagęszczalnej. W konsekwencji, struktura betonu może nie zapewnić mrozoodporności betonu samozagęszczalnego.

INFLUENCE OF AIR ENTRAINING ADMIXTURE ADDITION ON RHEOLOGICAL PROPERTIES AND SELF COMPACTION PROCESS OF CONCRETE MIX

Summary. Rheological parameters and methodology of their measurement by means of single-point tests were explained in this report. Influence of air entraining agent addition on the value of these parameters was presented. It was also noticed, that rheological parameters of self-compacting concrete mix are changed as a results of air entraining. It is probable, that self compaction process of self compacting concrete mix will be disordered. As a consequence, the structure of self-compacting concrete might not assure frost resistance

1. Wstęp

W celu zapewnienia odporności mrozowej betonu stosowany jest w szczególności zabieg napowietrzania mieszanki betonowej. W przypadku mieszanki betonowej samozagęszczalnej domieszki napowietrzające, poprzez zmianę wartości parametrów reologicznych mieszanki [1, 2], mogą wpływać na przebieg samoodpowietrzania się. Może to powodować zaburzenia procesu odpowietrzania mieszanki samozagęszczalnej. W przebiegu

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

procesu pęcherzyki powietrza mogą nie wydostać się z mieszanki betonowej, co wpłynie niekorzystnie na budowę struktury stwardniałego betonu. Istnieje więc potencjalna możliwość, iż jakość napowietrzenia struktury betonu może być niewystarczająca z punktu widzenia jego mrozoodporności. Wyniki badań mrozoodporności betonów samozagęszczalnych [2] świadczą, że struktura betonu samozagęszczalnego może być nietrwała z punktu widzenia jego odporności mrozowej.

Analiza wpływu domieszek napowietrzających na proces samoodpowietrzenia się mieszanki betonowej oraz na budowę struktury porowatości betonu stanowi jeden z celów pracy doktorskiej autorki.

2. Parametry reologiczne mieszanki samozagęszczalnej oraz metodyka ich określenia

O tym, czy mieszanka jest samozagęszczalna, decydują jej właściwości reologiczne ujęte w kryteria samozagęszczalności [3]. W chwili początkowej (przed rozplynięciem) uformowana porcja mieszanki samozagęszczalnej (test rozplywu) ma w przybliżeniu kształt jak na rysunku 1 [4].



Rys. 1. Schemat rozplywania się mieszanki samozagęszczalnej [4]

Fig. 1. Figure of flowing of self-compacting concrete mix [4]

Warunkiem płynięcia mieszanki, umożliwiającym wypełnienie formy (deskowania) wraz z samopoziomowaniem powierzchni, jest uzyskanie takiej wartości granicy płynięcia τ_0 , która będzie istotnie mniejsza od naprężeń stycznych τ w mieszance, wywołanych jej ciężarem własnym. Czyli rozplywanie się mieszanki pod ciśnieniem jej słupa będzie zachodziło, gdy [4, 3]:

$$\tau = \frac{1}{2} \rho_m \cdot g \cdot h > \tau_0, [\text{N/m}^2] \quad (1)$$

gdzie:

τ – naprężenia styczne, granica płynięcia, $[\text{N/m}^2]$,

τ_0 – granica płynięcia, $[\text{N/m}^2]$,

ρ_m – gęstość mieszanki, $[\text{kg/m}^3]$,

g – przyspieszenie ziemskie, $[\text{m/s}^2]$,

h – wysokość słupa mieszanki, $[\text{m}]$,

i ustaje, gdy:

$$h = h_0 \leq \frac{2\tau_0}{\rho_m \cdot g}, [\text{m}] \quad (2)$$

Natomiast lepkość plastyczna dana jest zależnością [4]:

$$\eta_{pl} = \frac{\tau - \tau_0}{\dot{\gamma}}, \left[\frac{\text{Ns}}{\text{m}^2} \right] \quad (3)$$

gdzie:

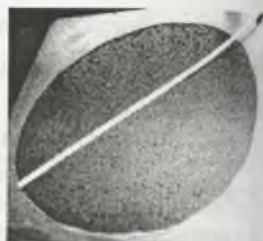
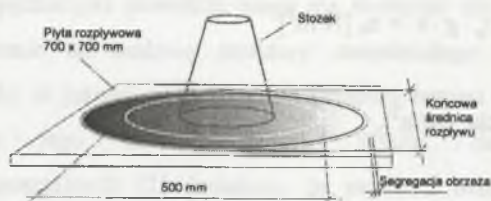
$\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt}$ – prędkość ścinania, $[\text{s}^{-1}]$,

γ, t – całkowite odkształcenie pod obciążeniem, czas, $[\text{s}]$.

Do pomiaru charakterystyk mieszanek samozagęszczalnych stosuje się metody określające wartość parametrów reologicznych zapraw oraz mieszanek betonowych. Do zapraw używa się metody rozptywu stosowanej przy wykorzystaniu stożka do zapraw (V-funnel). Natomiast do mieszanek betonowych wykorzystuje się rozptyw mieszanki, który jest określany za pomocą stożka Abramsa (rys. 2) i skrzynki wypływowej (tzw. L-box – rys. 3). W Japonii zamiast skrzynki L-box stosuje się skrzynkę przelewową (tzw. U-box) i wielkogabarytowy stożek (V-funnel) [5].

Granica płynięcia τ_0 (1) koreluje z rozptywem mieszanki, natomiast lepkość plastyczna η_{pl} (3) z czasem rozptywu mieszanki, co pokazano w pracy Domone'a i Jina [6].

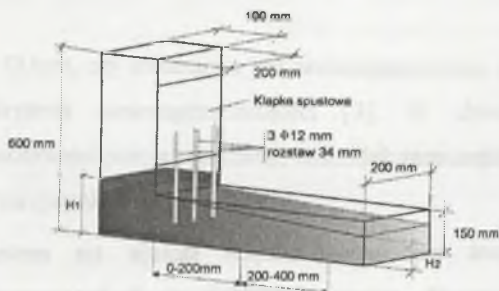
Skrzynka L-box może służyć także do przybliżonego pomiaru lepkości mieszanki. W tym celu mierzy się czas przepływu mieszanki pomiędzy 20 a 40 cm podstawy skrzynki L-box, licząc od klapki spustowej (rys. 3). Lepkość mieszanki szacuje się również na podstawie pomiaru wartości czasu rozptywu mieszanki. W tym celu określa się wartość czasu, w którym mieszanka osiąga rozptyw o średnicy 50 cm [5].



Rys. 2. Badanie rozpliwu mieszanki

Fig. 2. Testing of flowing of mix

Do pomiaru parametrów reologicznych mieszanki samozagęszczalnej można stosować także metody reometryczne [3]. Jednak z uwagi na wspomnianą wyżej korelację, zachodzącą pomiędzy wynikami testów jednopunktowych mieszanki samozagęszczalnej a wartością jej parametrów reologicznych, dokładność testów jednoparametrycznych na skalę techniczną jest wystarczająca [5].



Rys. 3. L-box dla pomiaru właściwości mieszanki

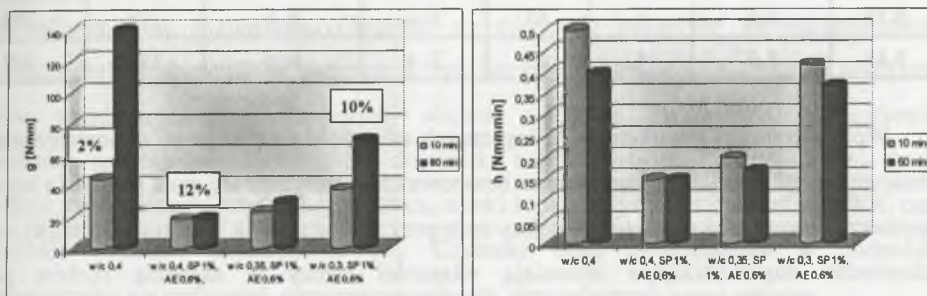
Fig. 3. L-box for measuring properties of mix

3. Wpływ napowietrzenia mieszanki samozagęszczalnej na jej parametry reologiczne i proces odpowietrzania

Do betonów samozagęszczalnych stosuje się wysoko efektywne superplastyfikatory, najczęściej polimery karboksylowe. Superplastyfikatory PC (polimery i kopolimery karboksylowych kwasów akrylowych) i PE (polieter) obniżają bardzo znacznie granicę płynięcia mieszanki betonowej, pozwalając jednocześnie na zwiększenie lepkości plastycznej (1, 3). Umożliwia to mieszance betonowej osiągnąć dużą średnicę rozpliwu w możliwe krótkim czasie. Jeżeli jednak superplastyfikator i domieszka napowietrzająca

stosowane są jednocześnie, obserwować można obniżenie granicy płynięcia (1) i obniżenie lepkości plastycznej (3) w stosunku do mieszanki bez domieszki napowietrzającej [7, 8], co pozostaje w zgodności z badaniami [9, 10], wykonanymi dla mieszanek betonowych. Jednak intensywność zmian wartości powyższych parametrów reologicznych mieszanki jest kształtowana udziałem procentowym danych domieszek chemicznych w objętości mieszanki [7, 4, 11]. Stopień zmiany wartości parametrów reologicznych mieszanki zależy od jej napowietrzenia, przy czym konkretne wartości parametrów reologicznych zależą od składu mieszanki i jej struktury oraz prawdopodobnie od wielkości porów powietrznych, wytworzonych działaniem domieszki napowietrzającej [8].

Również wyniki innych badań, przeprowadzonych m.in. przez Gołaszewskiego [8], świadczą także o obniżeniu wartości parametrów reologicznych zapraw zawierających domieszkę napowietrzającą AE (sole alkaliczne żywic drzewnych). Wartość parametrów reologicznych określono za pomocą reometru w następujących jednostkach: lepkość plastyczną h w [Nmmmin], natomiast granicę płynięcia g w [Nmm]. Wybrane wyniki tych badań przedstawia rysunek 4, na którym podano również procentową zawartość powietrza w zaprawie (na rys. 4 zamieszczoną w prostokątach).



Rys. 4. Wpływ ilości domieszki napowietrzającej AE na g i h zapraw z superplastyfikatorem PE [8]
 Fig. 4. Influence of air entraining agent AE addition on g and h of mortars containing PE superplasticizer [8]

Wskutek zwiększenia napowietrzenia mieszanki betonowej niesamozagęszczalnej obserwować można głównie zmniejszenie wartości lepkości plastycznej [8]. Na przykład, napowietrzenie do ilości 5% powoduje zmniejszenie wartości lepkości plastycznej 70%, podczas gdy wartość granicy płynięcia zmienia się tylko o około 30% w stosunku do mieszanki nienapowietrzonej [12].

Natomiast w przypadku napowietrzonych mieszanek samozagęszczalnych, testowanych przez autorkę (tabl. 1), wraz ze zwiększaniem zawartości powietrza w mieszance betonowej

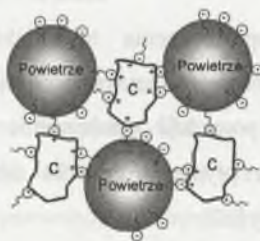
obserwowano proporcjonalnie dłuższy czas rozplywu i mniejszą średnicę rozplywu tychże mieszanek. Jak wynika z danych zamieszczonych w tablicy 1, wielkość rozplywu mieszanki D_{max} jest proporcjonalna do udziału procentowego w jej objętości powietrza. Natomiast czas jej rozplywu jest odwrotnie proporcjonalny do zawartości powietrza w mieszance samozagęszczalnej. Otrzymane wyniki badań (tabl. 1) świadczą o obniżaniu się wartości lepkości mieszanki samozagęszczalnej i zwiększaniu się wartości jej granicy płynięcia, odpowiednio do wzrastającej zawartości powietrza w jej objętości.

Tablica 1

Wpływ napowietrzenia mieszanki samozagęszczalnej
na wartość jej parametrów reologicznych

Wskaźnik w/s i zawartość powietrza w mieszance betonowej samozagęszczalnej		Czas i średnica rozplywu mieszanki (stożek - rys. 2)		Czas przeplywu i wysokość mieszanki (L-box - rys. 3)		Wartość parametrów reologicznych mieszanki	
w/s	Zawartość powietrza w mieszance [%]	t_{50} [s]	D_{max} [mm]	$t_{20}; t_{40}$ [s]	$H_1; H_2$ [cm]	Lepkość [Nmmmin]	Granica płynięcia [Nmm]
0,29	1,6	2	75	3; 7	9; 8	357	12
0,32	3,5	3	78	6; 7,5	8,0; 7,3	289	31
0,35	5,0	3	75	1, 2	7,5; 7,5	197	49
0,38	6,5	6	67	3; 6	8; 6	198	994
0,41	8,2	6	63	2; 4	8; 6	192	601

Wpływ wartości parametrów reologicznych mieszanki na proces jej odpowietrzania jest znaczny. W przypadku gdy mieszanka betonowa charakteryzuje się małą wartością lepkości, pęcherzyki powietrza pokonują mniejszy opór przy wydostawaniu się z niej. Z drugiej strony, domieszki napowietrzające zmieniają własności cieczy w aspekcie ruchów porów powietrznych w tej cieczy. Pęcherze powietrza pozostają w mieszance betonowej przy obecności cząstek ciała stałego (na rys. 5 oznaczoną jako C).



Rys. 5. Działanie stabilizujące środka napowietrzającego na układ: powietrze – pyły mineralne i ziarna cementu [13]

Fig. 5. Influence of air entraining agents on system: air – mineral dust and grains of cement [13]

O pewnej stabilności efektu napowietrzenia zapraw mogą świadczyć wyniki badań [7], w których parametry reologiczne badanych zapraw z domieszką napowietrzającą nie zmieniają się w czasie. Stąd autorka analizuje aktualnie w swoich badaniach doświadczalnych wpływ domieszki napowietrzającej na stopień napowietrzenia mieszanki betonowej samozagęszczalnej.

Przybliżoną kontrolę stopnia napowietrzenia mieszanki można uzyskać na podstawie pomiaru wartości parametrów reologicznych mieszanki, jednak możemy przyjąć, że istnieje możliwość skorelowania stopnia napowietrzenia mieszanki z wartością jej parametrów reologicznych. Umożliwiłoby to **szybką kontrolę i ocenę zmian stopnia napowietrzenia mieszanki tylko na podstawie pomiarów parametrów reologicznych** [7]. Wyniki badań prowadzonych przez autorkę będą próbą weryfikacji słuszności tak postawianej tezy.

4. Wnioski

Rezultaty badań przedstawionych w referacie wskazują, że domieszki napowietrzające, wprowadzone wraz z superplastyfikatorem do mieszanki betonowej samozagęszczalnej, powodują zmianę wartości jej parametrów reologicznych, określonych m.in. na podstawie testów samozagęszalności. Zazwyczaj stopień obniżenia parametrów reologicznych mieszanki, wywołanego stosowaniem domieszki napowietrzającej, zależy od jej dawki i rodzaju, typu cementu i superplastyfikatora, dawki superplastyfikatora, wskaźnika W/C oraz obecności dodatków mineralnych [8]. Czynniki będą uwzględnione w badaniach odpowietrzania się mieszanek samozagęszczalnych, prowadzonych przez autorkę.

Należy również zauważyć, iż **zmiana wartości parametrów reologicznych może zakłócić proces odpowietrzania się mieszanki**. W konsekwencji, struktura betonu może być napowietrzona w nieprawidłowy sposób z punktu widzenia trwałości betonu.

Pewną kontrolą stopnia napowietrzenia mieszanki może być pomiar wartości jej parametrów reologicznych. To znacznie ułatwiłoby szacowanie stopnia napowietrzenia mieszanki.

W celu weryfikacji słuszności tej tezy należy przeprowadzić np. badania mikroskopowe zglądów betonu, za których pośrednictwem sprawdzona zostanie jakość napowietrzenia struktury betonu z punktu widzenia jego mrozoodporności.

LITERATURA

1. Młodecki J., Stebnicka I.: Domieszki do betonu, Centralny Ośrodek Informacji Budownictwa, Warszawa 1996.
2. Łąźniewska B.: Badanie struktury porowatości betonów samozagęszczalnych w aspekcie ich mrozoodporności, IV Konferencja Naukowa Doktorantów Wydziału Budownictwa, Gliwice – Wisła, 18 – 19 listopada 2004.
3. Szwabowski J.: Reologia samozagęszczalnych mieszanek betonowych, IV Sympozjum Naukowo-Techniczne „Reologia w technologii betonu”, , wyd. Górażdże Cement, Gliwice, czerwiec 2002, s. 61-76.
4. Szwabowski J.: Reologia mieszanek na spoiwach cementowych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1999.
5. Urban M.: Metody projektowania betonów samozagęszczalnych, III Sympozjum Naukowo-Techniczne, Reologia w technologii betonu, Gliwice, czerwiec 2001.
6. Domone P.L.J., Jin J.: Properties of mortar for SCC. 1 st. Int. RILEM Symp. On SCC, Stockholm, Sep. 13-14 1999, ed. RILEM Publ. S.A.R.L., pp 109 – 120.
7. Gołaszewski J.: Kształtowanie urabialności mieszanki betonowej superplastyfikatorami, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.
8. 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.
9. Gjørv O.E.: High Strength Concrete. Report BML 91601. The Norwegian Institute of Technology, Norway 1991.
10. Tattersall G. H., Banfill P. F. G.: The rheology of Fresh Concrete. Pitman Books Limited, Boston 1983.
11. Anielak A.M.: Chemiczne i fizykochemiczne oczyszczanie ścieków, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2000.
12. Tattersall G.H., Banfill P.F.: The Rheology of Fresh Concrete. Pitman. London 1983.
13. Pigeon M., Pleau R.: Durability of Concrete in Cold Climates. Modern Concrete Technology Series, E&FN SPON, 1995.