

Ocena możliwości zastosowania popiołów ze spalania węgla brunatnego w technologii wytwarzania autoklawizowanego betonu komórkowego

Streszczenie

W wyniku wieloletnich badań i doświadczeń produkcyjnych zrealizowano w Polsce i na świecie szereg kierunków utylizacji surowców (odpadów) z energetyki. Technologie utylizacji były opracowane w zasadzie dla odpadów powstających przy tradycyjnym spalaniu węgla w kotłach pyłowych. Do wytwarzania ABK stosowane są głównie popioły lotne krzemionkowe i/lub popioły fluidalne. Dotychczas popioły lotne wapienne, czyli popioły z dużą zawartością związków wapna powstające podczas spalania węgla brunatnego, a także w procesach suchego odsiarczania spalin w paleniskach konwencjonalnych nie były stosowane do wytwarzania ABK. Popiół lotny pochodzący ze spalania węgla brunatnego w klasycznym palenisku pyłowym charakteryzuje się złożonym składem mineralnym. Dominuje piasek kwarcowy, ale również anhydryt, tlenek magnezu i zwiększone ilości węglanu i tlenku wapnia w stosunku do tradycyjnych popiołów krzemionkowych. Skład ten może być powodem powstawania niekontrolowanych zmian objętości zachodzących podczas hydratacji. Zastosowanie popiołu lotnego wapiennego w technologii ABK daje korzyści ekonomiczne, ekologiczne i techniczne. Związane to jest ze zmniejszeniem ilości wapna w recepturze wyjściowej ABK (w porównaniu do receptury na tradycyjnym popiele krzemionkowym) i wynikającą z tego redukcją emisji CO₂. W artykule przedstawiono wyniki badań prób technologicznych zastosowania popiołów wapiennych z Elektrowni Bełchatów. Zweryfikowano możliwość zastosowania ich jako surowiec do wytwarzania autoklawizowanego betonu komórkowego.

Słowa kluczowe:

beton komórkowy, popiół wapienny, współczynnik przewodzenia ciepła, emisyjność

Abstract

As a result of many years of research and production experience, a number of directions for the utilisation of raw materials (waste) from the power industry have been realised in Poland and worldwide. Utilisation technologies were basically developed for wastes arising from traditional coal combustion in pulverised coal boilers. Silica fly ash and/or fluidised bed fly ash are mainly used to produce AAC. Lime fly ash with a high content of lime compounds generated during the combustion of lignite coals and in dry flue gas desulphurisation processes in conventional furnaces, has not been used to produce AAC. Fly ash from the combustion of lignite in a classic pulverised coal furnace is characterised by a complex mineral composition. Quartz sand predominates, but also anhydrite, magnesium oxide and increased amounts of carbonate and calcium oxide compared to traditional silica ash. This composition may be the reason for uncontrolled volume changes occurring during hydration. The use of lime fly ash in AAC technology offers economic, environmental and technical advantages. This is related to the reduction in the amount of lime in the AAC formulation (compared to the formulation on traditional silica ash) and the resulting reduction in CO₂ emissions. The article presents the results of technological tests on the use of limestone ashes from the Bełchatów Power Plant in autoclaved aerated concrete technology. The possibility of using them as a raw material for the production of AAC was verified.

Keywords:

autoclaved aerated concrete, lime fly ash, thermal conductivity coefficient, emissions

1. Wstęp

Jednym z elementów zrównoważonego rozwoju jest ochrona środowiska naturalnego. Wpisuje się tutaj wykorzystanie surowców wtórnych i prowadzenie procesów technologicznych przyjaznych dla środowiska. Zagospodarowanie popiołów lotnych, produktów ubocznych energetyki, stanowi poważne zagadnienie we wszystkich krajach, w tym i Polsce, które oparty energetykę na paliwach stałych [1, 2, 3, 4, 5]. W wyniku wieloletnich badań i doświadczeń produkcyjnych w Polsce i na świecie, doprowadzono do określenia i realizacji kierunków utylizacji popiołów lotnych w przemyśle materiałów budowlanych. Dotychczasowe technologie wykorzystywania popiołów lotnych w przemyśle materiałów budowlanych i innych kierunkach, były opracowane w zasadzie dla popiołów powstają-

cych przy tradycyjnym spalaniu samego węgla kamiennego lub brunatnego w kotłach pyłowych. Przyjęty kierunek zmian w energetyce, polegający na wprowadzeniu różnych metod odsiarczania spalin i spalania węgla oraz pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych, spowodował realizację w Polsce prac badawczych nad możliwością zastosowania popiołów lotnych nowej generacji do wytwarzania materiałów budowlanych [5, 6, 7, 8, 9].

Doświadczenia polskie wskazują, że najbardziej racjonalnym i efektywnym sposobem zagospodarowania krzemionkowych popiołów lotnych jest ich wykorzystanie do produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK). Technologie wytwarzania ABK charakteryzują się małym zużyciem surowców oraz energii w stosunku do innych materiałów budowlanych. Ponadto w ABK ilość popiołów w recepturze może wynosić około 70%, a proces wytwarzania ABK jest procesem bezodpadowym, a przez to przyjaznym dla środowiska.

W Polsce autoklawizowany beton komórkowy produkowany jest głównie w klasie gęstości 600, 500 i 400. Nieliczni producenci wytwarzają beton komórkowy najniższych klas gęstości – 300 i 350. Badania wykazały, że beton komórkowy o gęstości 300 – 500 kg/m³ charakteryzuje się prawie liniową zależnością izolacyjności cieplnej od gęstości. Umożliwiła to wykonanie „ciepłych” ścian zewnętrznych jednowarstwowych, o współczynniku przenikania ciepła U poniżej 0,20 W/(m²K). Zaletą tych ścian jest ich wystarczająca izolacyjność cieplna bez potrzeby dodatkowego ocieplania, przy spełnianiu warunków bezpieczeństwa konstrukcji, bezpieczeństwa pożarowego i ochrony przed hałasem. Izolacyjność termiczna ścian w dużym stopniu wpływa na komfort użytkowania budynku oraz koszty jego utrzymania. W 2021 roku zaostrożono wymagania dla ścian jednowarstwowych i wielowarstwowych przy temperaturze T > 16°C: współczynnik przenikania ciepła ściany U powinien być ≤ 0,20 W/(m²·K) [10]. Ściany jednowarstwowe są szczególnie zalecane dla budynków jednorodzinnych. W takich budynkach najlepiej wykorzystywane są walory konstrukcyjne i izolacyjne betonu komórkowego. Na początku XXI wieku opracowana została technologia wytwarzania ABK z popiołów lotnych wapiennych powstających ze spalania węgla brunatnego okręgu Konin-Adamów-Bełchatów [11]. Obecnie popioły te charakteryzują się nieco odmiennym składem, na co wpływ może mieć zmiana wykorzystywanych pokładów węgla. Zatem koniecznym stało się opracowanie pewnego zakresu badań laboratoryjnych, zmierzających do określenia wpływu obecnie uzyskiwanych popiołów oraz ich frakcji na właściwości autoklawizowanego betonu komórkowego.

2. Część doświadczalna

2.1 Przygotowanie próbek do badań

Dla potrzeb realizacji pracy przeprowadzono badania składu chemicznego i właściwości fizycznych popiołów (tab.1).

Tablica 1. Skład i właściwości fizyko-techniczne popiołów krzemionkowych i wapiennych użytych w badaniach

Skład i właściwości		Popiół krzemionkowy	Popiół wapienny
Strata prażenia [%]		2,60	2,40
SiO ₂ <small>całk.</small> [%]		48,00	26,60
CaO <small>całk.</small> [%]		4,10	37,70
CaO <small>w</small> [%]		0,04	6,60
Bezwodnik SO ₃ [%]		0,41	13,48
Promieniotwórczość	f ₁	1,19	0,43
	f ₂ [Bq/kg]	160,34	69,60
Przeпад przez sito # 0,063mm [%]		68,60	99,60
Wodozgodność [%]		48,10	62,00

Wiadomo, że dla betonu komórkowego gęstości 320-380 kg/m³ optymalne uziarnienie spoiwa i kruszywa pozwala na prawidłowy proces kształtowania struktury betonu komórkowego. Zapewnia to optymalne otulenie ziaren kruszywa spoiwem, stwarzając warunki możliwe do całkowitego przereagowania spoiwa z kruszywem i w rezultacie uzyskania wysokiej jakości gotowego wyrobu. Poprzez zwiększenie przemiału surowców wyraźnie zmniejszono w tworzywie udział najdrobniejszych porów o średnicy <107Å. Zależności te świadczą o tym, że wzrost rozdrobnienia surowców wpływa na rozwinięcie powierzchni nowo powstałych faz uwodnionych krzemianów wapnia, a więc na ilość przereagowania surowców. Uziarnienie spoiwa i kruszywa wpływa również na właściwości reologiczne świeżej masy. W miarę zbliżania się uziarnienia do wartości optymalnych zwiększa się lepkość i zmniejsza skurcz masy betonu komórkowego podczas jej wstępnego wiązania.

Poza zwiększonym rozdrobnieniem surowców, w ramach innych zabiegów technologicznych mogących ułatwić produkcję betonu komórkowego lekkich odmian zmniejszono odpowiednio ilość wapna w recepturze. Dla osiągnięcia prawidłowego efektu procesu wyrastania i wstępnego wiązania masy betonu komórkowego (szczególnie lekkich odmian), bardzo ważnym, poza łącznym czasem gaszenia wapna, jest przebieg przyrostu temperatury, a szczególnie czas osiągnięcia 55-60°C. Przy takiej temperaturze lepkość masy betonu komórkowego osiąga taki stan, przy którym dalsze swobodne wyrastanie staje się praktycznie niemożliwe. W związku z tym, gdy temperatura zostanie osiągnięta, występują zaburzenia technologiczne objawiające się powierzchniowym „gotowaniem” odlewów, a następnie ich nadmiernym osiadaniem deformującym strukturę. Przy lekkich odmianach ABK nie pozwala to wręcz na utrzymanie się masy betonu na wymaganej wysokości.

Po analizie wyników prób laboratoryjnych otrzymywanych betonów, przeprowadzono na wybranych najlepszych recepturach pró-



Rys. 1. Masy betonu komórkowego w trakcie krojenia, przed autoklawizacją – skala półtechniczna

by w skali półtechnicznej (rys.1). Próby technologiczne prowadzono w formach o wymiarach 144x72x60 cm.

2.2 Wyniki badań

Po procesie autoklawizacji masy betonowej pobrano próbki do oznaczenia gęstości wg normy PN-EN 772-13:2001, wytrzymałości na ściskanie wg normy PN-EN 772-1+A1:2015-10 i przewodności cieplnej PN ISO 8301:1998 (tab.2 i tab.3).

3. Podsumowanie

Przeprowadzone badania i przytoczone powyżej wyniki potwierdziły możliwość zastosowania w technologii ABK popiołów wapiennych. Na podstawie przeprowadzonych prób technologicznych stwierdzono możliwość zastąpienia 40% tradycyjnych popiołów krzemionkowych popiołami wapiennymi. Dzięki zastosowaniu wapiennych popiołów frakcjonowanych w recepturach betonu komórkowego można zmniejszyć ilość wapna około 20% w stosunku do receptury bazowej. Otrzymany beton komórkowy o gęstości około 320 kg/m³ miał wytrzymałość na ściskanie około 2,5 MPa i współczynnik przewodzenia ciepła około 0,075 W/(m×K).

Dotychczasowe wyniki badań wskazują, że celowa jest ich kontynuacja. Większa skala daje inny obraz termiki i lepkości świeżej masy betonu komórkowego. Celowym jest dopracowanie receptur w technologii Unipol (w spoiwie zastosowany dodatkowo cement) celem dalszej poprawy jakości produkowanych elementów. Pomimo iż otrzymane betony komórkowe charakteryzują się dobrymi parametrami fizyko-technicznymi, są mniej odporne na uszkodzenia mechaniczne.

**mgr inż. Ewelina Górecka, dr inż. Katarzyna Łaskawiec,
dr inż. Piotr Gębarowski
Sieć Badawcza Łukasiewicz
Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych**

Literatura

1. Balkovic S., Zapotoczna-Sytek G., Autoklawizowany beton komórkowy. *Technologia. Właściwości. Zastosowanie*, PWN Warszawa 2013.
2. *Materiały Międzynarodowej Konferencji „Popioły z energetyki”* Warszawa, 2008 r.
3. Czarnecki L., Więclawski R. *Materiały Budowlane* nr. 9, p.83, 2005.
4. Zapotoczna-Sytek G. AAC of fly ash in the strategy of sustainable development, 4th International Conference on Autoclaved Aerated Concrete Innovation and Development, p.257, London, 2005.
5. Basu P. *Chemical Engineering Science* vol.54, p.5547, 1999.
6. Łaskawiec K., Zapotoczna-Sytek G., Górka B., Zastosowanie popiołów lotnych ze współspalania węgla kamiennego i biomasy do wytwarzania betonu komórkowego, VI Konferencja Polskiego Towarzystwa Ceramicznego, s.1081, Zakopane, 2007.
7. Zapotoczna-Sytek G., Łaskawiec K., Gębarowski P., Małolepszy J., Szymczak J., *Popioły lotne nowej generacji do produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego*. Monografia. Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Warszawa, 2013.
8. Małolepszy J., Brylicki W., *The Hydraulic and Pozzolan Properties of Waste Products from Fluidized Bed Combustion in Circulation Atmospheric Boiler Turbine*, 14th Int. Baustofftagung IBAUSIL, p. 2043, Weimar, 2000.
9. Zapotoczna-Sytek G., Łaskawiec K., Gębarowski P., Małolepszy J., Szymczak J., *ICiMB, Popioły lotne nowej generacji do produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego*, Monografia, Wydawnictwo Instytut Śląski 2013.
10. *Warunki Techniczne (WT2021)*.
11. Różycka A., Petri M., Łaskawiec K., *Ocena możliwości wykorzystania popiołów wapiennych do produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego: „Materiały Budowlane: konstrukcje, technologie, rynek”, nr 2, p. 42-43. 2013*

Tablica 2. Gęstość i wytrzymałość ABK o gęstość 320 i 380 kg/m³ (zastąpienie w recepturze 40% tradycyjnego popiołu krzemionkowego popiołem wapiennym, zmniejszenie ilości wapna o 20%)

Numer próbki	Średnia gęstość [kg/m ³]	Średnia wytrzymałość [N/mm ²]	Wilgotność [%]
00A	385±10	2,5±0,1	5,0±0,1
01	380±10	2,4±0,1	4,8±0,1
02	380±10	2,6±0,1	5,1±0,1
03	395±10	2,6±0,1	5,0±0,1
00B	320±10	2,7±0,1	6,0±0,1
04	325±10	2,6±0,1	6,8±0,1
05	320±10	2,5±0,1	7,4±0,1
06	325±10	2,4±0,1	7,2±0,1

Tablica 3. Gęstość i współczynnik przewodzenia ciepła ABK o gęstość 320 i 380 kg/m³ (zastąpienie w recepturze 40% tradycyjnego popiołu krzemionkowego popiołem wapiennym, zmniejszenie ilości wapna o 20%)

Numer próbki	Gęstość [kg/m ³]	Współczynnik przewodzenia ciepła „l” [W/(m×K)]
00A	385±10	0,0895±0,001
01	380±10	0,0854±0,001
02	370±10	0,0849±0,001
00B	320±10	0,0796±0,001
05	335±10	0,0766±0,001
06	320±10	0,0744±0,001