
PRACE

**Instytutu Ceramiki
i Materiałów Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Ceramics
and Building Materials

Nr 12

ISSN 1899-3230

Rok VI

Warszawa–Opole 2013

*ALBIN GARBACIK**
*TOMASZ BARAN***

Uwarunkowania formalne i technologiczne produkcji cementów z dodatkiem popiołu lotnego wapiennego

Słowa kluczowe: cement, popiół lotny wapienny, popiół lotny krzemionkowy, właściwości.

Dane przedstawione w niniejszym artykule uwzględniają możliwości stosowania do produkcji cementów popiołu lotnego wapiennego z Elektrowni „Bełchatów”, powstającego w procesie spalania węgla brunatnego. Przedstawiono perspektywy wykorzystania popiołów lotnych wapiennych W do produkcji cementów, jako składnika pucolanowo-hydraulicznego, z uwagi na wymagania stawiane popiołom lotnym wapiennym w aktualnej normie cementowej PN-EN 197-1: 2012 – Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku. Zaprezentowano podstawowe czynniki określające przydatność krajowych popiołów lotnych wapiennych do produkcji cementów powszechnego użytku. Omówiono zasoby i możliwości pozyskiwania popiołu lotnego W, charakterystykę krajowych popiołów lotnych wapiennych, ocenę zgodności dostaw popiołu do cementowni, wytyczne techniczno-technologiczne ich stosowania w procesie produkcji cementów oraz warunki kontroli jakości produkowanych cementów.

1. Wprowadzenie

Popioły lotne wapienne, będące przedmiotem niniejszego artykułu, są produktami spalania węgla brunatnych w zakładach energetyki zawodowej. Skład popiołu i jego właściwości kształtuje w pierwszej kolejności rodzaj spalonego węgla. W zależności od eksploatowanych złóż, zmiany składu chemicznego i fazowego krajowych popiołów lotnych wapiennych są bardzo duże, co obrazuje tabela 1. Obserwuje się bardzo duże wahania zawartości tlenków głównych: krzemionki,

* Dr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie.

** Dr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie.

glinu i wapna, jak również tlenków mogących istotnie kształtować właściwości popiołu lotnego wapiennego, tj. SO_3 , CaO wolnego i MgO .

Dane zawarte w tabeli 1 wskazują, że popiół z Elektrowni „Bełchatów” ma charakter glinokrzemianowo-wapienny. Odmienne, popioły z okręgu PAK z uwagi na dużą zawartość siarki i bardzo niską zawartość glinu, mogą być klasyfikowane jako krzemianowo-wapienno-siarczanowe. Odpowiednio popioły te różnią się składem fazowym, właściwościami pucolanowo-hydraulicznymi, zawartością i specyfiką fazy szklistej oraz innymi właściwościami kształtującymi ich aktywność [11]. Bardzo duża zawartość CaO wolnego i MgO może stwarzać obawy co do stałości objętości cementów i spoiw, produkowanych z udziałem popiołu z okręgu PAK.

Tabela 1

Przeciętny skład chemiczny krajowych popiołów lotnych wapiennych

Składnik	Popiół lotny wapienny	
	popiół z Elektrowni „Bełchatów”*	z okręgu PAK
	zawartość składnika [% masy]	
SiO_2	31,0	41,0
Al_2O_3	20,0	5,5
Fe_2O_3	4,0	5,0
CaO	22,0	26,0
MgO	1,0	5,0
Na_2O	0,15	0,16
K_2O	0,15	0,15
TiO_2	1,5	1,5
SO_3	3,0	6,5
CaO wolne	1,5	7,0
Strata prażenia	2,5	0,5

* Dane z aktualnie prowadzonego monitoringu.

Źródło: Opracowanie własne.

Przedstawiona w niniejszym opracowaniu ocena popiołów lotnych wapiennych, jako składnika cementów powszechnego użytku, oparta jest na obszernych wynikach badań realizowanych w ramach Projektu Strukturalnego pt. „Innowacyjne spoiwa cementowe i betony z wykorzystaniem popiołu lotnego wapiennego” [1–4,6–10]. Projekt ten zgodnie z tytułem dotyczy oceny przydatności popiołu lotnego wapiennego z Elektrowni „Bełchatów” w technologii cementu i betonu. W niniejszym artykule omówiono zasoby i możliwości pozyskiwania tego popiołu w technologii produkcji cementu. Zaproponowano ocenę zgodności do-

staw popiołu lotnego wapiennego z Elektrowni „Bełchatów” do cementowni oraz przedstawiono wstępne wytyczne techniczno-technologiczne produkcji cementów powszechnego użytku z tym popiołem. Założenia w tym zakresie będą weryfikowane w trakcie dalszych prac, a ich rezultatem będzie opracowanie i podanie wytycznych produkcji cementów i ich przydatności do betonu.

2. Charakterystyka i ocena popiołu lotnego wapiennego z Elektrowni „Bełchatów” jako składnika cementu

Z powstających rocznie ok. 2,5 mln ton popiołów lotnych wapiennych w Elektrowni „Bełchatów”, docelowo po uruchomieniu dalszych bloków energetycznych wzrośnie do 3,5 mln ton, wykorzystywana jest bardzo niewielka ilość, niewiele ponad 200 tys. ton (dane z 2010 r. z Elektrowni „Bełchatów”, z okresu intensywnego monitoringu popiołów w ramach przedmiotowego projektu), głównie w drogownictwie. Natomiast popiół ten nie jest do obecnej chwili wykorzystywany do produkcji cementów i spoiw hydraulicznych pomimo możliwości formalnych w tym zakresie (norma PN-EN 197-1 i aprobaty techniczne). Główną przyczyną takiego stanu rzeczy była i jeszcze jest ograniczona wiedza o zaletach i możliwościach wykorzystania tego popiołu jako składnika pucolanowo-hydraulicznego. Uzasadnieniem negatywnym jest stwierdzenie, że jest to materiał niejednorodny i nieprzydatny do produkcji cementów. Natomiast wyniki prac prowadzonych w ramach Projektu Strukturalnego wykazały, że popiół lotny wapienny z Elektrowni „Bełchatów” jako popiół glinokrzemianowo-wapienny wykazuje bardzo dobre właściwości pucolanowo-hydrauliczne, konkurencyjne do dobrych jakościowo popiołów krzemionkowych V [1–8]. Ponadto intensywny monitoring właściwości popiołu lotnego wapiennego wykazał, że zmienność parametrów tych popiołów sukcesywnie maleje, niewątpliwie z uwagi na nowoczesne rozwiązania spalania węgla w Elektrowni „Bełchatów”. Duża zmienność składu chemicznego i cech fizycznych popiołów lotnych wapiennych z Elektrowni „Bełchatów” osiąga wartość nawet poniżej 10–15%, przy dokumentowanych sprzed 5–10 lat nawet kilkudziesięciu procentach. Ostatnie dane wskazują, co należy łączyć z pozytywnymi wynikami prac wykonany w ramach wspomnianego Projektu Strukturalnego, że zainteresowanie tymi popiołami wyraźnie rośnie, tak po stronie odbiorców, jak i potencjalnych dostawców, tj. działu odpopielenia Elektrowni „Bełchatów”, oraz tworzonych podmiotów gospodarczych, których celem jest utylizacja tego materiału.

Przeciętne właściwości popiołu lotnego wapiennego z Elektrowni „Bełchatów” oraz zakres ich zmienności podano w tabeli 2. Stanowią one dokumentację z monitoringu właściwości popiołów lotnych wapiennych, prowadzonych w zakresie

121 prób jednostkowych, jak również dużych partii pobieranych sukcesywnie do prób póltechnicznych i wielkoprzemysłowych.

Tabela 2

*Przeciętne właściwości popiołu lotnego wapiennego W z Elektrowni „Bełchatów”
oraz zakres zmienności tych właściwości [1–3]*

Lp.	Właściwości	Przeciętne wartości	Zakres zmian
1	Zawartość reaktywnego tlenku wapnia (CaO) [% masy]	21	18–28
2	Zawartość reaktywnego dwutlenku krzemu (SiO ₂) [% masy]	31	25–35
3	Zawartość niespalonego węgla [% masy]	1,6	0,8–4,0
4	Zawartość chlorków [% masy]	0,008	ślady do 0,012
5	Stażność objętości [mm]	2	0–5
6	Gęstość objętościowa [kg/m ³]	920	850–1100
7	Miałkość [% masy ziaren powyżej 0,045 mm] wg PN-EN 450-1: 2009	51	35–65
8	Zawartość podstawowych tlenków [% masy]:		
	CaO	24	19–39
	SiO ₂	34	28–48
	Al ₂ O ₃	17	15–24
	MgO	1,1	0,5–2,0
	Fe ₂ O ₃	4	3–6
	Na ₂ O	0,15	0,1–0,4
	K ₂ O	0,17	0,1–0,5
	CaO wolne	2,5	0,5–4,0
9	Zawartość związków siarki [% masy]		
	– siarczany jako SO ₃	3,0	2,5–4,5
	– CaSO ₄	5,1	4,2–7,6
	– siarczki S ²⁻	0,01	0–0,05
	– siarczyny	brak	brak
10	Zawartość sumy chromu, niklu, miedzi, ołowiu, arsenu, cynku [% masy]	0,025	< 0,050
11	Całkowita zawartość chromu [10 ⁻⁴ % masy (ppm)]	130	110–190
12	Zawartość chromu Cr ⁺⁶ [10 ⁻⁴ % masy (ppm)]	0,08	0,05–012
13	Wskaźnik aktywności wg PN-EN 450-1: 2009		
	K ₂₈ – stan dostawy	77	75–91
	K ₉₀ – stan dostawy	81	76–96
	K ₂₈ – miałkość 20%	95	88–105
	K ₉₀ – miałkość 20%	102	98–116
14	Wskaźnik aktywności hydraulicznej wg PN-EN 197-1	3,5	2,5–6,5
15	Współczynniki promieniotwórczości naturalnej:		
	f ₁	0,85	0,8–0,9
	f ₂ , Bq/kg	121	118–136

Dane zawarte w tabeli 2 były podstawą do podanych w artykule warunków produkcji cementów powszechnego użytku, z dodatkiem popiołu lotnego wapiennego z Elektrowni „Bełchatów”. W założeniach tych uwzględniono uwarunkowania formalne oraz rozwiązania techniczno-technologiczne, gwarantujące jakość wyrobu, zgodną z wymaganiami normy PN-EN 197-1, dla cementów powszechnego użytku.

3. Uwarunkowania formalne stosowania popiołu lotnego wapiennego do produkcji cementu i betonu

Europejska norma przedmiotowa PN-EN 197-1 do produkcji cementów powszechnego użytku wymienia 8 składników nieklinkierowych, jako składniki główne i drugorzędne do produkcji 27 odmian cementów, ściśle precyzując ich udział w cementach. Norma podaje również podstawowe wymagania dla tych składników cementu, określając kryteria oceny zgodności dostaw i reżimu technologicznego ich stosowania w cementowniach. W grupie tych dodatków norma cementowa PN-EN 197-1: 2012 wymienia popioły lotne wapienne, podając określone wymagania, co do ich jakości oraz rodzaje cementów do jakich mogą być one zastosowane.

Zgodnie z aktualną normą PN-EN 197-1: 2012 – Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku – dotyczącą cementów powszechnego użytku, popiół lotny wapienny może być składnikiem cementów portlandzkich wieloskładnikowych CEM II, gdzie może stanowić od 6 do 35% składu cementu lub cementów pucolanowych CEM IV, gdzie może stanowić od 11 do 55% składu cementu. Norma ta zezwala na zastosowanie tego materiału w produkcji cementów powszechnego użytku po spełnieniu określonych wymagań, które zostały podane w tabeli 3. Zamieszczono w niej definicje i wymagania popiołów lotnych powszechnego stosowania jako dodatku pucolanowo-hydraulicznego cementów powszechnego użytku.

Tabela 3

Definicje, klasyfikacja i wymagania popiołów do produkcji cementów wg PN EN 197-1

Rodzaj popiołu	Definicja materiału	CaO reaktywne	CaO wolne	SiO ₂ reaktywne	Aktywność hydrauliczna	Straty prażenia. Kategoria
Popiół lotny krzemionkowy V	bardzo drobny pył o kulistych zeszkłonych cząstkach z palenisk węglowych pyłowych o właściwościach pucolanowych	< 10%	< 1,0%	> 25%	-	A) ≤ 5% B) 2-7% C) 4-9%

cd. tab. 3

Rodzaj popiołu	Definicja materiału	CaO reaktywne	CaO wolne	SiO ₂ reaktywne	Aktywność hydrauliczna	Straty prażenia. Kategoria
Popiół lotny wapienny W	bardzo drobny pył z palenisk węglowych pyłowych o właściwościach hydraulicznych i/lub pucolanowych	> 10%	-	> 25%	wytrzymałość zaprawy popiołowej wg PN-EN 197-1 ≥ 10 MPa*	< 5% < 7% < 9%

* Wytrzymałość po 28 dniach zaprawy normowej: 3 części piasku, 1 część popiołu lotnego wapiennego, zawierającego powyżej 15% CaO reaktywnego.

Ź r ó ł o: Opracowanie własne.

Głównym warunkiem dopuszczenia popiołów wapiennych jako składnika cementów powszechnego użytku jest pochodzenie materiału, który musi stanowić produkt spalania węgla w paleniskach opalanych pyłem węglowym. Podstawą klasyfikacji od strony składu chemicznego są: zawartość reaktywnego tlenu wapniowego, zawartość reaktywnego dwutlenku krzemu, zawartość wolnego wapna oraz bardzo ważny parametr, jakim jest zawartość niespalonego węgla. Właściwości pucolanowo-hydrauliczne popiołu odnosi się do minimalnej zawartości reaktywnej krzemionki oraz aktywności hydraulicznej zaprawy popiołowej 1:3 (tab. 3). Elementem klasyfikacji popiołu lotnego wapiennego W z uwagi na zawartość reaktywnego tlenu wapniowego jest wyodrębnienie dwóch odmian:

- odmiany zawierającej od 10 do 15% CaO reaktywnego. Wtedy popiół lotny wapienny powinien zawierać co najmniej 25% reaktywnego tlenu krzemu;
- odmiany zawierającej więcej niż 15% CaO reaktywnego. Popiół lotny wapienny po odpowiednim zmieleniu (pozostałość na sicie 40 μm pomiędzy 10 a 30%) powinien osiągnąć po 28 dniach twardnienia wytrzymałość na ścislenie powyżej 10 MPa, metodą badania opisaną w PN-EN 196-1. Zaprawę należy jednak sporządzić tylko ze zmielonego popiołu zamiast cementu.

Stałość objętości oznaczana wg PN-EN 196-3 przy zastosowaniu mieszaniny 30% popiołu i 70% cementu CEM I nie powinna przekraczać 10 mm.

Jeśli zawartość siarczanów (SO₃) w popiele lotnym przekracza dopuszczalną górną granicę zawartości siarczanu w cemencie, należy to uwzględnić przy produkcji cementu przez zmniejszenie ilości dodawanego siarczanu wapnia.

Należy podkreślić, że popiołów lotnych wapiennych nie można stosować według normy PN EN 450-1: 2009 – Popiół lotny do betonu – jako aktywnego dodatku typu II do betonu. Popioły takie dopuszcza natomiast do stosowania do betonu norma amerykańska ASTM C618 oraz norma kanadyjska CAN/CSA-A23.5.

4. Warunki produkcji cementów z popiołem wapiennym W

Podane niżej warunki produkcji cementów z popiołem lotnym wapiennym z Elektrowni „Bełchatów” uwzględniają ogromną dokumentację zebraną w czasie badań prowadzonych w ramach Projektu Strukturalnego pt. „Innowacyjne spoiwa cementowe i betony z wykorzystaniem popiołu lotnego wapiennego”, co do rozwiązań produkcji (system mieszania i system wspólnego mielenia), odmian i rodzajów cementów popiołowych ujętych w normie PN-EN 197-1. Kompleksowe wyniki badań dotyczyły cementów popiołowych produkowanych w skali laboratoryjnej, półtechnicznej i wielkoprzemysłowej.

Określając warunki techniczno-technologiczne produkcji cementów powszechnego użytku z dodatkiem popiołu lotnego wapiennego z Elektrowni „Bełchatów”, uwzględniono uwarunkowania formalne zgodnie z wymaganiami norm.

Definicja popiołu

Popiół lotny wapienny W z Elektrowni „Bełchatów” otrzymywany jest przez elektrostatyczne wytrącanie pylastych cząstek z gazów odlotowych, z palenisk opalanych pyłem węglowym, przy udziale materiałów współspalanych. Jest to bardzo drobny pył mający właściwości pucolanowo-hydrauliczne [5]. **Popiół lotny wapienny z Elektrowni „Bełchatów” spełnia więc wymagania w tym zakresie, podane w normie PN-EN 197-1 (tab. 3).**

Główne tlenki popiołu

Popiół lotny wapienny ze spalania węgla brunatnego w Elektrowni „Bełchatów” składa się zasadniczo z reaktywnego tlenku wapniowego CaO , reaktywnego dwutlenku krzemu SiO_2 i tlenku glinu Al_2O_3 (tab. 2). Pozostałość zawiera Fe_2O_3 i inne związki. **Zawartość podstawowych tlenków w popiele wapiennym jest zgodna z wymaganiami normy.**

Reaktywne wapno i reaktywna krzemionka

Udział reaktywnego tlenku wapnia w popiele lotnym wapiennym z Elektrowni „Bełchatów” wynosi powyżej 10%, a zawartość reaktywnego dwutlenku krzemu powyżej 25%. **Popiół lotny wapienny z Elektrowni „Bełchatów” spełnia wymagania normy co do udziału tych połączeń kształtujących właściwości pucolanowo-hydrauliczne popiołów lotnych wapiennych.**

Właściwości pucolanowo-hydrauliczne

Popiół lotny wapienny z Elektrowni „Bełchatów” charakteryzuje się bardzo złożonym składem fazowym. Oprócz fazy szklistej, popiół ten zawiera znaczne ilości faz krystalicznych. Są to obok kwarcu i gehlenitu, charakterystyczne dla klinkieru portlandzkiego: belit, brownmilleryt, yeelimit oraz glinian trójwapniowy, a więc fazy o właściwościach hydraulicznych.

Podane cechy charakterystyczne składu chemicznego i fazowego popiołu lotnego wapiennego W z Elektrowni „Bełchatów” decydują o tym, że materiał ten wykazuje właściwości pucolanowo-hydrauliczne.

Właściwości hydrauliczne popiołu

Wytrzymałości zapraw 1:3, w których zamiast cementu zastosowano popiół lotny wapienny z Elektrowni „Bełchatów”, osiągają wartości przeciętnie 3,5 MPa. W stosunku do wymagań normy PN-EN 197-1 jest to wartość niższa od wymaganej 10 MPa dla popiołu lotnego wapiennego W, zawierającego powyżej 15% CaO reaktywnego, co wynika ze specyfiki popiołów lotnych wapiennych z Elektrowni „Bełchatów”. Bardzo korzystną aktywność popiołu W z tej elektrowni potwierdzają natomiast wskaźniki K₂₈ i K₉₀, będące podstawowym kryterium oceny aktywności popiołów lotnych krzemionkowych według normy PN-EN 450-1. Jak wspomniano, wskaźniki te są zdecydowanie lepsze niż dla popiołu lotnego krzemionkowego.

Uwzględniając powyższe właściwości popiołu lotnego z Elektrowni „Bełchatów” oraz zapisy normy PN-EN 197-1, można ustalić podstawowe kryteria jakościowe stosowania popiołu lotnego wapiennego Elektrowni „Bełchatów” do produkcji cementów powszechnego użytku (zob. tab. 4).

T a b e l a 4

*Wymagania dla popiołu lotnego wapiennego W z Elektrowni „Bełchatów”
jako składnika głównego i drugorzędowego cementu*

Lp.	Właściwości	Metoda badania	Wymagania
1	Zawartość tlenku wapnia reaktywnego (CaO) [% masy]	PN-EN 197-1, pkt 3.2	≥ 10,0
2	Zawartość dwutlenku krzemu reaktywnego (SiO ₂) [% masy]	PN-EN 196-2: 2006	≥ 25,0
3	Zawartość niespalonego węgla [% masy]	analiza elementarna TOC wg PN-ISO 10694: 2002	≤ 5,0
4	Zawartość chlorków [% masy]	PN-EN 196-2: 2006	≤ 0,10
5	Stażość objętości [mm]	PN-EN 196-3: 2006	≤ 10*
6	Wilgotność [% masy]	PN-EN 196-2: 2006	≤ 1,0
7	Gęstość objętościowa [kg/m ³]	PN-EN 196-6: 2006	1000 ± 200
8	Wskaźnik aktywności: K ₂₈ K ₉₀	PN-EN 450-1: 2009**	≥ 80 % ≥ 95 %

* Badana zgodnie z PN-EN 196-3 z użyciem mieszaniny 30% masy popiołu i 70% masy cementu CEM I zgodnego z PN-EN 197-1.

** Preparatyka próbki popiołu W do badań wg normy PN-EN 197-1 (popiół domielony do określonej mialkości).

Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

Dane zawarte w tabeli 4 powinny być podstawą warunków dostaw i oceny jakości popiołu lotnego wapiennego z Elektrowni „Bełchatów” do produkcji cementu.

Rozwiązania techniczne produkcji cementów z popiołem lotnym wapiennym

Obszerny materiał doświadczalny, zebrany w ramach Projektu Strukturalnego realizowanego dla popiołów lotnych wapiennych z Elektrowni „Bełchatów”, pozwala na stwierdzenie, że optymalne parametry procesu produkcji cementu i jakości cementu z dodatkiem popiołu lotnego wapiennego z tej elektrowni, gwarantuje system wspólnego mielenia składników, który zapewnia:

- idealną homogenizację składników,
- domielenie i niezwykle skuteczną aktywację popiołu wapiennego W,
- rozwiązuje w dużej mierze problemy gorszych właściwości reologicznych cementów z dodatkiem popiołu W, pojawiające się w produktach w systemie mieszania składników.

Z uwagi na właściwości hydrauliczne popiołów z Elektrowni „Bełchatów” system produkcji cementów powinien uwzględniać stosowanie popiołów suchych w układzie zamkniętym transportu i dozowania pneumatycznego.

Ocena zgodności wyrobów

Zgodnie z wymaganiami norm PN-EN 197-1 i PN-EN 197-2 certyfikacja i ocena zgodności cementów z dodatkiem popiołu lotnego wapiennego z Elektrowni „Bełchatów” powinna być realizowana według systemu 1+.

5. Wnioski

Przedstawione dane z badań popiołu lotnego wapiennego W z Elektrowni „Bełchatów”, wykonane w ramach Projektu Strukturalnego pt. „Innowacyjne spoiwa cementowe i betony z wykorzystaniem popiołu lotnego wapiennego”, pod kątem ich przydatności jako składnika głównego cementów powszechnego użytku, pozwalają na następujące stwierdzenia:

- uzyskane wyniki badań potwierdzają przydatność popiołu wapiennego W w technologii produkcji cementów powszechnego użytku;
- właściwości pucolanowo-hydrauliczne popiołu wapiennego z Elektrowni „Bełchatów” powinny być oceniane zarówno poprzez określenie zawartości reaktywnej krzemionki i określenie wskaźników aktywności K₂₈ i K₉₀, badane jak dla popiołu lotnego krzemionkowego, zgodnie z normą PN-EN 450-1: 2009
- Popiół lotny do betonu;
- zależności te potwierdzają badania cementów z dodatkiem popiołów W, które wykazują bardzo duże przyrosty wytrzymałości po długim okresie twardnienia

po 90 dniach i dłuższym, korzystniejszy niż dla dobrej jakości popiołu lotnego krzemionkowego.

Obecnie prowadzone są badania nad określeniem optymalnej ilości popiołu lotnego wapiennego w cementach, co jest istotne z uwagi na wprowadzenie do technologii cementu nowego popiołu o odmiennych właściwościach, w porównaniu do stosowanego na szeroką skalę popiołu lotnego krzemionkowego V*.

Literatura

- [1] G a r b a c i k A., Raport z zadania 2 Projektu Strukturalnego PO IG 01.01.02.-24-005/09 „Zmienność jakości popiołów i ich przydatności z uwagi na wymagania technologii cementu i betonu”, Kraków 2010, <http://www.smconcrete.polsl.pl/raporty> (8.12.2012).
- [2] G a r b a c i k A., Zmienność jakości popiołów i ich przydatności z uwagi na wymagania technologii cementu i betonu. Raport z zadania 2 Projektu Strukturalnego PO IG 01.01.02.-24-005/09, Kraków 2010, www.smconcrete.polsl.pl (8.12.2012).
- [3] G a r b a c i k A., *Właściwości fizyczne i chemiczne popiołów W oraz ocena ich zmienności*, [w:] *Popioły lotne wapienne w technologii cementu*, Kraków 2011, www.smconcrete.polsl.pl/raporty (8.12.2012).
- [4] B a r a n T., H a w r o t K., Ż a k A., *Wymagania stawiane popiołom lotnym wapiennym w istniejących normach i aprobatkach technicznych*, [w:] *Popioły z energetyki*, Warszawa, 24–26 października 2010 r., red. T. Szczygielski, Ekotech Sp. z o.o., Szczecin 2010, s. 93.
- [5] G i e r g i c z n y Z., *Rola popiołów lotnych wapiennych i krzemionkowych w kształtowaniu właściwości współczesnych spoiw budowlanych i tworzyw cementowych*, Politechnika Krakowska, Kraków 2006.
- [6] G i e r g i c z n y Z., G a r b a c i k A., B a r a n T., *Popioły lotne wapienne jako składnik pucolanowo-hydrauliczny cementów i aktywny dodatek do betonu*, [w:] *Energia i środowisko w technologiach materiałów budowlanych, ceramicznych, szklarskich i ogniotrwałych*. Praca zbiorowa pod red. J. Dudy, K. Szamałka, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Warszawa–Opole 2010, s. 186–200.
- [7] G a r b a c i k A., B a r a n T., P i c h n i a r c z y k P., *Charakterystyka krajowych popiołów lotnych wapiennych ze spalania węgla brunatnego*, [w:] *Energia i środowisko w technologiach materiałów budowlanych, ceramicznych, szklarskich i ogniotrwałych*. Praca zbiorowa pod red. J. Dudy, K. Szamałka, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Warszawa–Opole 2010, s. 201–214.
- [8] G i e r g i c z n y Z. i in., Raport z zadania 3 Projektu Strukturalnego PO IG 01.01.02.-24-005/09 „Możliwości aktywności fizykochemicznej właściwości pucolanowo-hydraulicznych popiołów lotnych wapiennych”, Gliwice–Kraków 2011, <http://www.smconcrete.polsl.pl/raporty> (8.12.2012).
- [9] G i e r g i c z n y Z., G a r b a c i k A., D r o ż d ż W., *Synergic effect of non-clinkier constituents in Portland composite cements*, [w:] *Cementing a Sustainable Future. XIII International*

* Praca była współfinansowana ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, nr projektu POIG.01.01.02-24-005/09 – Innowacyjne spoiwa cementowe i betony z wykorzystaniem popiołu lotnego wapiennego.

Congress on The Chemistry of Cement, ed. A. Palomo, A. Zaragoza, J.C.L. Aquí, The Chemistry of Cement, Madrid 2011, s. 49.

[10] D r o ż d ź W., G i e r g i c z n y Z., *Wpływ popiołu lotnego wapiennego W na przebieg korozji alkalicznej w betonie*, [w:] *Popioły z energetyki, Zakopane, 19–21 października 2011 r.*, red. T. Szczygielski, Ekotech, Szczecin [2011], s. 143.

[11] O s t r o w s k i M., G a w l i c k i M., *Aktywność hydrauliczna wapiennych popiołów lotnych z Elektrowni „Bełchatów” jako składnika cementów powszechnego użytku*, „Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych” 2012, nr 11, s. 66–75.

ALBIN GARBACIK
TOMASZ BARAN

FORMAL AND TECHNOLOGICAL CONDITIONS OF CEMENTS PRODUCTION WITH CALCAREOUS FLY ASH ADDITION

Keywords: cement, calcareous fly ash, siliceous fly ash, properties.

Presented results characterize application possibilities of calcareous fly ash from lignite combustion process in Bełchatów Power Plant in the cement production. In the paper complete application possibilities of calcareous fly ash in the common cement production technology, regarding requirements included in actual PN-EN 197-1: 2012 Standard, are presented. Basic factors, which characterize domestic calcareous fly ash usefulness in cement production were given. Resources and characteristics of domestic calcareous fly ash are discussed. Tasks included in the article cover also conformity criteria, technical and technological guidelines of this fly ash type use in the cement production process and quality control conditions of manufactured cements.