

Nadmierne napowietrzenie SCC spełniających kryterium rozptywu i metodyka jego obniżenia

Dr inż. Beata Łaźniewska-Piekarczyk, Politechnika Śląska, Gliwice

1. Wprowadzenie

Istotą samozagęszczalnego betonu (SCC) jest samorzutne wydalenie pęcherzyków powietrza schwytanego podczas procesu mieszania. Warunek odpowietrzenia mieszanki uzależniony jest od wielkości parametrów reologicznych: granicy płynięcia i lepkości plastycznej zaczynu [10]. Warunek wypływu pęcherzyka powietrza z objętości zaczynu dany jest wyrażeniem (1) [10]. Pęcherzyki powietrza wydostają się z objętości samozagęszczalnej mieszanki betonowej pod wpływem siły wyporu w (2) (rys. 1) z prędkością daną wyrażeniem (3) [10, 12].

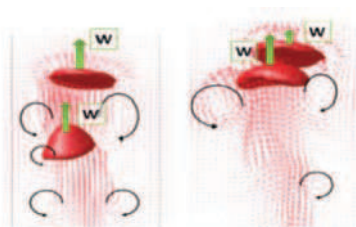
$$(\rho_z - \rho_p)d \cdot g > \tau_{0z} \cdot A \quad (1)$$

$$W = (\rho_z - \rho_p)gV_z \quad (2)$$

$$v = \frac{d^2(\rho_z - \rho_p)g}{18\eta_z} \quad (3)$$

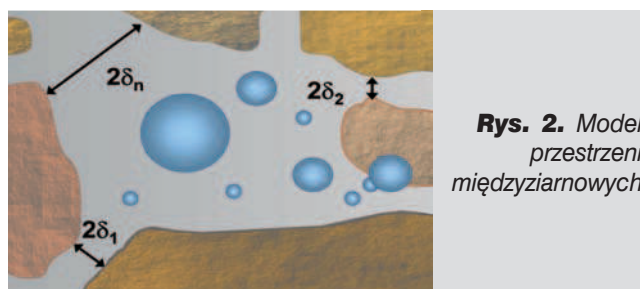
gdzie:

τ_{0z} – granica płynięcia zaczynu, Pa, η_z – lepkość zaczynu, Pa·s, V_z – objętość pęcherzyka powietrznego, m³, ρ_z – gęstość zaczynu, kg/m³, ρ_p – gęstość powietrza, kg/m³, g – przyspieszenie ziemskie, m/s², A – stała zależna od kształtu pęcherzyka, przy kulistym $A = 18$, d – średnica pęcherzyka powietrznego, m.



Rys. 1. Pęcherzyki powietrza wypływające pod wpływem siły wyporu W (2)

Spośród charakterystyk mieszanki wpływających na jej samoodpowietrzenie, należy wziąć pod uwagę także wielkość przestrzeni międzyziarnowych (rys. 9), które wypełnione są zaczynem cementowym. Wielkość tych przestrzeni dobrze opisuje wskaźnik wypełnienia kruszywa zaczynem φ_{kz} . Wielkość ta ujmuje wpływ proporcji ilości zaprawy do objętości kruszywa i dana jest następującą zależnością [12]:



Rys. 2. Model przestrzeni międzyziarnowych

$$\varphi_{kz} = \frac{D_m}{D_s} \quad (4)$$

D_m – wskaźnik dyspersji mieszanki betonowej,
 D_s – wskaźnik dyspersji stosu okruszowego, lub

$$\varphi_{kz} = \frac{V_z}{K \cdot P_{dwk}} \quad (5)$$

K – masa kruszywa, kg,

V_z – objętość zaczynu, m³,

P_{dwk} – porowatość luźno usypanego stosu okruszowego, m³/kg.

Wraz ze zwiększaniem się wymiaru przestrzeni międzyziarnowych, a więc i wartości φ_{kz} (4), pęcherzyki powietrza swobodniej wydostają się z mieszanki betonowej. Ponieważ dostępność bezpośredniego pomiaru wymienionych wielkości reologicznych jest ograniczona, w praktyce budowlanej stosowane są testy technologiczne [10, 13], mające na celu ocenę samozagęszczalności mieszanki betonowej (SCC), m.in.

Tabela 1. Klasy SCC wg [13]

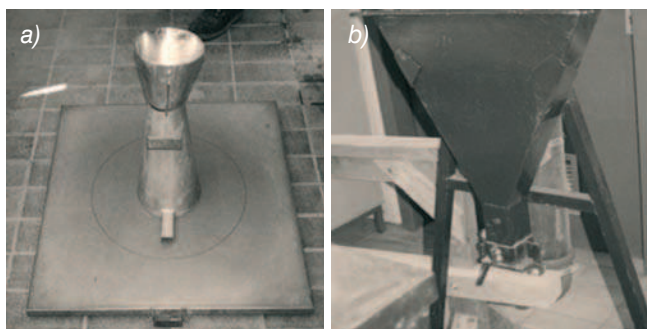
Klasa	Średnica rozptywu (rys. 3a) [mm]
SF1	od 550 do 650
SF2	od 660 do 750
SF3	od 760 do 850

Tabela 2. Klasy SCC wg [13]

Klasa	Czas rozptywu	
	T_{500} [s]	V-funnel ¹ , [s]
VS1/VF1	≤ 2	≤ 8
VS2/VF2	> 2	9 do 25

T_{500} – czas rozptywu SCC do średnicy 500 mm (rys. 3a)

¹ czas przepływu mieszanki przez V-funnel (rys. 3b)



Rys. 3. a) test rozptywu, b) V-funnel [14]

Na podstawie rezultatów badań dotyczących samozagęszczalnego betonu stwierdzono, że w licznych przypadkach występuje problem nadmiernego napowietrzenia mieszanki betonowej [4, 11], mimo że mieszanka uzyskała odpowiedni rozptyw w zadowalającym czasie [13]. Również wyniki badań [6] przedstawione w tabeli 3, dowodzą, iż nowe generacje superplastyfikatorów (SP) wykazują działanie napowietrzające. Przykładową charakterystykę napowietrzenia celowo nienapowietrzonego SCC pokazano na rysunkach 4 i 5.

Także rezultaty badań [2] zamieszczone w tabeli 4

Tabela 3. Wpływ rodzaju superplastyfikatora na napowietrzenie mieszanki betonowej [6]

SP	Ligninosulfoni- nowe LS	Sulfonowane żywice naftalenowo- formaldehydowe SNF	Sulfonowane żywice melaminowoformal- dehydowe SMF	Nowe generacje superplastyfikatorów	
				Politlenek polikarboksylanu PCP	Aminofosfoniano- polyoxyetylenowe AAP
Napowietrzenie	++	+	0	++	++

++ wywiera większy na zawartość powietrza w mieszance, + wywiera mniejszy wpływ na zawartość powietrza w mieszance, 0 nie wywiera wpływu na zawartość powietrza w mieszance

Tabela 4. Wyniki badań właściwości reologicznych mieszanek betonowych za pomocą stożka Abramsa [2]

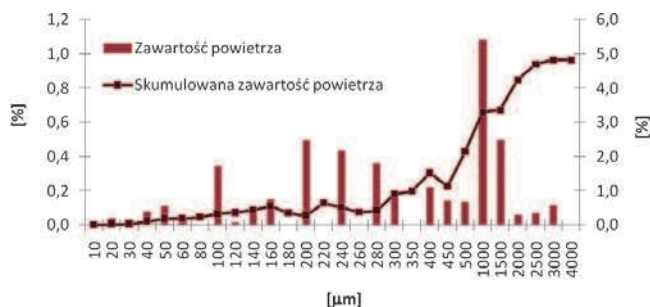
Oznaczenie	Rodzaj spoiwa	Rodzaj SP	w/s	Czas rozptywu do średnicy 500 mm [s]	Średnia rozptywu [mm]
A	Cem I 42,5, popiół lotny	eter polikarboksylowy	0,34	5,0	680
B			0,45	4,6	660
C		polikarboksylany	0,34	4,9	690
D			0,45	4,1	710

Tabela 5. Zestawienie wyników badań struktury porów powietrznych w betonach [2]

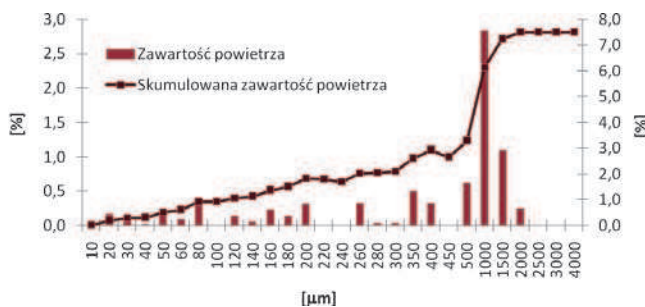
Badany parametr	Oznaczenie serii			
	A	B	C	D
Całkowita zawartość porów, A [%]	6,7	8,30	2,90	4,45
Zawartość porów o średnicy mniejszej niż 0,3 mm, A ₃₀₀ [%]	1,50	2,96	0,70	1,74
Wskaźnik rozmieszczenia porów, L [mm]	0,26	0,11	0,33	0,13
Powierzchnia właściwa porów, α [mm ⁻¹]	17	36	21	45

test rozptywu (tab. 1 i 2). Wartość średnicy rozptywu SCC zależy od granicy płynięcia mieszanki τ_{om} , natomiast czas rozptywu SCC zależy od jej lepkości plastycznej η_{pr} . Średnica i czas rozptywu SCC powinny odpowiadać klasom podanym w tabelach 1 i 2. W [13] przedstawione są szczegółowe wytyczne względem klas SCC oraz pozostałe testy techniczne samozagęszczalnej mieszanki betonowej, w zależności od jej przeznaczenia.

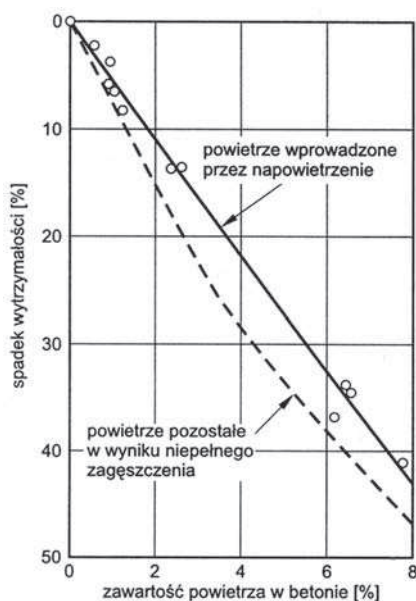
dowodzą, że superplastyfikatory nowej generacji powodują znaczne napowietrzenie SCC. Rezultaty badań właściwości mieszanek A÷D zestawiono w tabeli 4, natomiast w tabeli 5 zamieszczono rezultaty badania charakterystyki porowatości stwardniałego betonu. Rezultaty badań zamieszczone w tabeli 5 dowodzą, że superplastyfikator na bazie eteru polikarboksylowego powoduje znaczne napowietrzenie SCC. Napowietrzenie betonu jest większe w przypadku



Rys. 4. Charakterystyka porowatości celowo nienapowietrzonego SCC [11]



Rys. 5. Charakterystyka porowatości celowo nienapowietrzonego SCC [11]



Rys. 6. Wpływ na wytrzymałość betonu powietrza wprowadzonego celowo i schwytanego przypadkowo [7]

większej wartości w/c , i wynosi aż **8,30%**. Należy w tym miejscu podkreślić, że mieszanka uzyskała stosunkowo duży rozpliw, tj. 660 mm (co odpowiada klasie SF2). Pomimo to, nie nastąpiło odpowiednie jej samozagęszczenie (samoodpowietrzenie). Napowietrzenie mieszanki było prawdopodobnie większe niż 8,3%, ponieważ zawartość powietrza oznaczona w stwardniałym betonie jest przeciętnie 1–2% mniejsza od tej, stwierdzonej w mieszance. Przyczyną nadmiernego napowietrzenia mieszanki jest prawdopodobnie wpływ mechanizmów działania i budowa superplastyfikatora na powstawanie i zachowanie się pęcherzyków powietrza w jej objętości [11].

W przypadku superplastyfikatora polikarboksyłowego, zawartość powietrza jest mniejsza i wynosi 4,45% przy $w/c=0,45$. Nadmierna zawartość powietrza wystąpiła, chociaż mieszanka uzyskała aż 710 mm rozpliwu. Wyniki badań dotyczące efektów działania superplastyfikatora polikarboksyłowego są zgodne z innymi wynikami badań autorki [8].

Niestety, w przypadku, gdy superplastyfikator spowoduje powstanie małych pęcherzyków (por. rys. 4 i 5), których siła wyporu (2) ma zbyt niską wartość, zgodnie z warunkiem (1), pozostaną w objętości mieszanki betonowej. Pory będące efektem działania superplastyfikatora nie poprawiają mrozoodporności betonu w takim stopniu, jak pory będące efektem działania domieszki napowietrzającej [1, 7]. Ponadto nadmierna zawartość powietrza w betonie, powoduje znaczne obniżenie parametrów wytrzymałościowych, gdyż wytrzymałość betonu jest przede wszystkim funkcją objętości zawartych w nim pustek. Objętość porów w betonie poważnie redukuje jego wytrzymałość; 5% zawartości porów może zmniejszyć wytrzymałość aż o 30%, a nawet 2% porów może spowodować spadek wytrzymałości więcej niż o 10% [7]. Jest to oczywiście zgodne z wzorem *Féreta*, uzależniającym wytrzymałość od sumy objętości

wody i powietrza w stwardniałym zaczynie. Autorka publikacji [3] przytacza wyniki badań *Fagerlunda*, w których wykazał, że zwiększenie napowietrzenia HPC z 2% do 5% powoduje obniżenie wytrzymałości na ściskanie o 20%, zmniejszenie modułu sprężystości o 5%, a ścieralności o około 20%.

Ponadto, oprócz objętości porów, ważnymi czynnikami są także ich kształt i wymiar. Większe pory, np. powstałe w wyniku niedogęszczenia, prowadzą do większego obniżenia wytrzymałości betonu niż mniejsze pory, będące efektem działania domieszki napowietrzającej (rys. 6) [7]. Dlatego też, istotny jest problem eliminacji efektu napowietrzającego przez superplastyfikator, gdyż pory utworzone na skutek jego oddziaływania na fazę płynną zaczynu, charakteryzują się znacznie większymi rozmiarami (por. rys. 4 i 5) niż powstałe w wyniku działania domieszki napowietrzającej (których średnica wynosi przeciętnie od 20 do 250 μm) [1, 5, 11].

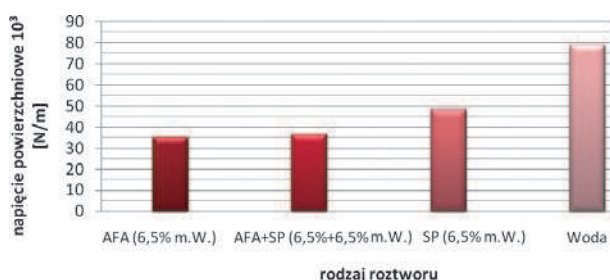
Powstaje zatem uzasadnione pytanie wobec powszechnie stosowanych kryteriów testów [13] mających kwalifikować mieszankę jako samozagęszczalną w przypadku, gdy superplastyfikator wykazuje działanie napowietrzające.

Podsumowując, wobec wyżej wymienionych wyników badań można stwierdzić, że niektóre superplastyfikatory nowej generacji wywołują nadmierne napowietrzenie, które pozostaje w objętości samozagęszczalnej mieszanki i betonu, przyczyniając się do pogorszenia ich właściwości, chociaż mieszanka spełnia przyjęte powszechnie kryteria testów technicznych, względem niej wystosowanych (tab. 1 i 2). Pożądana w tym przypadku odpowiednia płynność mieszanki, istotna dla skutecznego jej samoodpowietrzenia, nie jest uwzględniona w żadnym z powszechnie stosowanych testów technicznych dotyczących mieszanki samozagęszczalnej. Powszechnie przyjęte kryteria tych testów są w tym zakresie niewystarczające i nie gwarantują skutecznego samoodpowietrzenia. Można je uzyskać zwiększając płynność mieszanki większą ilością superplastyfikatora, jednak może to powodować jej segregację. Wobec tego, w celu zapobiegania występowaniu nadmiernego napowietrzenia, należy w pierwszej kolejności stosować superplastyfikatory nie tylko kompatybilne z cementem, ale także nie wywołujące efektu napowietrzającego w zaczynie. W celu przeciwdziałania nadmiernemu napowietrzeniu, można też stosować domieszki przeciwpianące (z ang. *anti-foaming admixture*, oznaczane skrótem AFA), przeciwdziałające powstaniu pęcherzyków powietrza. Należy podkreślić, że domieszki te nie są powszechnie stosowane w praktyce budowlanej. Stąd też, nie jest dobrze znany mechanizm działania tych domieszek, ich skuteczność w obniżaniu zawartości powietrza w mieszance betonowej oraz ich wpływ na właściwości mieszanki oraz na właściwości stwardniałego betonu. W związku z tym autorka podjęła

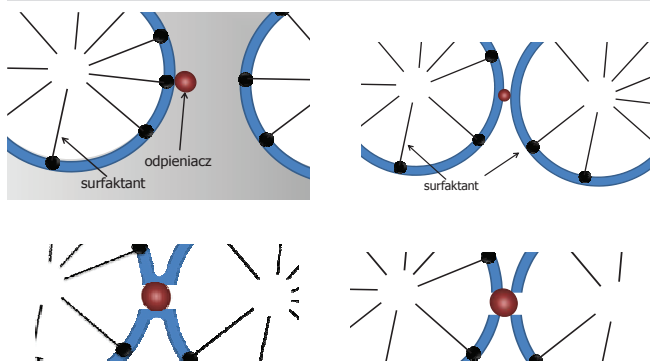
odpowiednie badania mające na celu weryfikację wpływu domieszek przeciwpieniących na napowietrzenie, właściwości reologiczne i stabilność samozagęszczalnej mieszanki betonowej, także w zależności od czasu ich wprowadzania.

2. Domieszki przeciwpieniące

Składniki, jak i ich proporcje zastosowane w danej domieszce przeciwpieniącej, podobnie jak w superplastyfikatorze, są znane jedynie ich wytwórcy. Wśród składników domieszki przeciwpieniącej mogą znaleźć się: oleje mineralne, oleje silikonowe, silikony modyfikowane organicznie, hydrofobowe cząsteczki stałe (krzemionka, woski, mydła wyższych kwasów tłuszczowych, alkohole i kwasy tłuszczowe), emulgatory, polialkohole, alkoksylowane pochodne związków organicznych. Mogą to być mieszaniny powyższych aktywnych składników działających względem siebie synergicznie. Dodawane są przez producentów napowietrzających upłynniaczy w niewielkich ilościach. Niestety, szerszemu zastosowaniu domieszek przeciwpieniących nie sprzyja ich wysoka cena oraz nie-



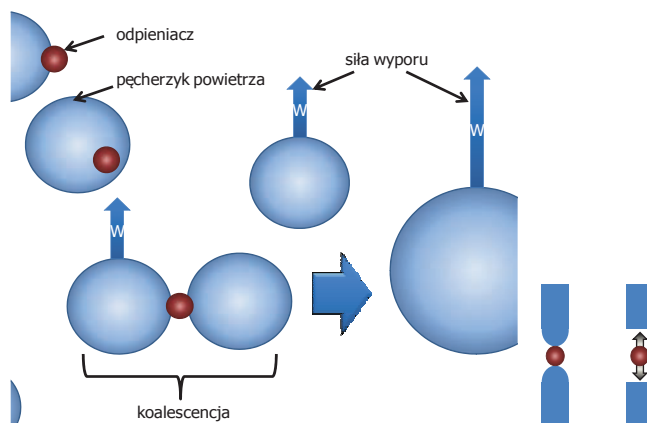
Rys. 7. Wpływ rodzaju domieszki na wartość napięcia powierzchniowego roztworu wodnego



Rys. 8. Etapy mechanizmu działania domieszek przeciwpieniących [8]

zbadany szerzej ich wpływ na właściwości mieszanki betonowej i betonu.

W celu analizy wpływu właściwości tych domieszek na właściwości mieszanki i betonu należy najpierw poznać ich mechanizm działania. Badania prowadzone przez autorkę wykazały, że skuteczność w obniżeniu zawartości powietrza w zaczynie cementowym



Rys. 9. Mechanizm działania domieszek przeciwpieniących [8]

domieszek przeciwpieniących nie polega na podwyższeniu wartości napięcia powierzchniowego jego fazy ciekłej. Napięcie powierzchniowe roztworu wodnego domieszki przeciwpieniącej oraz superplastyfikatora i domieszki przeciwpieniącej charakteryzuje się jeszcze mniejszą wartością niż napięcie powierzchniowe roztworu wodnego napowietrzającego superplastyfikatora (rys. 7).

Mechanizm działania domieszek przeciwpieniących wyjaśnia się następująco (rys. 8 i 9). Składniki aktywne rozpraszają się wokół pęcherzyka gazu, wypierając cząsteczki surfaktanta. W efekcie zmienia się grubość ścianki lameli zbudowanej z surfaktanta, powodując jej destabilizację i w efekcie pęknięcie lub koalescencję pęcherzyka.

W celu identyfikacji nieznanego szerzej wpływu domieszek przeciwpieniących na napowietrzenie samozagęszczalnej mieszanki oraz na jej inne właściwości, przeprowadzono odpowiednie badania.

3. Metodyka badań

Skład samozagęszczalnych betonów zestawiono w tabeli 6.

Zawartość powietrza określano zgodnie z procedurą opisaną w [17], gęstość mieszanki oceniano wg [16], natomiast rozptyw, jak i jego czas, określano według [15]. Wymienione badania samozagęszczalnych mieszanek betonowych wykonywano w temperaturze 20°C, co jest szczególnie istotne, gdyż temperatura zarówno wpływa na właściwości reologiczne mieszanek, jak i na zawartość powietrza w jej objętości.

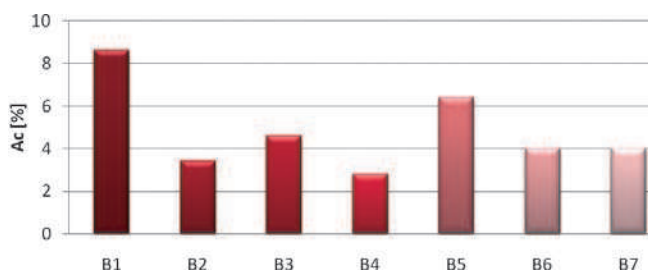
4. Wyniki badań i ich dyskusja

Wyniki badań właściwości samozagęszczalnej mieszanki B1–B7 przedstawiono na rysunkach 10–13. Mieszanki charakteryzowały się nadmiernym napowietrzeniem, pomimo że spełniły kryteria rozptywu (rys. 10, 12, 13 i tab. 1 i 2). Przyczyną tego efektu jest wpływ superplastyfikatora na obniżenie powierzch-

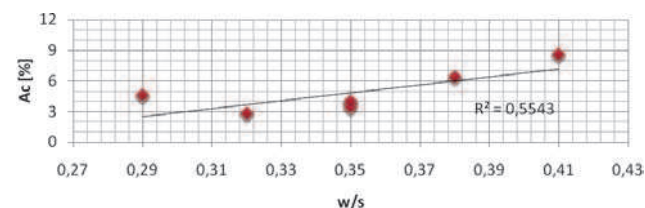
Tabela 6. Skład samozagęszczalnych betonów

Symbol	Rodzaj cementu	PK	PL	MW	w/c	w/s	Piaszek			Kruszywo żwirowe, otoczkowe		SP	AFA
							0–2 mm	2–8 mm	8–16 mm	[% m.C.]			
										[kg/m ³]			
B1	CEM I 32,5 R	10	43	0	0,59	0,41	802	837	0	0,70	0		
B2	CEM II/B-V 32,5R – HSR	0	43	0	0,51	0,35	658	686	0	0,80	0		
B3	CEM II/B-M (V-LL) 32,5R	0	43	0	0,42	0,29	792	826	0	0,72	0		
B4	CEM II/B-S 32,5R	0	43	0	0,46	0,32	599	625	0	2,65	0		
B5	CEM III/A 32,5N – LH/HSR/NA	0	43	0	0,55	0,38	884	923	0	0,72	0		
B6		0	0	10	0,4	0,35	909	432	259	0,95	0		
B7		0	0	30	0,5	0,35	909	432	259	1,11	0		
A1		0	0	0	0,40	0,40	890	428	256	0,76	0,00		
A2		0	0	0	0,40	0,40	890	428	256	0,76	2,02		
D1		0	0	0	0,30	0,30	900	421	256	1,93	0,00		
D2		0	0	0	0,30	0,30	900	421	256	1,93	1,00		
D3	0	0	0	0,30	0,30	900	421	256	1,93	1,00*			
C1	CEM I 42,5R	10	0	0		0,23	900	680 ¹	0	5,50	0,00		
C2	CEM I 42,5R	10	0	0		0,23	900	680 ¹	0	5,50	6,18		

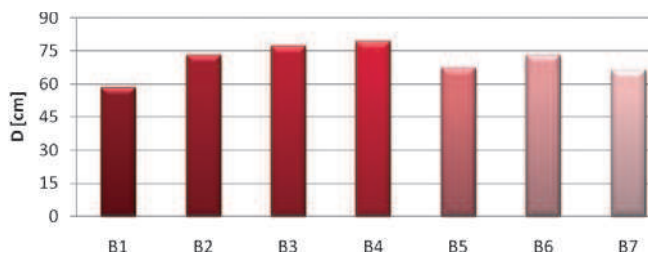
PK – pył krzemionkowy, PL – popiół lotny, MW – mączka wapienna, SP – superplastyfikator polikaroksyłowy, AFA – domieszka przeciwpieniąca, modyfikowane polialkohole, * AFA wprowadzono po 20 minutach od czasu wprowadzenia SP, ¹ kruszywo do 4 mm, łamane, sjenit, w/c – stosunek wagowy wody do cementu.



Rys. 10. Zawartość powietrza Ac w samozagęszczalnych mieszankach



Rys. 11. Wpływ w/s na zawartość powietrza w samozagęszczalnych mieszankach



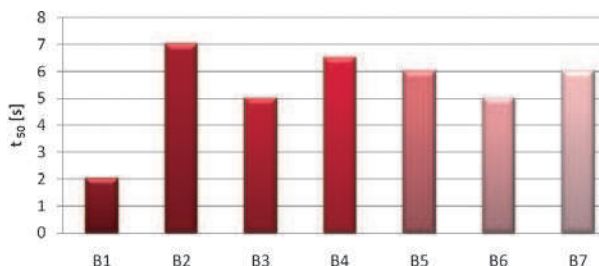
Rys. 12. Średnica rozptywu D samozagęszczalnych mieszanek

niowego napięcia ciekłej fazy w zaczynie, jak tego dowiodły inne badania [4]. Zgodnie z oczekiwaniem, zawartość powietrza wzrasta wraz ze wzrostem stosunku w/s (rys. 11). Wraz ze wzrostem udziału ciekłej fazy w mieszance, efekt napowietrzenia jest większy, podobnie jak ma to miejsce w wypadku domieszki napowietrzającej.

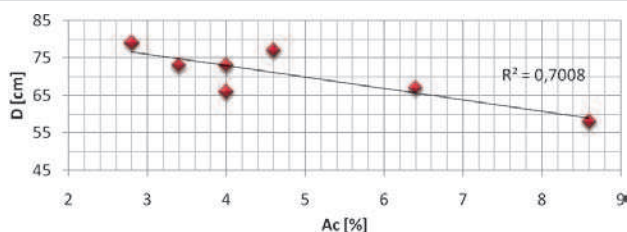
Wyniki badań zaprezentowane na rysunku 14 świadczą o wpływie napowietrzenia na redukcję rozptywu mieszanek. Należy jednak zaznaczyć, że wpływ ten na rozptyw mieszanek jest zmienny i istotnie zależy od ich składu i stopnia płynności, jak tego dowiodły inne badania autorki.

Jak przedstawiono na rysunku 12, średnice spełniające powszechnie przyjęte kryteria samozagęszczalności (tab. 2), okazały się niewystarczające dla skutecznego samozagęszczczenia (samoodpowietrzenia) mieszanki, czego przyczyną była m.in. zbyt duża wartość granicy płynięcia SCC lub/i zbyt małe średnice pęcherzyków powietrza (por. (1) i (2)). W związku z tym, w kolejnym etapie badań zmniejszono stopniowo jej wartość, tak aby umożliwić swobodne wydostawanie się pęcherzykom powietrza z objętości mieszanki betonowej, zwiększając ilość superplastyfikatora w przypadku mieszanki B6 (tab. 7).

Ilość zastosowanego superplastyfikatora w wypadku mieszanki B6–3 spowodowała lekką jej segregację. Pozostałe samozagęszczalne mieszanki betonowe były stabilne, przy czym mieszanka B6–2 charakteryzowała się najmniejszą zawartością powietrza (rys. 16). Analizując rezultaty badań zamieszczonych na rysunkach 16 i 17 można wnioskować, iż



Rys. 13. Czas rozplywu t_{50} samozagęszczalnych mieszanek

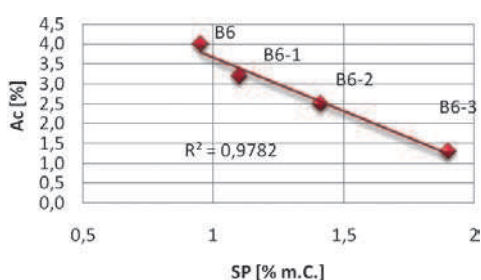


Rys. 14. Wplyw ilosci powietrza na rozplyw samozagęszczalnych mieszanek

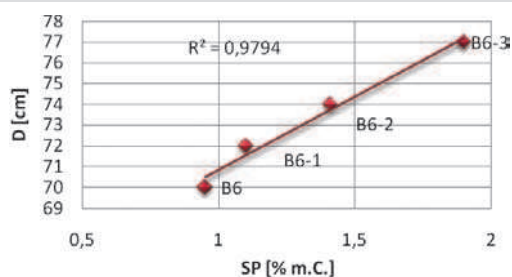
odpowiednia płynność samozagęszczalnej mieszanki betonowej jest warunkiem koniecznym do uzyskania niskiej zawartości powietrza w jej objętości. Niestety, wzrost płynności mieszanki na skutek zwiększenia ilości SP może prowadzić do segregacji i związanych z tym znacznym pogorszeniem właściwości betonu. W związku z napowietrzającym działaniem niektórych superplastyfikatorów nowej generacji, należy opracować nowy test samozagęszczalności. Dotychczasowe

Tabela 7. Skład badanych SCC

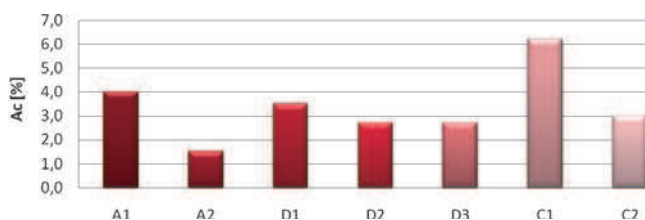
Domieszka	B6-1	B 6-2	B 6-3
Superplastyfikator	1,10% m.C.	1,41% m.C.	1,90% m.C.



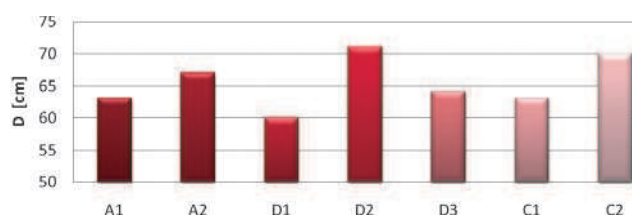
Rys. 16. Wplyw ilosci superplastyfikatora SP na zawartosc powietrza w samozagęszczalnej mieszance



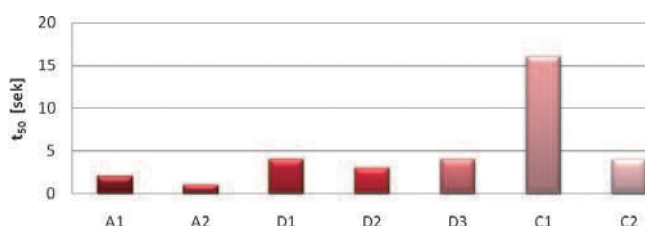
Rys. 17. Wplyw ilosci superplastyfikatora SP na rozplyw SCC



Rys. 18. Zawartosc powietrza Ac w badanych mieszkach samozagęszczalnych



Rys. 19. Średnica rozplywu D w badanych mieszkach samozagęszczalnych

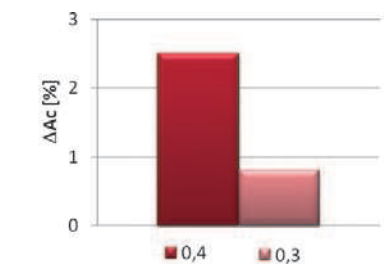


Rys. 20. Czas rozplywu t_{50} badanych mieszkach samozagęszczalnych

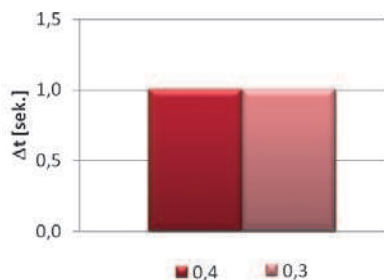
metody, mające klasyfikować mieszankę jako samozagęszczalną nie zapewniają odpowiedniego napowietrzenia SCC, w przypadku, gdy superplastyfikator powoduje powstanie nazbyt dużej ilości pęcherzyków powietrza, które, z uwagi na swój wymiar, nie mogą swobodnie wydostawać się (dzięki sile wyporu $W(2)$) z objętości mieszanki.

W celu zredukowania napowietrzenia SCC wywołanego działaniem superplastyfikatora można stosować domieszki (z ang. *anti-foaming admixture*, AFA), które mają na celu przeciwdziałać powstaniu pęcherzyków powietrza.

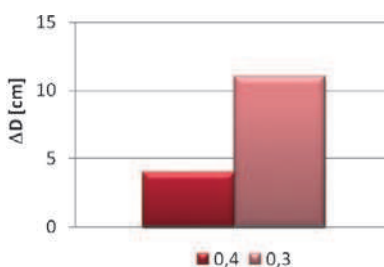
Wyniki badań właściwości mieszanki samozagęszczalnej A1–D3 zestawiono na rysunkach 18–20. Ponownie jak uprzednio, mieszanki A1, D1 i C1 (bez domieszki przeciwpianującej) charakteryzowały się nadmiernym napowietrzeniem pomimo, że spełniły kryteria rozplywu (tab. 1 i 2). Wyniki badań zestawione na rysunku 18 świadczą o skuteczności działania domieszki przeciwpianującej w obniżaniu zawartości powietrza w mieszance. Zawartość powietrza w przypadku badanych mieszanek może zostać obniżona nawet o 3% (mieszanka C1 i C2). Inne badania autorki dowiodły, że jest możliwa jeszcze większa redukcja napowietrzenia mieszanki.



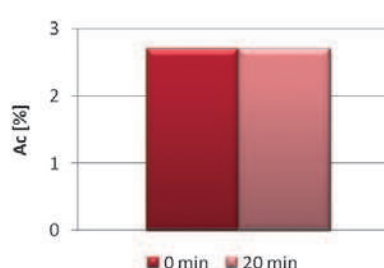
Rys. 21. Wpływ w/s na wielkość zmiany napowietrzenia uzyskanej w wyniku dodania AFA do samozagęszczalnej mieszanki betonowej



Rys. 22. Wpływ w/s na wielkość zmiany czasu rozptywu uzyskanej w wyniku dodania AFA do samozagęszczalnej mieszanki betonowej



Rys. 23. Wpływ w/s na wielkość zmiany średnicy rozptywu uzyskanej w wyniku dodania AFA do samozagęszczalnej mieszanki betonowej



Rys. 24. Wpływ czasu wprowadzenia (liczonym od rozpoczęcia mieszania) AFA do samozagęszczalnej mieszanki betonowej na zawartość powietrza

Dodatkową korzyścią, jaką uzyskujemy dzięki stosowaniu domieszek przeciwpieniących jest znaczne zwiększenie rozptywu mieszanki (rys. 19), i co istotne, w znacznie krótszym czasie (rys. 20). W związku z tym, można zredukować wcześniej zastosowaną ilość superplastyfikatora. W efekcie uzyskujemy podobną konsystencję, ale, co należy podkreślić, nie-napowietrzonej nadmiernie samozagęszczalnej mieszanki. Ponadto, w przypadku mieszanki zawierającej AFA znacznie wolniej następuje utrata jej początkowej konsystencji, jak dowiodły ostatnie badania autorki. Należy w tym miejscu zaznaczyć, że pomimo krótszego czasu, a więc mniejszej lepkości mieszanki, nie wystąpiła jej segregacja. Przeciwnie, mieszanka zawierająca domieszkę przeciwpieniącą była bardziej stabilna niż przed wprowadzeniem tej domieszki do jej objętości.

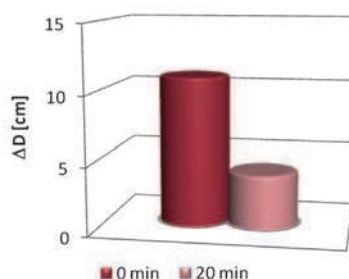
Jak wskazują wyniki badań na rysunku 21, wraz ze wzrostem wartości w/s (w/c) wzrasta skuteczność

działania domieszki przeciwpieniącej w obniżaniu zawartości powietrza. Wspomniano wcześniej, że superplastyfikator tym bardziej napowietrza mieszankę, im jej w/c jest większe, tak więc wzrost skuteczności domieszki przeciwpieniącej także ze wzrostem w/s jest bardzo korzystny dla redukcji napowietrzenia spowodowanego działaniem superplastyfikatora.

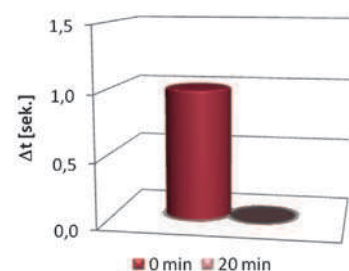
Rezultaty badań zestawione na rysunku 22 świadczą o tym, że wpływ domieszki przeciwpieniącej na zmniejszenie czasu rozptywu nie zależy od w/c mieszanki, ale wartość w/c istotnie wpływa na wielkość zmiany rozptywu mieszanki wywołanej tą domieszką (rys. 23). W przypadku mniejszej wartości w/s, wpływ domieszki przeciwpieniącej na zmianę rozptywu jest większy, podobnie jak to ma miejsce w przypadku superplastyfikatorów, które są największą efektywność w upłynnieniu mieszanki objawiają przy małych wartościach w/s (w/c).

Na rysunkach 23–24 pokazano wyniki badań dotyczących technologii przygotowania mieszanki zawierającej domieszkę przeciwpieniącą. W jednym przypadku domieszkę wprowadzono niezwłocznie po wprowadzeniu superplastyfikatora, w drugim, po 20 minutach od rozpoczęcia procesu mieszania i wprowadzenia superplastyfikatora do objętości mieszanki. Rezultaty badań zestawione na rysunku. 24 dowodzą, że czas wprowadzenia domieszki przeciwpieniącej nie jest istotny dla skuteczności działania tej domieszki w obniżaniu napowietrzenia mieszanki. Wniosek ten jest bardzo istotny, ponieważ stosowanie domieszek przeciwpieniających może być stosowane w celu:

- zapobieżenia występowania nadmiernego napowietrzenia (wprowadzając domieszkę przeciwpieni-



Rys. 25. Wpływ czasu wprowadzenia (liczonego od rozpoczęcia mieszania) AFA do samozagęszczalnej mieszanki betonowej na zmianę średnicy jej rozptywu



Rys. 26. Wpływ czasu wprowadzenia (liczonego od rozpoczęcia mieszania) AFA do samozagęszczalnej mieszanki betonowej na zmianę czasu jej rozptywu do średnicy 50 cm

całą razem z napowietrzającym superplastyfikatorem),

- obniżenia istniejącej już zawartości powietrza w mieszance.

Inne badania przeprowadzone przez autorkę świadczą, że nie można napowietrzyć ponownie mieszanki, do której wprowadzono domieszkę przeciwpianą. Wobec tego, nie należy stosować domieszek przeciwpianych w przypadku celowo napowietrzanych mieszanek.

Rezultaty badań przedstawione na rysunkach 25 i 26 świadczą, że czas wprowadzenia domieszki przeciwpianą wpływa istotnie na średnicę (rys. 25) i czas rozptywu mieszanki (rys. 26). W celu uzyskania największej płynności mieszanki, domieszkę przeciwpianą należy wprowadzać jak najszybciej.

Jak wspomniano wcześniej, alternatywną metodą obniżenia nadmiernej zawartości powietrza w mieszance wobec stosowania domieszki przeciwpianą może być zwiększanie ilości superplastyfikatora (SP) od tej, która powoduje nadmierne napowietrzenie. Niestety, wzrost płynności SCC na skutek zwiększenia ilości SP może prowadzić do bleedingu i sedymentacji składników mieszanki, co nie sprzyja trwałości i parametrom mechanicznym betonu. Wobec tego, w celu zredukowania napowietrzenia SCC wywołanego działaniem superplastyfikatora należy stosować domieszki przeciwpianą (AFA), które mają na celu przeciwdziałać powstaniu pęcherzyków powietrza.

5. Wnioski

W zakresie przeprowadzonych badań stwierdza się, że:

- 1) Niektóre superplastyfikatory nowej generacji wywołują nadmierne napowietrzenie, które pozostaje w objętości samozagęszczalnego betonu, chociaż mieszanka spełnia przyjęte powszechnie kryteria rozptywu.
- 2) W celu zapobiegania występowaniu nadmiernego napowietrzenia, należy w pierwszej kolejności stosować nie tylko superplastyfikatory kompatybilne z cementem, ale także nie wywołujące efektu napowietrzającego; lub stosować domieszki antypianące (z ang. *anti-foaming admixture*), przeciwdziałające powstaniu pęcherzyków powietrza.
- 3) Stosowanie domieszek przeciwpianych jest skuteczne w dwóch przypadkach: w celu zapobieżenia nadmiernemu napowietrzeniu superplastyfikatorem, lub w celu obniżenia tego napowietrzenia.
- 4) W wyniku zastosowania AFA następuje zwiększenie rozptywu mieszanki uzyskiwanego w krótszym czasie (tym większe im w/s jest mniejsze) i – co należy podkreślić – bez jej segregacji. Ponadto, w przypadku mieszanki zawierającej AFA, znacznie wolniej następuje utrata jej początkowej konsystencji, jak tego dowiodły ostatnie badania autorki. Wobec tego, dzięki stosowaniu domieszek przeciwpianych, możliwe jest zmniejszenie zapotrzebowania na super-

plastyfikator w celu uzyskania odpowiedniej płynności mieszanki.

5) W przypadku mniejszej wartości w/s, wpływ domieszki przeciwpianą na zmianę rozptywu jest większy, podobnie jak to ma miejsce w przypadku superplastyfikatorów, które swą największą efektywność w upłynnieniu mieszanki objawiają przy małych wartościach w/s (w/c).

6) Istotny dla wymienionych wyżej modyfikacji właściwości reologicznych wywołanych działaniem domieszki przeciwpianą jest moment jej wprowadzenia do objętości mieszanki. Najlepszą efektywność jej działania uzyskuje się przy wprowadzaniu tej domieszki zaraz po wprowadzeniu superplastyfikatora. Jednak ze względu na efekt obniżenia zawartości powietrza, moment wprowadzenia tej domieszki nie jest już istotny.

Wpływ bazy chemicznej domieszki przeciwpianą, jak i jej wpływ na właściwości stwardniałego betonu, będzie tematem następnych publikacji.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Fagerlund G., Trwałość konstrukcji betonowych, Arkady, Warszawa 1997
- [2] Gorzelańczyk T., Ocena metodami akustycznymi procesu niszczenia betonów samozagęszczonych, rozprawa doktorska, Wrocław 2007
- [3] Grodzicka A., Odporność betonu wysokowartościowego na działanie mrozu. Wydawnictwa Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa 2005
- [4] Łażniewska B., Wpływ składu zaczynu na efektywność domieszki napowietrzającej, IX Sympozjum Naukowo Techniczne: Reologia w technologii betonu, Gliwice 2007
- [5] Łażniewska-Piekarczyk B., Wpływ superplastyfikatorów nowej generacji na zawartość powietrza w samozagęszczalnej mieszance betonowej, 54 Konferencja Naukowa KILIW PAN i KN PZITB, Krynica 2008
- [6] Mosquet M., Domieszki nowej generacji, Budownictwo Technologia Architektura numer specjalny 2003
- [7] Neville A. M., Właściwości betonu, Polski Cement, Kraków 2000.
- [8] Rozmowa osobista autorki z przedstawicielem firmy produkującej domieszki przeciwpianą
- [9] Sakai E., Kasuga T., Sugiyama T., Asaga K., Daimon M., Influence of superplasticizers on the hydration of cement and the pore structure of hardened cement, *Cement and Concrete Research* 36 (2006) 2049–2053
- [10] Szwabowki J., Reologia a urabialność betonu samozagęszczalnego. *Cement Wapno Beton* 1/2004, str. 14–19
- [11] Szwabowski J., Łażniewska-Piekarczyk B., Zwiększenie napowietrzenia mieszanki pod wpływem działania superplastyfikatorów karboksylowych, CWB, R. XIII/LXXV, 2008 r., nr 4.
- [12] Szwabowski J., Reologia mieszanek na spoiwach cementowych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1999
- [13] The European Guidelines for Self-Compacting Concrete, Specification, Production and Use, May 2005
- [14] Urban M., Metody projektowania betonów samozagęszczalnych, III Sympozjum Naukowo-Techniczne. Reologia w technologii betonu, Gliwice 2001
- [15] PN-EN 12350-5:2001, Badania mieszanki betonowej. Część 5: Badanie konsystencji metodą stolika rozptywowego
- [16] PN-EN 12350-6:2001, Badania mieszanki betonowej. Część 6: Gęstość
- [17] PN-EN 12350-7:2001, Badania mieszanki betonowej. Część 7: Badanie zawartości powietrza. Metody ciśnieniowe