

## WPŁYW POPIOŁU LOTNEGO WAPIENNEGO NA EFEKTY DZIAŁANIA DOMIESZEK NAPOWIETRZAJĄCYCH

Jacek GOŁASZEWSKI, Michał DREWNIOK\*

Katedra Inżynierii Materiałów i Procesów Budowlanych Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach,  
ul. Akademicka 5, 44-100, Gliwice

**Streszczenie:** W artykule omówiono wpływ dodatku popiołu lotnego wapiennego (PLW) jako dodatku typu II na efektywność działania wybranych domieszek napowietrzających (AE) oraz domieszek napowietrzających w obecności superplastyfikatora (SP). Celem podjętych badań było rozpoznanie wpływu PLW na I efekt działania domieszek napowietrzających. Przedstawiono metodykę i wyniki badań napowietrzenia zapraw cementowych z dodatkiem PLW w zależności od stopnia jego domielenia, w stanie laboratoryjnego zmieszania. Metodami oceny efektywności działania AE były: normowa metoda ciśnieniowa oraz nienormowa metoda wskaźnika piany. Analizowano wpływ następujących czynników: rodzaj popiołu lotnego wapiennego (4 partie), jego ilość jako 10, 20 i 30 % zamiennik masy cementu, aktywację popiołu poprzez przemiał (dostawa, domielenie), rodzaj AE (3 domieszki o różnej bazie chemicznej), rodzaj SP (2 rodzaje). Uzyskane wyniki badań wykazują, iż obecność popiołu lotnego wapiennego powoduje zmniejszenie ilości powietrza w zaprawie. Efektywność działania domieszek napowietrzających w jego obecności uzależniona jest od partii zastosowanego popiołu oraz jego rodzaju (dostawa, domielenie).

*Słowa kluczowe:* popiół lotny wapienny, domieszka napowietrzająca, efekt działania domieszki napowietrzającej.

### 1. Wprowadzenie

Dodatki mineralne odgrywają bardzo ważną rolę we współczesnej technologii betonu. Ich stosowanie umożliwia korzystne modyfikowanie właściwości betonu oraz uzyskanie znaczących efektów ekonomicznych. Stanowi również kluczowy element realizacji strategii zrównoważonego rozwoju. Najczęściej stosowanymi dodatkami mineralnymi do spoiw cementowych i betonów są popioły lotne krzemionkowe, zmielony granulowany żużel wielkopiecowy oraz pył krzemionkowy.

W Polsce ponad 30% energii elektrycznej uzyskiwane jest ze spalania węgla brunatnego w kotłach konwencjonalnych. W wyniku tego powstaje bardzo znaczą ilość popiołów lotnych wapiennych. Charakteryzują się one dużą zawartością wolnego wapna i związków siarki oraz znaczną zmiennością składu i uziarnienia w czasie, nawet z jednej elektrowni (Garbacik i in., 2010a). Skład popiołu lotnego zapewnia mu właściwości pucolanowo-hydrauliczne. Popiół lotny wapienny praktycznie nie jest stosowany w technologii produkcji cementu i betonu. Jako podstawowe powody takiego stanu można wskazać: wymienione wcześniej charakterystyki jego składu czyli wysoką zawartość wolnego wapna, wysoką zawartość związków siarki

wywierające potencjalnie negatywny wpływ na właściwości betonu oraz bardzo duże wahania jakości materiału, związane ze zmiennością składu chemicznego, fazowego i uziarnienia (Garbacik i in., 2010b).

Szeroka analiza danych literaturowych, omówiona przez Giergiczego (2006) oraz Garbacika i in. (2010b) wykazuje, że popiół lotny wapienny może potencjalnie być składnikiem głównym cementu (popiół lotny wapniowy W zdefiniowany w normie PN-EN 197-1 (2002), dodatkiem typu II w składzie betonu (norma amerykańska ASTM C618, norma kanadyjska CAN/CSA-A23.5 (1998)). Dostępne dane wskazują przy tym, że znacznie lepsze rezultaty stosowania popiołu lotnego wapiennego uzyskuje się stosując popiół uzdatniany przez przemiał (Giergiczny, 2006; Dziuk i in., 2010). Podstawowym warunkiem wykorzystania popiołu lotnego wapiennego jako dodatku do cementu i betonu są jednak systematyczne badania pozwalające na rozpoznanie jego wpływu na właściwości mieszanki betonowej i betonu. Takich badań obecnie brakuje.

Trwałość betonu w środowisku, w którym narażony jest on na zawilgocenie, a następnie cykliczne zamrażanie i rozmrażanie uzyskuje się przez jego napowietrzenie. Napowietrzenie polega na wytworzeniu w mieszance betonowej i betonie małych, równomiernie

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: michal.drewniok@polsl.pl

rozproszonych, pęcherzyków powietrza (Neville, 2000). W tak napowietrzonym betonie, podczas zamarzania, nadmiar zwiększającej swoją objętość wody przemieszcza się do pęcherzyków, co zapobiega niszczeniu jego struktury. Pęcherzyki te ponadto zapobiegają powstaniu sieci ciągłych porów kapilarnych, dzięki czemu obniżają przepuszczalność betonu, dodatkowo zwiększając jego trwałość. Efekt napowietżenia betonu uzyskuje się poprzez stosowanie domieszek napowietrzających, które są związkami powierzchniowo czynnymi zmniejszającymi napięcie powierzchniowe wody. Analiza danych literaturowych wykazuje, że obecnie brakuje wyników kompleksowych badań efektywności domieszek, w tym również napowietrzających w obecności popiołu lotnego wapiennego (Giergiczny, 2006; Garbaci i in., 2010b). Dostępne nieliczne opracowania wykazały ogólnie negatywny wpływ dodatku popiołu lotnego wapiennego na napowietrzenie mieszanki i zawartość porów w betonie stwardniałym. Tym samym zauważono, że zapotrzebowanie na domieszkę wzrasta wraz ze zwiększeniem jej ilości w mieszance oraz wielkością powierzchni właściwej zastosowanego popiołu lotnego wapiennego (Glinicki i Dąbrowski, 2010). W związku ze zmiennością właściwości fizykochemicznych popiołów lotnych wapiennych oraz stopnia ich waloryzacji przez przemiał konieczne są dalsze badania dotyczące wpływu popiołu lotnego wapiennego na efekty działania domieszek napowietrzających.

W referacie przedstawiono metodykę i wyniki badań efektów działania domieszek napowietrzających na ilość powietrza w zaprawach cementowych oraz adsorpcji domieszek na ziarnach spoiwa w roztworze wodnym z dodatkiem popiołu lotnego wapiennego o różnym stopniu przemiału.

## 2. Metodyka badań

### 2.1. Plan i zakres badań

W badaniach określono wpływ ilości, składu (dostawa/partia) oraz waloryzacji przez przemiał popiołu lotnego wapiennego na efekty działania domieszek napowietrzających. Ponieważ w praktyce domieszki napowietrzające stosuje się zazwyczaj łącznie z plastyfikatorem lub superplastyfikatorem, określono dodatkowo efektywność działania domieszek napowietrzających w obecności superplastyfikatorów. Efektywność działania domieszek napowietrzających oceniano poprzez ilość powietrza wprowadzonego do zaprawy w wyniku ich stosowania. Badania zrealizowano z wykorzystaniem popiołów lotnych wapiennych pobranych ze zbiornika retencyjnego Elektrowni Bełchatów w 2010 roku. Badania wykonano uwzględniając wpływ następujących czynników:

- rodzaj domieszki napowietrzającej (3 domieszki według tabeli 1);
- dostawa/partia popiołu lotnego wapiennego (cztery partie popiołu A, B, C, D o właściwościach według tabeli 2 i 3);
- ilość popiołu lotnego wapiennego jako ekwiwalent cementu: 10, 20, 30% m.c. (badanie przeprowadzono dla popiołu A);
- przemiał popiołu lotnego wapiennego – popiół w stanie dostawy (0) oraz mielony (1) i (2) (w przypadku partii A);
- obecność superplastyfikatora (dwa superplastyfikatory według tabeli 1) – domieszka napowietrzająca AE I i SP I oraz domieszka napowietrzająca AE III i SP II.

Tab. 1. Zastosowane domieszki chemiczne

Domieszka	Baza	Zalecane dawkowanie max w [%] (m.c./m.s.)	Zastosowane dawkowanie [%] (m.c./m.s.)
AE I	glikol polietylenowy, wyciągi z żywic naturalnych	0,3 %	0,15; 0,30; 0,60; 0,90
AE II	produkt w pełni syntetyczny, nie zawierający olejków pochodzenia roślinnego	0,5 %	0,25; 0,50; 1,0
AE III	tensydy syntetyczne	0,3 %	0,15; 0,30; 0,45
SP I	eter polikarboksyłanowy	1,0 %	0,5
SP II	eter polikarboksyłanowy	2,5 %	1,25

Tab. 2. Skład cementu i popiołu lotnego wapiennego oznaczonego metodą XRF

Składnik/partia	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO <sub>w</sub>
CEM I 42,5R - Cement I	19,5	4,89	2,85	63,3	1,29	2,76	0,14	0,90	-
Popiół lotny wapienny A / Partia I	33,62	19,27	5,39	31,32	1,85	4,50*	0,31	0,11	2,87
Popiół lotny wapienny B / Partia II	40,17	24,02	5,93	22,37	1,27	3,07*	0,15	0,20	1,46**
Popiół lotny wapienny C / Partia III	45,17	20,79	4,58	20,60	1,49	2,96*	0,23	0,19	1,18
Popiół lotny wapienny D / Partia IV	40,88	19,00	4,25	25,97	1,73	3,94*	0,13	0,14	1,07**

\* oznaczono metodą analizy elementarnej; \*\*metoda glikolowa

Tab. 3. Właściwości fizyczne popiołów - gęstość, mialkość, powierzchnia właściwa, masa objętościowa

	Gęstość, [g/cm <sup>3</sup> ]	Mialkość – pozostałość na sicie 45µm [%]	Powierzchnia właściwa według Blaine'a, [cm <sup>2</sup> /g]	Masa objętościowa, [kg/m <sup>3</sup> ]
Cement				
CEM I 42,5R	3,09	-	3730	2,92
PLW A / Partia I				
Bez przemiału (0)	2,62	38,0	2 860	-
Mielenie 10 min (1)	2,77	23,0	3 500	-
Mielenie 28 min (2)	2,75	10,5	3 870	-
PLW B / Partia II				
Bez przemiału (0)	2,64	55,6	1900	1060
Mielenie 20 min (1)	2,71	20,0	4060	Nb
PLW C / Partia III				
Bez przemiału (0)	2,60	57,2	1900	960
Mielenie 20 min (1)	2,63	16,7	4700	Nb
PLW D / Partia IV				
Bez przemiału (0)	2,60	46,3	2370	1028
Mielenie 20 min (1)	2,67	20,8	3520	Nb

## 2.2. Metody badania

Badania efektywności domieszek napowietrzających w obecności popiołu lotnego wapiennego wykonano następującymi metodami:

- Badanie wskaźnika piany, nienormowa metoda polegająca na określeniu adsorpcji wybranej domieszki na ziarnach spoiwa w roztworze wodnym. Badanie wskaźnika piany polegały na sporządzeniu roztworu spoiwa (cementu i popiołu lotnego wapiennego) oraz wody w proporcji 1:0,25. Składniki umieszczono w szklanej menzurce o średnicy 80 mm i przez 60 s mieszano przez intensywne wstrząsanie. Do tak przygotowanego roztworu dodawano 10% wodny roztwór domieszki napowietrzającej – każdorazowo w ilości około 0,05 ml. Po każdym dodaniu, roztwór mieszano przez 15 s i określano czas utrzymywania się piany. Badanie prowadzono (zwiększając każdorazowo ilość wodnego roztworu domieszki o około 0,05 ml) aż do momentu, gdy piana utrzymywała się na powierzchni roztworu przez czas dłuższy niż 45 s. Badanie przeprowadzono dla popiołów partii A oraz domieszek AE I, AE II i AE III. Badanie wskaźnika piany szczegółowo zostały opisane przez Kulaotsa i in. (2003) oraz Glinickiego i Dąbrowskiego (2010),
- Pomiary zawartości powietrza w wykonane zostały zgodnie z PN-EN 1015-7 (2000), metodą ciśnieniową (Metoda A), aparatem ciśnieniowym o pojemności 1 litra. Badanie wykonywano po jednej minucie od zakończenia mieszania składników.

## 2.3. Właściwości materiałów i składy mieszanek

Do badań zastosowano cement CEM I 42,5 R o składzie i właściwościach przedstawionych w tabelach 2 i 3,

domieszek napowietrzających i superplastyfikatorów o składzie i właściwościach przedstawionych w tabeli 1, popiołów lotnych wapiennych o składzie i właściwościach przedstawionych w tabelach 2 i 3. Popioły domielone były w młynku kulowym przez czas podany w tabeli 3. Do przygotowania zapraw wykorzystano piasek normowy zgodny z PN-EN 196-1.

Badania wskaźnika piany wykonano na zaczynach o składzie przedstawionym w tabeli 4, zawartość powietrza badano na zaprawach o składzie przedstawionym w tabeli 5. Badanie efektywności działania domieszek napowietrzających wykonano na zaprawach o w/s = 0,55, natomiast badania efektywności działania domieszek napowietrzających w obecności superplastyfikatora na zaprawach o w/s = 0,45.

Tab. 4. Skład zaczynu do badania współczynnika piany

Składnik	Ilość
Spoiwo (cement + popiół)	10 g
Woda destylowana	25 ml
10 % wodny roztwór AEA (I, II, III)	1 kropla (około 0,025 ml)

Tab. 5. Skład zapraw do badania zawartości powietrza metodą ciśnieniową

Składnik	Masa [g]
Spoiwo (Cement + PLW)	450,00
Woda (efektywność działania AE)	247,50 (w/s = 0,55)
Woda (efektywność działania AE w obecności SP)	202,5 (w/s = 0,45)
Piasek normowy	1 350,00
w / c (dla SP)	0,55 (0,45)

### 3. Wyniki badań

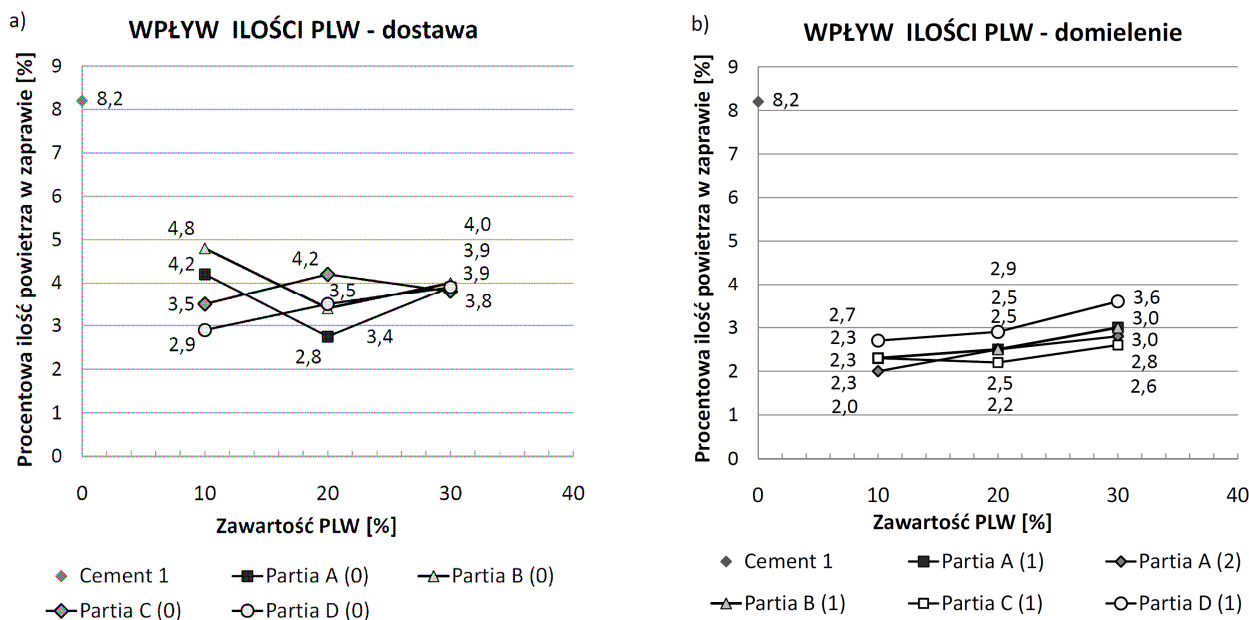
Wpływ popiołu lotnego wapiennego na ilość powietrza w zaprawie bez domieszki napowietrzającej przedstawiono na rysunku 1. Wprowadzenie popiołu lotnego wapiennego powoduje wyraźne zmniejszenie ilości powietrza w zaprawie, przy czym efekt ten jest większy w przypadku stosowania popiołu domielonego. Wzrost ilości popiołu lotnego wapiennego powoduje nieznaczne zmiany ilości powietrza w zaprawie. W przypadku zapraw z popiołem w stanie dostawy nie można wskazać jednoznacznych tendencji tych zmian, natomiast w przypadku zapraw z popiołem domielonym zwiększenie jego ilości powoduje nieznaczny wzrost ilości powietrza. Partia popiołu lotnego wyraźnie wpływa na ilość powietrza w zaprawie tylko w przypadku stosowania popiołu w stanie dostawy, w przypadku domielenia wpływ partii popiołu zanika.

Badanie wskaźnika piany dla zaczynów zawierających w swoim składzie 20 % popiołu lotnego wapiennego partii A przedstawiono na rysunku 2. Wprowadzenie popiołu lotnego wapiennego zwiększa zapotrzebowanie na domieszkę napowietrzającą. Zapotrzebowanie to jest większe w przypadku stosowania popiołu lotnego wapiennego domielonego i wzrasta wraz ze zwiększaniem jego stopnia przemiatu (powierzchni właściwej). Pomimo znacznie odmiennego składu AE I i AE II, efektywność ich działania w obecności popiołu lotnego wapiennego domielonego, pozostawało na tym samym poziomie. Dla popiołu w stanie dostawy domieszka AE II wykazała się nieznacznie lepszą efektywnością. Całkiem odmiennie kształtowało się zapotrzebowanie zaczynu na AE III. Odpowiednio 5-cio, 4-ro i 3-krotnie mniejsza, niż

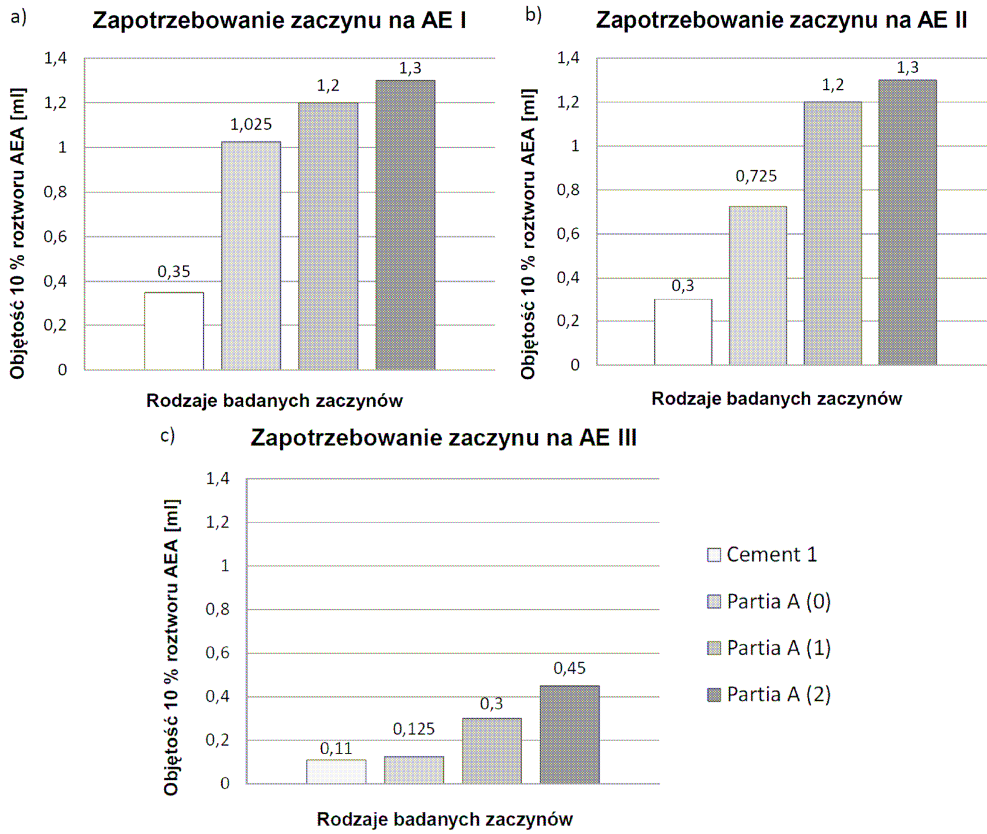
w przypadku AE I i AE II, ilość 10 % roztworu domieszki dla popiołu w stanie dostawy, domielenia (1) oraz domielenia (2) wystarczyła do zakończenia pomiaru. Stopniując, domieszka napowietrzająca AE II wykazywała nieco lepsze działanie niż AE I. Efektywność działania trzeciej, dla różnego rodzaju popiołów, dalece odbiegała od pozostałych i okazała się najlepsza.

Wpływ popiołu lotnego wapiennego na efekty działania domieszek napowietrzających przedstawiono na rysunkach 3 i 4. Wyraźnie mniejsza efektywność działania domieszek napowietrzających występuje w obecności popiołu lotnego wapiennego. Podobnie jak podczas określania wskaźnika piany, efektywność działania domieszek napowietrzających była mniejsza w obecności popiołu lotnego domielonego. Jednocześnie nie stwierdzono wyraźnego wpływu zwiększania stopnia przemiatu popiołu lotnego wapiennego na efekty działania domieszek. Uzyskanie podobnej zawartości powietrza w zaprawie zawierającej PLW w stanie domielenia jak w zaprawie bez tego dodatku możliwe było tylko poprzez bardzo znaczne zwiększenie ilości dodawanego AE, znacznie ponad maksymalną dopuszczalną przez producenta (rys. 3 i 4).

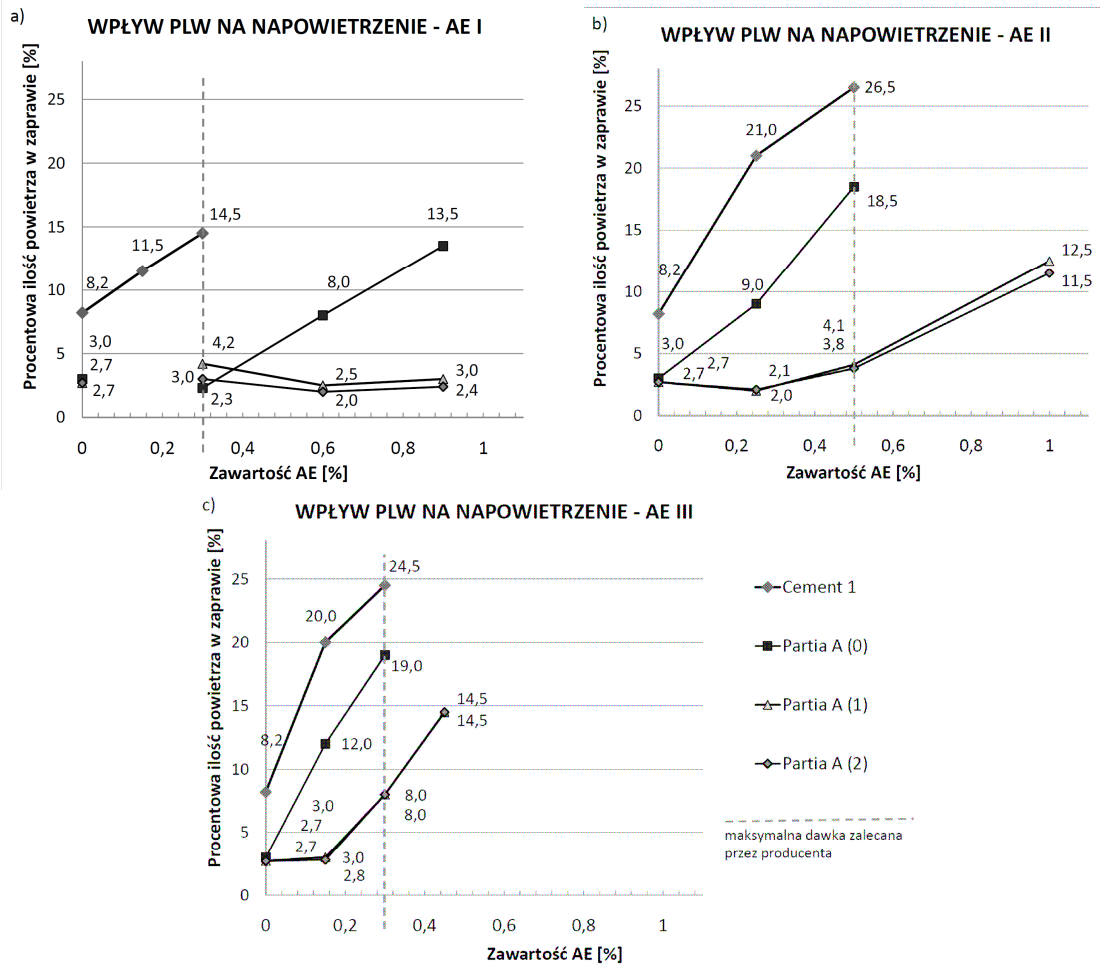
W badaniach nie zaobserwowano istotnego wpływu partii popiołu lotnego w stanie dostawy na efektywność działania domieszek. W przypadku popiołów lotnych domielonych efektywność działania domieszek była najmniejsza w obecności popiołu lotnego z partii C. Popiół domielony tej partii charakteryzował się największą, spośród wszystkich pozostałych, powierzchnią właściwą (tab. 3). Spowodowało to znacznie większe zapotrzebowanie zaprawy na domieszkę napowietrzającą niż w pozostałych przypadkach.



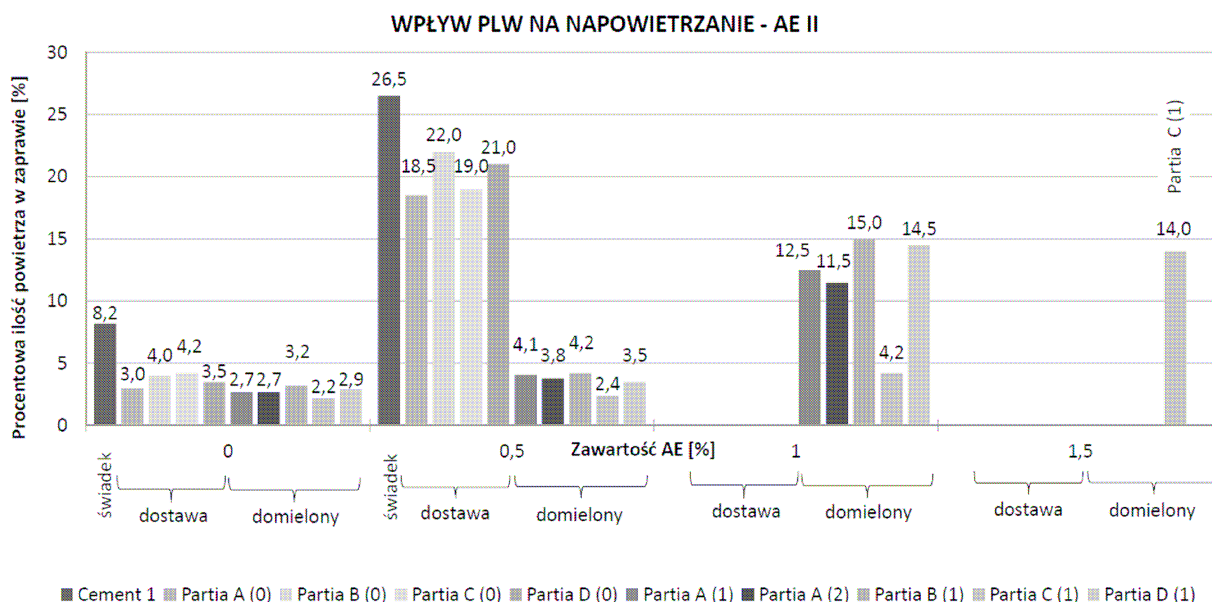
Rys. 1. Wpływ ilości PLW na ilość powietrza w zaprawie (bez AE), a) PLW dostawa, b) PLW domielenie



Rys. 2. Wskaźnik piany: a) dla AE I, b) dla AE II, c) dla AE III



Rys. 3. Wpływ popiołu lotnego wapiennego na napowietrzanie: a) AE I, b) AE II, c) AE III

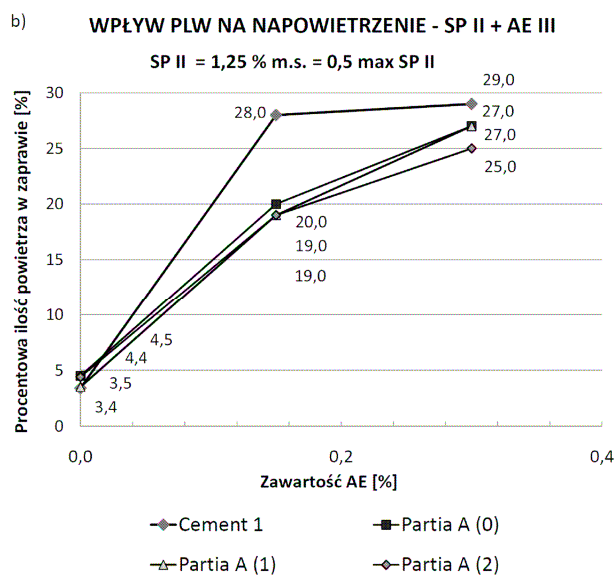
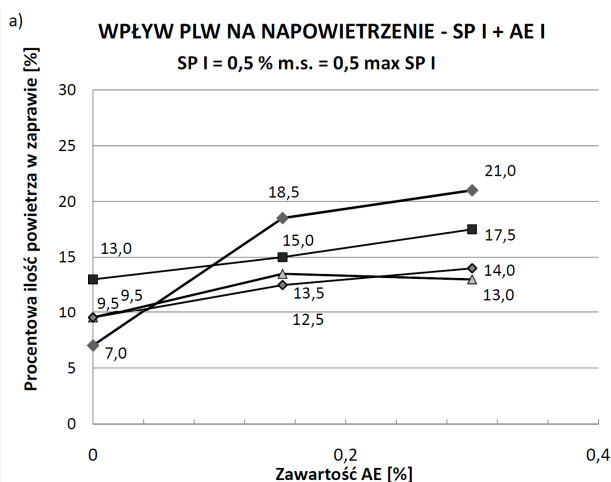


Efektywność działania domieszek napowietrzających w obecności popiołu lotnego wapiennego uzależniony jest od ich składu i właściwości. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że domieszka napowietrzająca AE I o składzie w pełni naturalnym wykazywała mniejszą skuteczność, niż domieszki o składzie syntetycznym (AE II, AE III). Należy więc podkreślić konieczność starannego doboru domieszek napowietrzających uwzględniając obecność popiołu lotnego wapiennego.

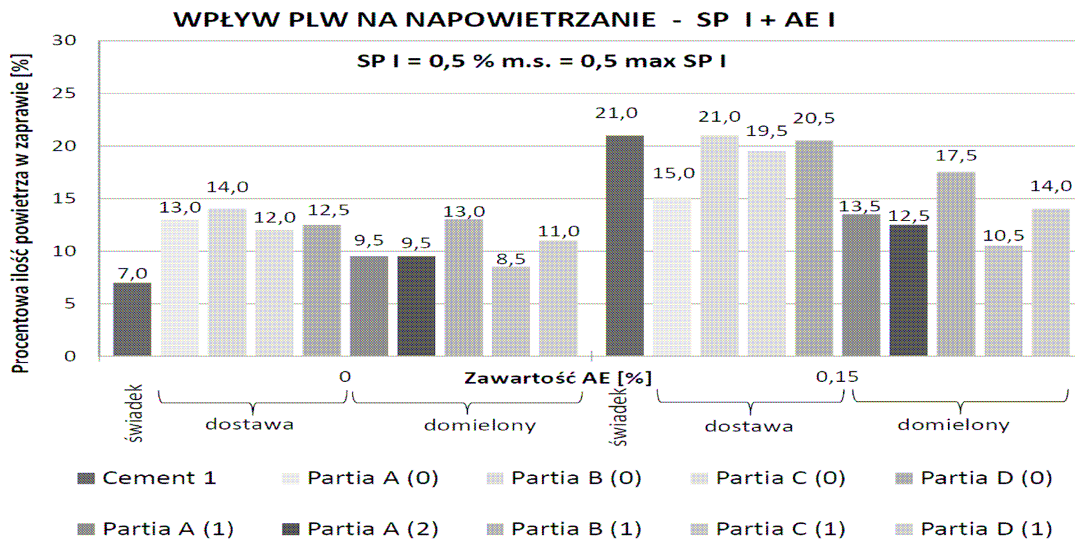
Wpływ domieszki napowietrzającej AE na ilość powietrza w zaprawach z dodatkiem superplastyfikatora przedstawiono na rysunku 5. Zwraca uwagę, że stosowany w badaniach superplastyfikator SP I powodował znaczące napowietrzenie zaprawy. Efektu tego nie stwierdzono w przypadku SP II. Podobnie jak to wykazano wcześniej (rys. 2a) efektywność działania domieszki AE I zmniejsza

się wyraźnie w obecności popiołu lotnego wapiennego. Natomiast domieszka AE III w obecności SP II, podobnie jak bez jej udziału (rys. 2c), charakteryzowała się w przypadku zapraw z popiołem lotnym wapiennym dobrą, choć wyraźnie mniejszą efektywnością działania niż w przypadku zapraw bez popiołu lotnego.

Efektywność działania AE I w obecności SP I, uwzględniając rodzaj oraz dostawę PLW, przedstawiono na rysunku 6. We wszystkich przypadkach napowietrzenie zaprawy wystąpiło przede wszystkim jako efekt działania superplastyfikatora SP I. Jednocześnie można stwierdzić, że partia popiołu w tym przypadku nie wpłynęła na efekt działania domieszki napowietrzającej (zwiększenie napowietrzenia wskutek działania AE wynosi zwykle około 7% w przypadku popiołu w stanie dostawy, i około 4% w przypadku popiołu w stanie zmielonym).



Rys. 5. Wpływ popiołu lotnego wapiennego na napowietrzenie: a) SP I + AE I, b) SP II + AE III



Rys. 6. Zawartość powietrza w świeżej zaprawie dla 0,5 max dawki SP I i AE I

#### 4. Dyskusja uzyskanych wyników

Problemy z napowietzeniem mieszanek betonowych w obecności popiołów lotnych opisali Pedersen i in. (2008 i 2010) i Kulaots i in. (2003 i 2004). Stwierdzili, że w tym przypadku może nastąpić interakcja między popiołem lotnym a domieszką napowietrzającą. Główną przyczyną takiego oddziaływania są pozostałości niespalonego węgla, które adsorbują na swojej powierzchni hydrofobową cząstkę domieszki.

Według Kulaotsa i in. (2004), o ilości zaadsorbowanej domieszki decyduje kilka właściwości obecnych w popiele reliktyw węgla, przede wszystkim:

- ilość węgla w popiele,
- powierzchnia właściwa,
- dostępność powierzchni właściwej,
- chemiczna natura powierzchni.

Wraz ze wzrostem zawartości węgla i jego powierzchni właściwej następuje większa adsorpcja domieszki napowietrzającej (Pedersen i in., 2008).

Na środek napowietrzający beton wpływ także ma obecność w składzie chemicznym roztworu jonów  $Ca^{2+}$  i  $Mg^{2+}$ . Baltrus i in. (2001) zajmowali się badaniem wpływu jonów alkalicznych na działanie domieszki napowietrzającej. Stwierdzili, że ich obecność powoduje wytrącanie się nierozpuszczalnych związków ze środkiem powierzchniowoczynnym z domieszki napowietrzającej. Zjawisko to ma przede wszystkim wpływ na popioły z dużą zawartością reaktywnego wapnia takie jak popioły lotne wapienne.

Powyższe wyniki badań wskazują na negatywny wpływ dodatków popiołów lotnych wapiennych na napowietrzanie zaprawy. Charakter ten jest zbliżony z nielicznymi, przeprowadzonymi dotychczas badaniami. Efektywność działania domieszki napowietrzających uzależniony jest głównie od rodzaju (dostawa, domielenie) zastosowanego popiołu lotnego wapiennego. Znacznie trudniej uzyskać było napowietrzanie zapraw z PLW domielonym niż w stanie dostawy. Taką zależność trudno jednoznacznie przypisać zawartości niespalonego węgla w popiołach. W przypadku popiołu lotnego

wapiennego mielonego, charakteryzującego się największą powierzchnią właściwą (Partia C (1)), najtrudniej było uzyskać napowietrzanie zaprawy. Glinicki i Dąbrowski (2010) wykazali, iż głównym czynnikiem charakteryzującym popiół lotny wapienny (przy takim samym składzie mineralnym), jako dodatek do betonów napowietrzanych, jest jego rozdrobnienie. Badania przeprowadzone na zaprawach to potwierdzają.

Zauważono również, że stosowanie domieszki napowietrzającej na bazie żywic naturalnych w obecności PLW charakteryzuje się małą skutecznością pod względem stopnia napowietrzania zapraw. Aby można było uzyskać napowietrzanie zaprawy, niejednokrotnie trzeba było zastosować ekstremalnie 3-4 krotna ilość zalecaną przez producenta. Na etapie przeprowadzonych badań nie dokonano porównania zawartości powietrza w świeżej zaprawie i w mieszance betonowej. Stanowiąc to będzie dalszą część badań. Różnice efektywności działania AE w obecności innych domieszek chemicznych powodują, że konieczne są dalsze badania związane z kompatybilnością domieszek pod względem ich działania zarówno głównego jak i II rzędu w obecności popiołu lotnego wapiennego.

#### 5. Wnioski

Na podstawie wyników badań można przedstawić następujące wnioski:

- zawartość powietrza w zaprawie z dodatkiem popiołów lotnych wapiennych, bez udziału domieszki napowietrzającej, zmniejsza się wraz ze wzrostem powierzchni właściwej popiołów, jego aktywacji przez przemiał;
- efektywność działania domieszki napowietrzających w obecności PLW uzależniona jest od partii zastosowanego popiołu oraz jego rodzaju (dostawa, domielenie);
- aktywacja popiołów lotnych wapiennych przez przemiał powoduje zauważalne zmniejszenie efektywności działania domieszki napowietrzających;

- oznaczanie wskaźnika piany może być prostym narzędziem do oceny wpływu dodatku popiołu lotnego wapiennego na napowietrzanie zapraw cementowych;
- stosowanie mieszaniny superplastyfikatora oraz domieszki napowietrzającej w obecności popiołu lotnego wapiennego powoduje bardzo dobre napowietzenie zaprawy cementowej, zbliżone do mieszanek nie zawierających PLW. Badania kompatybilności domieszek chemicznych w obecności PLW powinny być kontynuowane ze względu na widoczne różnice w ich współdziałaniu;

### Literatura

- Baltrus J.P., LaCount R.B. (2001). Measurement of adsorption of air-entraining admixture on fly ash in concrete and cement. *Cement Concrete Research*, Vol. 31, 819-824.
- Dziuk D., Giergiczny Z., Garbacik A.: (2010). Aktywność popiołu lotnego wapiennego w porównaniu z innymi dodatkami mineralnymi stosowanymi w produkcji cementu. W: *Materiały XVII Międzynarodowej Konferencji „Popioły z Energetyki”*, Warszawa 2010.
- Garbacik A., Baran T., Pichniarczyk P. (2010a). Charakterystyka krajowych popiołów wapiennych ze spalania węgla brunatnego. W: *Materiały V Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Energia i środowisko w technologiach materiałów budowlanych, ceramicznych, szklarskich i ogniotrwałych”*. Wydawnictwo Instytut Śląski, Warszawa-Opole 2010.
- Garbacik A., Giergiczny Z., Glinicki M.A., Gołaszewski J. (2010b). Założenia Projektu Strukturalnego Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka „Innowacyjne spoiwa cementowe i betony z wykorzystaniem popiołu lotnego wapiennego”. W: *Materiały V Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Energia i środowisko w technologiach materiałów budowlanych, ceramicznych, szklarskich i ogniotrwałych”*, Wydawnictwo Instytut Śląski, Warszawa-Opole 2010
- Giergiczny Z. (2006). Rola popiołów lotnych wapiennych i krzemionkowych w kształtowaniu właściwości współczesnych spoiw budowlanych i tworzyw cementowych, Kraków 2006.
- Glinicki M. A., Dąbrowski M. (2010). Wpływ dodatku popiołu lotnego wapiennego na napowietzenie mieszanki betonowej i charakterystykę porów w betonie. W: *Materiały*

*XVII Międzynarodowej Konferencji „Popioły z Energetyki”*, Warszawa 2010.

- Kulaots I., Hsu A., Hurt R.H., Suuberg E.M. (2003). Adsorption of surfactants on unburned carbon in fly ash and development of a standardized foam index test. *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, 2091-2099.
- Kulaots I., Hurt R. H., Suuberg E. M. (2004). Size distribution of unburned carbon in coal fly ash and its implications. *Fuel*, Vol. 83, 223-230.
- Pedersen P.H., Jensen A.D., Skjrrth-Rasmussen M.S., Dam-Johansen K. (2008). A review of the interference of carbon containing fly ash with air entrainment in concrete. *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 34, 135-15.
- Pedersen K.H., Jensen A.D., Dam-Johansen K. (2010). The effect of low-NOx combustion on residual carbon in fly ash and its adsorption capacity for air entrainment admixtures in concrete. *Combustion and Flame*, Vol. 157, 208-216.

### THE EFFECT OF CALCAREOUS FLY ASH ON THE EFFICIENCY OF AIR ENTRAINING ADDITIVES

**Abstract:** This article discusses the effect of the addition of calcareous fly ash as Type II addition in structural concrete on the efficiency of some air entraining additives (AEA) and admixtures with AEA and superplasticizer (SP). The paper presents the methodology and results of air content of cement mortar with the addition of calcareous fly ash. Methods for assessing the effectiveness of aeration additives were: pressure method and foam index method. The influence of the following factors: the type of calcareous fly ash (4 different delivery), 10, 20 and 30% replacement by weight of cement, ash activation by milling (without and with milling), the type of AEA (3 admixture of various chemical-based), the type of SP (2 types). Results show that the presence of calcareous fly ashes reduces the amount of air in the mortar. The effectiveness of additives in the presence of aeration depends on milling of calcareous fly ash addition.

Praca była współfinansowana ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, nr projektu POIG.01.01.02-24-005/09