

Janusz SZWABOWSKI¹
Beata ŁAŻNIEWSKA-PIEKARCZYK²

Kompatybilność domieszki napowietrzającej i upłynniającej w przypadku mieszanek cementowych

Badania przeprowadzone przez autorów wykazały, że w przypadku konieczności upłynnienia uprzednio napowietrzanej mieszanki cementowej, występuje problem zachowania odpowiedniego jej napowietrzenia. Większość spośród dostępnych domieszek upłynniających powoduje znaczące zwiększenie napowietrzenia mieszanek betonowych. Analiza rezultatów przeprowadzonych badań wykazała także, że na wielkość napowietrzenia mieszanek cementowych wpływa również kolejność dozowania domieszek napowietrzającej i upłynniającej. Zatem kompatybilność takich domieszek z cementem, ze względu na wymagane napowietrzenie i konsystencję mieszanki, zależy nie tylko od ich współdziałania, ale także od procedury ich dozowania.

Słowa kluczowe: domieszka upłynniająca, domieszka napowietrzająca, zawartość powietrza, zaprawa cementowa, beton.

COMPATIBILITY OF AIR-ENTRAINING AND WATER-REDUCING ADMIXTURE IN CASE OF CEMENT BASED MIXTURES

Research conducted by the authors showed that if it is necessary to increase the degree of liquidity of previously aerated a cementitious mixtures, there is the problem of maintaining their correct aeration. Most of the available water-reducing admixtures cause a significant increase of air content of concrete mixtures. Analysis of the results of the research also showed that the air content of cement mixes is influenced by the sequence of the dosing of air-entraining and water-reducing admixtures. Thus, the compatibility of these admixtures with the cement, due to the required air entrainment and consistency of the mixture, not only depends on their interaction, but also on the dosing procedure.

Key words: water-reducing admixture, air-entraining admixture, air content, cement mortar, concrete.

1. Wprowadzenie

Celem uzyskania mrozoodporności betonu należy zapewnić m.in. jego poprawne napowietrzenie. Stopień napowietrzenia betonu dla klasy agresywności środowiska XF, dyktuje PN-EN 206. Według wymienionej normy napowietrzenie betonu powinno zwiierać się w przedziale 4-7%. Zbyt duża zawartość powietrza w betonie prowadzi do obniżenia jego parametrów mechanicznych. Rezultaty badań prowadzone przez autorów wykazały, że w przypadku konieczności upłynnienia uprzednio napowietrzanej mieszanki cementowej, w większości przypadków nowej generacji domieszek upłynniających występuje problem z zachowaniem poprawnego poziomu jej napowietrzenia, szczególnie w przypadku zapraw wykonanych z udziałem cementu portlandzkiego wieloskładnikowego. Efektem upłynnienia napowietrzanej zaprawy cementowej jest nawet potrojona zawartość powietrza, pomimo większego stopnia jej płynności. Natomiast, w przypadku mieszanki betonowej zawartość powietrza może wzrosnąć z 6,5% do 18%, i więcej. Przyczyną tego zjawiska jest prawdopodobnie wpływ najnowszej generacji domieszek upłynniających na zawartość powietrza w mieszance cementowej. Również wyniki badań [2], [6], [7] dowodzą, iż nowe generacje domieszek upłynniających wykazują działanie napowietrzające (tabela 1). Zawartość powietrza w stwardniałym betonie, będąca ubocznym efektem działania domieszki upłynniającej, może wynosić aż 8,30% [7].

¹ Prof. dr hab. inż., Politechnika Śląska, Katedra Inżynierii Materiałów i Procesów Budowlanych, e-mail: Janusz.Szwabowski@polsl.pl

² Dr hab. inż., Politechnika Śląska, Katedra Inżynierii Materiałów i Procesów Budowlanych, e-mail: Beata.Lazniewska@polsl.pl

Tabela 1. Wpływ rodzaju domieszki upłynniającej na napowietrzenie mieszanki betonowej [2]

Table 1. Influence of water-reducing admixtures type on air-content of mixture [2]

Rodzaj SP	Lignosulfonian LS	Naftalen SNF	Melamina SMF	Nowa generacja superplastyfikatorów	
				Polikarboksylan PCP	Aminofosfonianowy polioksyetylen AAP
Napowietrzenie	++	+	0	++	++

Powszechnie wiadomo, że zbyt duża zawartość powietrza w betonie, powoduje znaczne obniżenie parametrów wytrzymałościowych [3]. Ponadto, oprócz objętości ważnymi czynnikami są także kształt i wymiar porów. Pory utworzone na skutek oddziaływania domieszki upłynniającej na fazę płynną zaczynu, charakteryzują się większymi rozmiarami [5], [7] niż powstałe w wyniku oddziaływania domieszki napowietrzającej.

Celem referatu jest zbadanie wpływu rodzaju i ilości domieszki upłynniającej, domieszki napowietrzającej oraz kolejności ich dozowania na zawartość powietrza w mieszance zaprawy cementowej, wzorcowej. Zakres analizowanych badań dotyczy zaprawy cementowej wykonanej na CEM I 42,5 R, dwóch rodzajów domieszki napowietrzającej: naturalnej i syntetycznej oraz trzech różnych rodzajów domieszki upłynniającej, wykonanej na bazie modyfikowanego naftalenu, polikarboksylanu oraz eteru polikarboksylanowego.

2. Opis badań doświadczalnych

Materiałami wyjściowymi użytymi do przygotowania mieszanek wzorcowych zapraw cementowych, stanowiących przedmiot badań były: CEM I 42,5 R (tabela 2), piasek normowy, woda destylowana oraz domieszki napowietrzające i upłynniające (tabela 3). Z wymienionych materiałów przygotowano mieszanki wzorcowych zapraw cementowych o w/c = 0,50 zgodnie z wytycznymi PN-EN 480-1.

Tabela 2. Właściwości CEM I 42,5 R

Table 2. Properties of CEM I 42.5 R

Analiza chemiczna, %							Powierzchnia właściwa Blaina, cm ² /g	Gęstość właściwa, g/cm ³	Wytrzymałość na ściskanie, MPa	Czas wiązania, Vicat, min	
SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	SO ₃				Początek	Koniec
21,61	64,41	4,46	2,24	1,25	0,4	3,1	3830	3,1	69,3	175	-

W pierwszym etapie badań sprawdzono wpływ rodzaju i ilości domieszki upłynniającej na zawartość powietrza w uprzednio napowietrzanej zaprawie. Z uwagi na postać domieszki i zalecenia producenta, domieszki napowietrzające dozowano wraz z cementem (tabela 3). Domieszkę upłynniająca, zgodnie z zaleceniem PN-EN 480-1, dozowano wraz z wodą zarobową. Celem badań w pierwszym ich etapie było określenie ilości domieszek tak, aby zawartość powietrza w zaprawie wykonanej na cemencie CEM I 42,5 R wynosiła każdorazowo 11% z uwagi na to, że beton wzorcowy wykonany zgodnie z wytycznymi PN-EN 480-1 o w/c = 0,5 charakteryzował się napowietrzeniem wynoszącym 5,5% (oznaczonym metodą ciśnieniową wg PN-EN 12350-7:20, a więc zgodnym z wytycznymi PN-EN 206 dla klasy średowiska XF). Ilość domieszki upłynniającej odpowiadała około połowie zakresu jej stosowania zalecanego przez producenta oraz ilości, maksymalnej możliwej, przy której nie następowała segregacja zaprawy.

W drugim etapie badań weryfikowano wpływ kolejności dozowania domieszki napowietrzającej i upłynniającej na zawartość powietrza w zaprawie wzorcowej. W przypadku uprzednio upłynnionej zaprawy domieszkę napowietrzającą dozowano osobno, w przerwie procesu mieszania, zgodnie z wytycznymi PN-EN 480-1 względem procedury wykonania zaprawy wzorcowej. Należy zaznaczyć, że do etapu 1 i 2 wybrano domieszki upłynniająca U2 i U3 o największej zdaniem producentów udziale domieszki przeciwpieniującej, tj. najmniej „napowietrzające” spośród przebadanych o tej samej głównej bazie chemicznej (w niektórych przypadkach zapraw wykonanych z CEM I 42,5 R uzyskano napowietrzenie rzędu 30%, a w przypadku cementów portlandzkich wieloskładnikowych „napowietrzenie” było jeszcze większe) Wykonano także zaprawę odniesienia (referencyjną), tj. bez udziału domieszek upłynniających i napowietrzających.

Tabela 3. Charakterystyka domieszek upłynniających i napowietrzających

Table 3. Properties of water-reducing and air-entraining admixtures

Rodzaj domieszki	Symbol domieszki	Postać domieszki	Baza chemiczna
napowietrzająca	N1	proszek	syntetyczna
napowietrzająca	N2	proszek	naturalna
upłynniająca	U1	proszek	modyfikowany naftalen
upłynniająca	U2	płyn	modyfikowane polikarboksylany
upłynniająca	U3	płyn	eter polikarboksylowy

Konsystencję zapraw oznaczano na stoliku rozpliwowym zgodnie z normą PN-EN 1015-3, natomiast zawartość powietrza w zaprawie była oznaczana metodą ciśnieniową wg PN-EN 1015-7 za pośrednictwem aparatu ciśnieniowego o objętości 0,75 l. Temperatura otoczenia w trakcie badań zaprawy wynosiła 20°C ± 1°C. Wilgotność względna powietrza wynosiła około 50%.

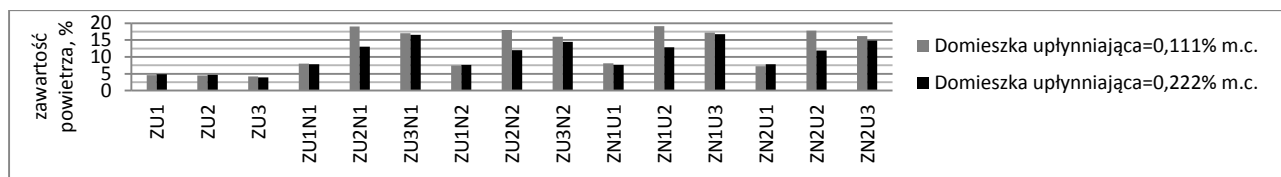
Tabela 4. Oznaczenia zapraw zawierających domieszki
Table. 4. Symbols of mortars containing admixtures

Symbol zaprawy*	Domieszka napowietrzająca, % m.c.	Domieszka upłynniająca, % m.c.		Symbol zaprawy*	Domieszka napowietrzająca, % m.c.	Domieszka upłynniająca, % m.c.	
Z0	-	-	-	ZU1N2	0,021	0,111	0,222
ZN1	0,180	-	-	ZU2N2	0,021	0,111	0,222
ZN2	0,021	-	-	ZU3N2	0,021	0,222	0,333
ZU1	-	0,111	0,222	ZN1U1	0,122	0,111	0,222
ZU2	-	0,111	0,222	ZN1U2	0,122	0,111	0,222
ZU3	-	0,111	0,222	ZN1U3	0,122	0,222	0,333
ZU1N1	0,122	0,111	0,222	ZN2U1	0,021	0,111	0,222
ZU2N1	0,122	0,111	0,222	ZN2U2	0,021	0,111	0,222
ZU3N1	0,122	0,222	0,333	ZN2U3	0,021	0,222	0,333

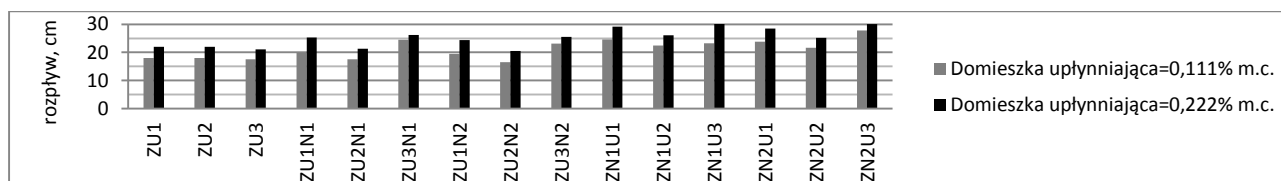
*Kolejność symboli domieszek (wg tabeli 3) odpowiada kolejności ich dozowania

3. Analiza wyników badań, dyskusja

Rezultaty badań wykazały, że napowietrzenie i rozptył zapraw Z0, ZN1 i ZN2 wynosi odpowiednio 4,5%, i 16 cm, 11% i 18,6 cm oraz 11% i 18,4 cm. Na rysunkach 1 i 2 zestawiono wyniki badań właściwości upłynnionych zapraw wzorcowych. Kolejność symboli domieszek (wg tabeli 3) odpowiada kolejności ich dozowania. Analiza wyników badań prowadzi do wniosku, że na wynikową zawartość powietrza w zaprawie wpływa zarówno rodzaj, jak i ilość domieszki upłynniającej oraz kolejność dozowania domieszek upłynniającej i napowietrzającej.



Rysunek 1. Wyniki badań zaprawy wzorcowej
Figure 1. Research results of reference mortar



Rysunek 2. Wyniki badań zaprawy wzorcowej.
Figure 2. Research results of reference mortar

Analiza wyników badań zestawionych na rysunku 1 i 2 dowodzi, że w przypadku stosowania domieszki upłynniającej na bazie polikarboksyłanu i eteru polikarboksyłanowego, w ilości odpowiadającej połowie zakresu stosowania zalecanego przez producenta, następuje bardzo znaczący wzrost zawartości powietrza. W przypadku stosowania domieszki upłynniającej w ilości maksymalnej, czyli takiej, przy której nie dochodzi jeszcze do segregacji zaprawy, następuje nieco mniejszy przyrost zawartości powietrza w stosunku do ilości powietrza w napowietrzonej celowo zaprawie wzorcowej, ale nadal występuje problem utrzymania uzyskanego pierwotnie napowietrzenia. Przyczyna tego zjawiska prawdopodobnie tkwi we wpływie domieszki upłynniającej na napięcie powierzchniowe fazy ciekłej zaczynu. Obecność różnych grup funkcyjnych w cząsteczkach plastyfikatorów (grupy eterowej, hydroksylowej i grupy karboksylowej) wywołuje zmniejszenie napięcia powierzchniowego wody wywołując deflokulację asocjatorów i zwiększenie zwilżalności nie tylko ziaren cementu, ale całego szkieletu mineralnego [1], [4]. Jest to jednym z powodów zwiększania zawartości powietrza w mieszance cementowej przez domieszkę upłynniająca [7]. Niektóre domieszki upłynniające wykazują tylko działanie dyspergujące, nie zmniejszając napięcia powierzchniowego fazy ciekłej. Są to na przykład: sole kwasów hydrokarboksylowych, sulfonowane żywice melaminowo formaldehydowe, sole pikondensatów formaldehydowych kwasu beta-naftalensulfonowego [1], [4]. Rodzaj domieszki upłynniającej jest ważny ze względu na wielkość oraz proporcje udziału porów powietrznych, uzyskiwanych w wyniku jej działania, chociaż z upływem czasu w trakcie twardnienia betonu zachodzą przeważnie dalsze zmiany tych proporcji [5]. Przy stosowaniu domieszek upłynniających polikarboksyłanowych pory powietrzne mają mniejsze średnice, niż pory powstałe w wyniku działania domieszek upłynniających lignosulfonianowych, czy też naftalenowych.

Analiza wyników zamieszczonych na rysunku 1 i 2 wskazuje na to, że w przypadku konieczności upłynnienia uprzednio napowietrzonej mieszanki powinno się stosować domieszki upłynniające na bazie naftalenu, czy też mniej dostępnej w obecnym czasie melaminy (tabela 1). Niektórzy producenci domieszek w swej ofercie handlowej posiadają także domieszki upłynniające wykonane na bazie eteru polikarboksyłanowego z dodatkiem dużej ilości domieszki prze-

ciwpieniącej, szczególnie zalecanych w prefabrykacji, jednak jak wskazują wyniki badań zestawione na rysunku 1 i 2, nie zawsze dodatek domieszki przeciwiwpieniącej skutecznie przeciwdziała nadmiernemu napowietrzeniu uprzednio napowietrzanej mieszanki cementowej.

Z punktu widzenia uzyskania odpowiedniego napowietrzenia mieszanki cementowej korzystne jest w pierwszej kolejności jej upłynnienie za pomocą domieszek upłynniających nowej generacji, a dopiero potem napowietrzenie. Zastosowanie odwrotnej kolejności może prowadzić do nadmiernego zwiększenia zawartości powietrza w mieszance cementowej (rysunek 1 i 2), pomimo uzyskania większego stopnia jej płynności. W przypadku, gdy celem jest uzyskanie jak największego stopnia płynności celowo napowietrzanej mieszanki cementowej, przy możliwie najmniejszej ilości domieszki upłynniającej, zaleca się najpierw jej napowietrzenie a dopiero później upłynnienie. Jednak należy w tym przypadku zmniejszyć ilość domieszki napowietrzającej, szczególnie, gdy przewidziana do zastosowania domieszka upłynniająca wykonana jest na eteru polikarboksylianowego, a zwłaszcza na bazie polikarboksylicznanu.

4. Wnioski

Celem uzyskania zalecanego przez PN-EN 206 napowietrzenia betonu dla klasy XF należy sprawdzać kompatybilność domieszek z cementem, biorąc pod uwagę stwierdzone na podstawie badań zalecenia:

1. Warunek kompatybilności domieszki upłynniającej z cementem należy weryfikować biorąc pod uwagę jej wpływ zarówno na konsystencję, jak i na zawartość powietrza w mieszance cementowej. Istotne jest, że kompatybilność domieszek z cementem należy sprawdzać nie dla każdej z osobna, gdyż domieszki występują łącznie, aby zweryfikować ich wzajemne interakcje i możliwe następstwa dla napowietrzenia i konsystencji zaprawy, a także betonu. Ponadto, ważna jest także kolejność ich dozowania.
2. Celem uzyskania oczekiwanego napowietrzenia upłynnionej, celowo napowietrzanej mieszanki cementowej zaleca się najpierw jej upłynnienie za pomocą domieszek upłynniających nowej generacji, a dopiero w drugiej kolejności napowietrzenie. Zastosowanie odwrotnej kolejności, przy uprzednio ustalonej ilości domieszki napowietrzającej, może prowadzić do wzrostu poziomu napowietrzenia, dalece wykraczającego poza zalecenia PN-EN 206.
3. Z punktu widzenia konsystencji mieszanki cementowej, i oszczędności w dozowaniu domieszki upłynniającej, korzystniejsze jest najpierw jej napowietrzenie, a następnie upłynnienie. Jednak w tym przypadku zaleca się stosować domieszki upłynniające wykonane na bazie modyfikowanego naftalenu, czy też melaminy. Stosowanie domieszek upłynniających na bazie eteru polikarboksylianowego, a szczególnie polikarboksylicznanu, prowadzi do znacznego wzrostu napowietrzenia betonu, pomimo deklarowanej przez producenta obecności domieszki przeciwiwpieniącej.

Przedstawiony problem kompatybilności domieszki napowietrzającej i upłynniającej nasila się w przypadku cementów portlandzkich wieloskładnikowych. W kolejnym etapie badań prowadzonych przez autorów oceniony zostanie wpływ kompatybilności domieszek napowietrzających i upłynniających na strukturę napowietrzenia betonu. Wyniki prowadzonych badań w tym zakresie zostaną omówione w szerszej publikacji autorów.

Prezentowane badania były finansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach Projektu PBS1/A2/4/2012 PT. „Innowacyjne Cementy Napowietrzające Beton”.

Literatura

- [1] Kucharska L.: Tradycyjne i współczesne domieszki do betonu zmniejszające ilość wody zarobowej, Cement, Wapno, Beton, 2/2000, s. 46-61.
- [2] Mosquet M.: Domieszki nowej generacji, Budownictwo Technologie Architektura numer specjalny 2003.
- [3] Neville A.M.: Właściwości betonu, Polski Cement, Kraków 2000.
- [4] Rudnicki T.: Naturalne i syntetyczne domieszki uplastyczniające oraz mechanizmy ich oddziaływania w mieszance betonowej, Magazyn Autostrady 4/2004, str. 22-25.
- [5] 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.
- [6] Szwabowski J., Łaźniewska-Piekarczyk B.: Wymogi względem parametrów struktury porowatości mrozoodpornego samozagęszczalnego betonu (SCC), Cement, Wapno, Beton 3/2008.
- [7] Szwabowski J., Łaźniewska-Piekarczyk B.: Zwiększenie napowietrzenia mieszanki pod wpływem działania superplastyfikatorów karboksylowych, Cement, Wapno, Beton, 2008 r., nr 4.

Informacje o autorach

Prof. dr hab. inż. Janusz Szwabowski. Ukończona uczelnia i aktualne miejsce pracy: Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa, Katedra Inżynierii Materiałów i Procesów Budowlanych. Zawodowe zainteresowania: reologia mieszanek cementowych, technologia betonu.

Dr inż. Beata Łaźniewska-Piekarczyk. Ukończona uczelnia i aktualne miejsce pracy: Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa, Katedra Inżynierii Materiałów i Procesów Budowlanych. Zawodowe zainteresowania: właściwości mieszanek cementowych modyfikowanych domieszkami chemicznymi.

Adres do korespondencji autorów: Katedra Inżynierii Materiałów i Procesów Budowlanych, Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice.