

---

***PRACE***

**Instytutu Ceramiki  
i Materiałów Budowlanych**

---

***Scientific Works***  
of Institute of Ceramics  
and Construction Materials

---

**Nr 7**

ISSN 1899-3230

**Rok IV**

**Warszawa–Opole 2011**

---

# Badania reakcji alkalicznej ASR w betonie z cementów z popiołem lotnym wapiennym

## Część 1\*\*

Od roku 2009 w ramach projektu strukturalnego Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka „Innowacyjne spoiwa cementowe i betony z wykorzystaniem popiołu lotnego wapiennego” prowadzony jest program badawczy dotyczący możliwości wykorzystania krajowych zasobów popiołów lotnych wapiennych w polskim przemyśle cementowym i betonowym. W artykule zaprezentowano wstępne wyniki badań realizowanych w projekcie, które dotyczą badań korozji alkalicznej ASR betonu z cementów z dodatkiem mineralnym popiołu lotnego wapiennego. Przedstawiono wyniki badań cementów z różnym udziałem popiołu lotnego wapiennego w cementach według normy cementowej PN-EN 197-1. Niniejszy artykuł obejmuje omówienie metod badania reakcji ASR oraz wstępne wyniki pomiarów ekspansji alkalicznej w betonie z cementów z popiołem lotnym wapiennym.

## 1. Wstęp

Na przełomie kilkudziesięciu ostatnich lat, głównie w USA, Kanadzie oraz w Niemczech, zanotowano bardzo wiele przypadków niszczącego efektu reakcji chemicznych przebiegających w betonie pomiędzy kruszywem i zaczynem cementowym [1]. Ten proces destrukcji betonu wiązany jest z reakcją alkaliów z reaktywnym kruszywem ASR (z ang. *alkali silica reaction*) [2]. Uważa się, że główną rolę w procesach ASR mają jony sodu i potasu pochodzące z portlandzkiego klinkieru cementowego – spoiwa w betonie. Alkalia mogą być dostarczane również przez inne składniki cementu i betonu, takie jak dodatki mineralne,

---

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

\*\* Praca współfinansowana przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, jako projekt strukturalny PO IG 01.01.02.-24-005/09 „Innowacyjne spoiwa cementowe i betony z wykorzystaniem popiołu lotnego wapiennego”, realizowany przez konsorcjum: Politechnikę Śląską w Gliwicach – lider, Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie oraz Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie.

kruszywa zawierające znaczne ilości aktywnych alkaliów oraz alkalia z oddziaływania środowiska zewnętrznego.

Reakcja alkaliczna ASR w betonie prowadzi do ekspansji, powodując w konsekwencji pęknięcie i destrukcję konstrukcji betonowej (ryc. 1).



Ryc. 1. Plac parkingowy  
– pęknięcia wywołane reakcją ASR [1]

Według B. Mather „Każde kruszywo jest alkalicznie reaktywne: kruszywa różnią się jedynie rodzajem reakcji, jej stopniem i tempem” [3]. Szczególną podatność na reakcję ASR wykazują kruszywa zawierające reaktywne formy krzemionki, takie jak bezpostaciowy opal, włóknisty lub kryptokrystaliczny chalcedon, trydymit, krystobalit czy kwarc w stanie naprężeń [2, 4–5].

Ze względu na obszerną tematykę reakcja ASR nadal pozostaje otwartym problemem, który jest regularnie omawiany na międzynarodowych konferencjach poświęconych tylko temu zagadnieniu (ostatnia trzynasta odbyła się w czerwcu 2008 r. w Trondheim) [6]. Badania reakcji alkaliów z kruszywem obejmują kwestie przebiegu i mechanizmu reakcji ASR z uwzględnieniem oddziaływania reaktywne kruszywo – alkaliczność cementów w betonie. Równolegle oceniana jest przydatność bezpośrednich metod badania destrukcyjnego oddziaływania reakcji ASR na beton.

Jednym z ważnych problemów badawczych dotyczących reakcji ASR jest określenie wpływu dodatków mineralnych w cemencie i/lub betonie granulowanego żużla wielkopieczowego oraz popiołu lotnego krzemionkowego na kształtowanie ekspansji alkalicznej [7–9]. Istnieje kilka hipotez tłumaczących korzystną rolę tych dodatków mineralnych na wyeliminowanie nadmiernej ekspansji, nawet w obecności kruszyw o dużej reaktywności alkalicznej. Jedną z nich zakłada powstawanie większych ilości fazy C-S-H wypełniającej pory jako produkt reakcji pucolanowej, a tym samym zwiększenie szczelności betonu i ograniczenie ruchliwości jonów [10]. Kolejne hipotezy dotyczą uwarunkowań chemicznych

związanych ze zmniejszeniem zawartości wodorotlenku wapnia w hydratych cementów z dodatkami hydrauliczno-pucolanowymi oraz obniżenia zawartości alkaliów [7, 11–12]. W analizie problemu oddziaływania alkaliów w fazie ciekłej bardzo ważnym zagadnieniem jest uwzględnienie proporcji całkowitej zawartości alkaliów do dostępnych alkaliów (inaczej zwanych reaktywnymi, czynnymi, wymywalnymi) z cementu, kształtujących stężenie jonów hydroksylowych  $[\text{OH}]^-$  w cieczy porowej zaczynu oraz przebieg reakcji ASR. Publikuje się wiele badań i poglądów na temat alkaliów pochodzących z różnych cementów i dodatków mineralnych [13–15].

Procesy destrukcji konstrukcji betonowej w wyniku reakcji ASR są bardzo powolne i zazwyczaj pojawiają się po kilku, kilkunastu latach. Odpowiednio obok przyspieszonych metod z agresywnym oddziaływaniem zewnętrznego środowiska alkalicznego i podwyższonej temperatury [16] stosuje się długoterminowe procedury badania reakcji ASR.

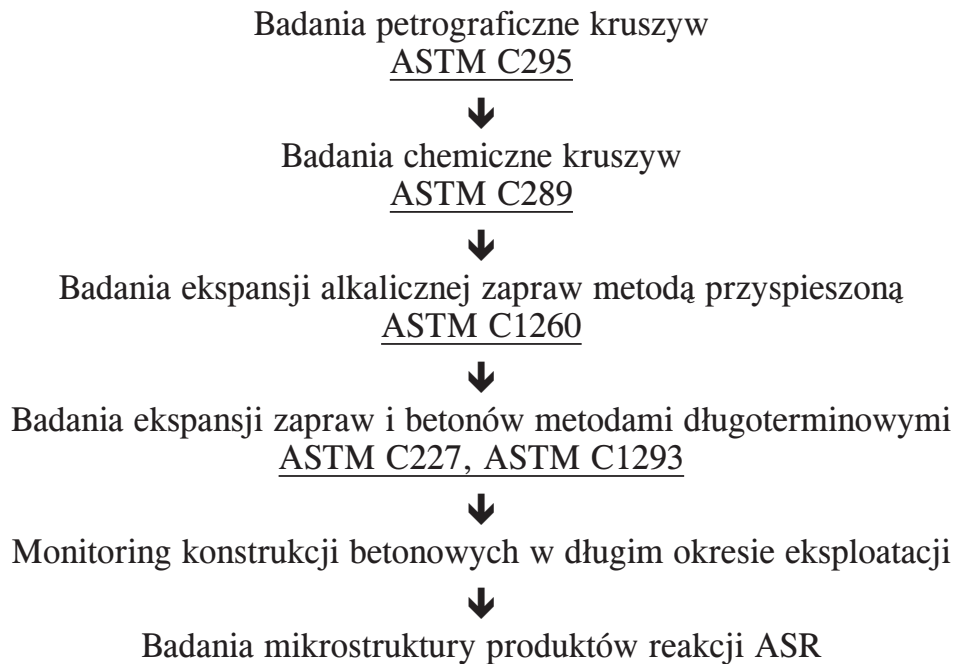
W niniejszym artykule omówione zagadnienia reakcji ASR analizowano w odniesieniu do oceny oddziaływania procesów kruszywo reaktywne – spoiwo cementowe, uwzględniając cementy z udziałem popiołu lotnego wapiennego W. Ten rodzaj popiołu, jako składnik pucolanowo-hydrauliczny cementów, w odróżnieniu od popiołów krzemionkowych jest mało poznany w kształtowaniu reakcji ASR. Właściwości cementów z popiołem lotnym wapiennym W porównywano z cementami zawierającymi powszechnie stosowane w technologii cementu dodatki: popiół lotny krzemionkowy V, mielony, granulowany żużel wielkopiecowy S oraz wapień LL. Odporność na reakcję alkaliczną tych cementów badano stosując kruszywo o potencjalnie bardzo wysokiej reaktywności, pochodzące z północnych regionów Niemiec. W przedstawionej pierwszej części podano wyniki badań reakcji ASR przyspieszoną metodą pomiarów ekspansji zapraw z cementów portlandzkich popiołowych oraz wieloskładnikowych z udziałem popiołu lotnego wapiennego W przy ekspozycji próbek badawczych w 1N NaOH oraz w temperaturze 80°C. Badania długoterminowe będą przedmiotem publikacji w następnych numerach „Prac Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych”.

## 2. Część badawcza

### 2.1. Metody i materiały do badań

Zgodnie z założeniem programu badań do oceny odporności na reakcję alkaliczną cementów z dodatkiem popiołu lotnego wapiennego zastosowano procedury badawcze opisane w normach ASTM. Normy te są stosowane w badaniach poznawczych, ocenie reaktywności kruszyw oraz alkaliczności cementów w Oddziale Szklania i Materiałów Budowlanych w Krakowie [17–18]. Amerykańskie

normy precyzują wiele komplementarnych metod do oceny kruszywa i cementów z uwagi na przebieg reakcji ASR. Są to:



W omawianym programie badań cementów z dodatkiem popiołów lotnych wapiennych zastosowano następujące metody badania reakcji alkalicznej ASR:

- procedurę oceny reaktywności kruszywa zastosowanego do badań cementów – ASTM C289 – metoda chemiczna [19];
- przyspieszoną metodę badania ekspansji zapraw z kruszywem reaktywnym i cementami wieloskładnikowymi z popiołem lotnym wapiennym – ASTM C1260 [16];
- długoterminową metodę badania ekspansji zapraw z kruszywem reaktywnym i cementami wieloskładnikowymi z popiołem lotnym wapiennym – ASTM C227 [20];
- długoterminową metodę badania ekspansji betonów z kruszywem reaktywnym i cementami wieloskładnikowymi z popiołem lotnym wapiennym – ASTM C1293 [21].

### **Kruszywo**

Do badań zastosowano kruszywo o potencjalnie bardzo wysokiej reaktywności, pochodzące z północnych regionów Niemiec. Reaktywność kruszywa zastosowanego do badań sprawdzono według procedury ASTM C289, polegającej na określeniu obniżenia alkaliczności  $R_c$  roztworu NaOH o znanym stężeniu, którym zadano kruszywo o frakcji 150–300  $\mu\text{m}$ , w temperaturze 80°C oraz wyznaczeniu ilości rozpuszczalnej krzemionki  $S_c$  z kruszywa.

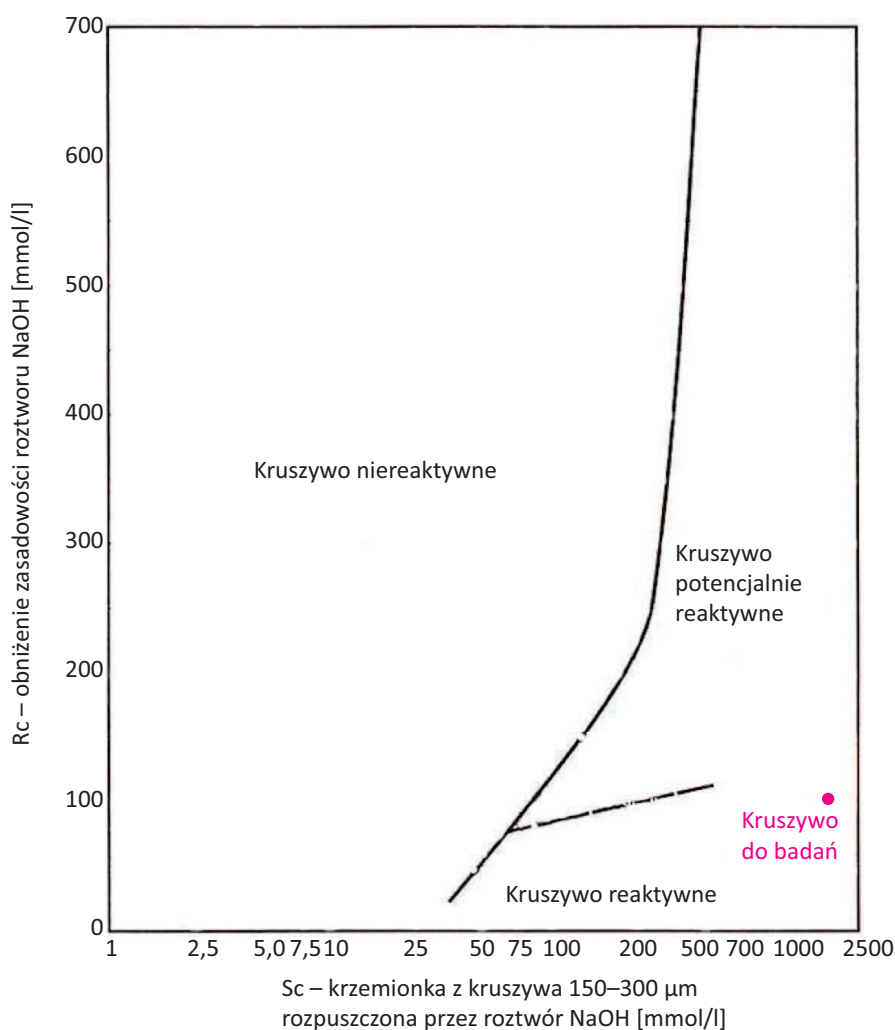
Interpretacja wyników badań z uwagi na potencjalną reaktywność kruszywa uwzględnia usytuowanie punktów pomiarowych  $S_c/R_c$  w obszarach diagramu podanych na rycinie 2. Wynik badania kruszywa zastosowanego w pracy zaznaczono na diagramie kolorem czerwonym dla punktu  $S_c$  1981/ $R_c$  95 (ryc. 2). Oznacza to, że zgodnie z założeniem zastosowano kruszywo o potencjalnie bardzo dużej reaktywności. Badania składu chemicznego i fazowego wykazały, że jest to kruszywo naturalne żwirowe, krzemionkowo-węglanowe (tab. 1, ryc. 3).

Tabela 1

Skład chemiczny kruszywa do badań

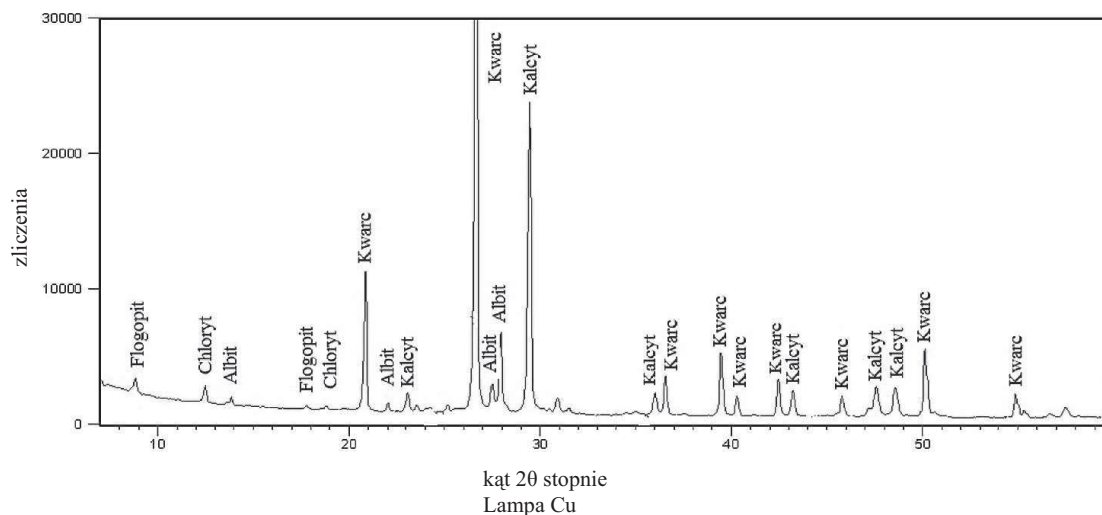
Właściwość	Strata prażenia	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
Udział [% masy]	12,64	62,87	1,65	3,85	16,05	0,90	0,06	0,75	0,88

Źródło: Opracowanie własne.



Źródło: Opracowanie własne.

Ryc. 2. Kryteria oceny reaktywności kruszywa w stosunku do alkaliów na podstawie testu chemicznego wg ASTM C289 (wynik dla badanego kruszywa zaznaczono kolorem czerwonym)

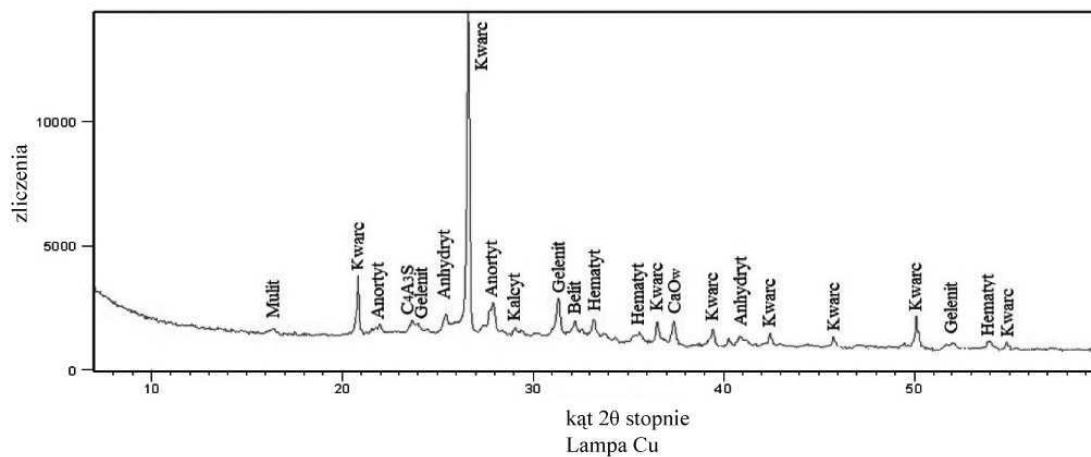


Źródło: Jak w ryc. 2.

Ryc. 3. Dyfraktogram kruszywa zastosowanego do badań

### Popiół lotny wapienny

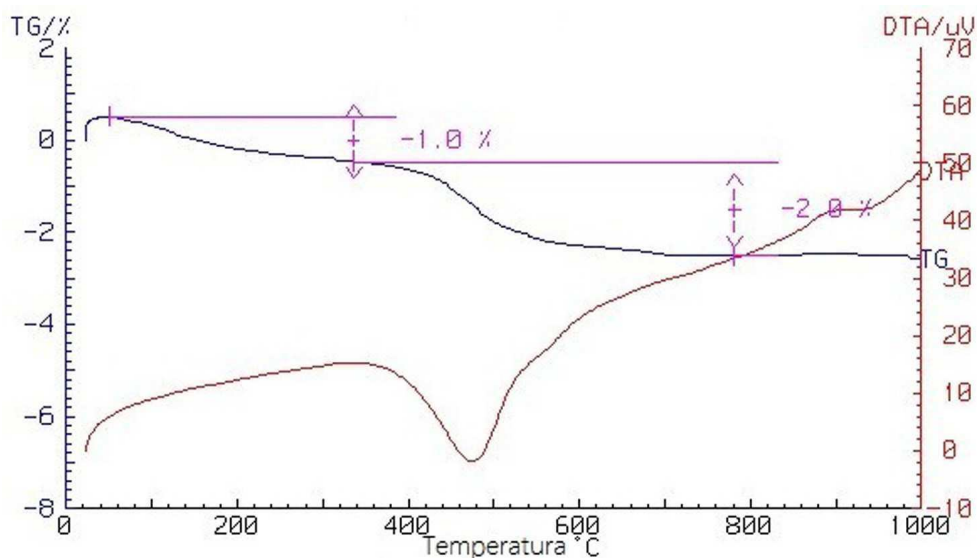
Do badań stosowano popiół lotny wapienny W powstający w Elektrowni „Bełchatów” ze spalania węgla brunatnego. Popiół ten jest przedmiotem obszer-nych badań dokumentujących przydatność tego materiału w technologii cementu i betonu. Badana partia popiołu charakteryzowała się przeciętnym składem chemicznym i fazowym (tab. 2, ryc. 4–5).



Źródło: Jak w ryc. 2.

Ryc. 4. Dyfraktogram popiołu lotnego wapiennego W zastosowanego do badań





Ź r ó d ł o: Jak w ryc. 2.

Ryc. 5. Termogram popiołu lotnego wapiennego W zastosowanego do badań (ubytek masy 2,0% i egzotermiczny efekt z maksimum 440°C odpowiadają procesowi spalania węgla)

## Cementy

Badania ekspansji prowadzono dla cementów wymienianych w normie cementowej PN-EN 197-1 [22]:

- cementu portlandzkiego popiołowego CEM II/A-W z popiołem lotnym wapiennym W;
- cementu portlandzkiego popiołowego CEM II/B-W z popiołem lotnym wapiennym W;
- cementu pucolanowego CEM IV/B-W z popiołem lotnym wapiennym W;
- cementu portlandzkiego wieloskładnikowego CEM II/B-M (V-W) z popiołem lotnym krzemionkowym V oraz popiołem lotnym wapiennym W;
- cementu portlandzkiego wieloskładnikowego CEM II/B-M (S-W) z mielonym, granulowanym żużłem wielkopieczowym S oraz popiołem lotnym wapiennym W;
- cementu portlandzkiego wieloskładnikowego CEM II/B-M (LL-W) z wapieniem LL oraz popiołem lotnym wapiennym W.

Jako cement do oceny reaktywności kruszywa zastosowano przemysłowy cement portlandzki CEM I 42,5R o wysokiej zawartości alkaliów, ekwiwalent  $\text{Na}_2\text{O}_e$  równy 1,1%.

Cementy z dodatkami mineralnymi produkowano na drodze wspólnego przemianu, wykorzystując kulowy młynek laboratoryjny. Klinkier portlandzki mielono



z dodatkami oraz regulatorem czasu wiązania do stałej powierzchni 4200 cm<sup>2</sup>/g według Blaine’a. Dodatek gipsu dobrano dla stałej zawartości SO<sub>3</sub> 3,15% masy cementu. Właściwości cementu wysokoalkalicznego CEM I 42,5R oraz składników do produkcji cementów zestawiono w tabeli 2, a składy poszczególnych cementów podano w tabeli 3.

Tabela 2

Charakterystyka materiałów zastosowanych do badań

Właściwość	CEM I 42,5R*	Klinkier portlandzki	Popiół lotny wapienny W	Popiół lotny krzemionkowy V	Mielony żużel wielkopiecowy S	Wapień LL
	skład chemiczny [udział, % masy]					
Strata prażenia	2,28	0,40	2,67	2,31	1,06	34,20
SiO <sub>2</sub>	18,46	22,73	45,17	53,54	36,46	15,94
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,17	4,88	20,79	26,64	6,79	5,14
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,49	2,43	4,58	5,75	1,21	1,87
CaO	62,98	66,68	20,60	2,91	45,79	40,86
MgO	1,68	1,03	1,49	2,68	5,16	0,61
SO <sub>3</sub>	3,63	0,42	2,50	0,23	2,09	0,07
Na <sub>2</sub> O	0,25	0,22	0,23	0,84	0,53	0,00
K <sub>2</sub> O	1,26	0,88	0,19	3,31	0,39	0,86
Na <sub>2</sub> O <sub>e</sub>	1,08	0,80	0,36	3,02	0,79	0,57
CaO <sub>wolne</sub>	1,20	0,60	1,20	nb	nb	nb

\*cement wysokoalkaliczny do oceny reaktywności kruszywa.

nb – nie badano.

Źródło: Jak w tab. 1.

Tabela 3

Składy cementów z dodatkami

Cement	Klinkier portlandzki	Popiół lotny wapienny W	Popiół lotny krzemionkowy V	Mielony żużel wielkopiecowy S	Wapień LL	Gips
	[udział składnika, % masy]					
CEM II/A-W	81	14	–	–	–	5
CEM II/B-W	66,5	29	–	–	–	4,5
CEM IV/B-W	48	48	–	–	–	4
CEM II/B-M (V-W)	66	14	14	–	–	6
CEM II/B-M (S-W)	66	14	–	14	–	6
CEM II/B-M (LL-W)	66	14	–	–	14	6

Źródło: Jak w tab. 1.

## Metody badania ekspansji alkalicznej cementu

Jak wspomniano, niniejszy artykuł dotyczy badania reakcji alkalicznej ASR według przyspieszonej metody ASTM C1260 [16], która polega na pomiarze zmian liniowych beleczek zaprawy przechowywanych w roztworze 1N NaOH w temperaturze 80°C. Miarą reaktywności alkalicznej kruszywa lub braku odporności alkalicznej cementu jest ekspansja zaprawy po 14 dniach ekspozycji w roztworze NaOH powyżej 0,1%. Warunki realizacji pomiarów według ASTM C1260 zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4

Charakterystyka metody badawczej ASTM C1260

Wielkość próbek	25 x 25 x 285 mm	
Warunki laboratoryjne	20–26°C RH ≥ 50%	
Temperatura wody zarobowej	23±1,7°C	
Rodzaj cementu	wg ASTM C 150	
Uziarnienie kruszywa	frakcja [mm]	zawartość [%]
	2,36–4,75	10
	1,18–2,36	25
	0,6–1,18	25
	0,3–0,6	25
	0,15–0,3	15
Potrzebna ilość wody	w/c = 0,47	
Czas mieszania zaprawy i formowania	formowanie w dwóch warstwach w czasie 2 i 1/4 min	
Warunki i czas dojrzewania do rozformowania	23±2°C, RH ≥ 95% 24±2h	
Warunki bezpośrednio po rozformowaniu	umieszczone w pojemniku w wodzie o temperaturze pokojowej i przeniesione do 80°C na 24 h	
Objętość roztworu NaOH do objętości próbek	4±0,5 razy objętość beleczek	
Warunki przechowywania	1 N NaOH i 80±2°C	
Częstość pomiarów	co najmniej 3 w okresie 14 dni	
Okres przechowywania w NaOH	14 dni	
Kryterium oceny	ekspansja < 0,1%	

Źródło: Jak w tab. 1.

## 2.2. Wyniki badań i dyskusja

Wyniki pomiarów ekspansji badanych cementów – cementu odniesienia i cementów z dodatkami – zawierających popiół lotny wapienny zestawiono w tabeli 5. Podano tam wartości ekspansji zapraw dojrzewających w 1N NaOH w tem-

peraturze 80°C dla 6 pomiarów w okresie do 14 dni ekspozycji. Graficznie zależność ekspansji w funkcji czasu ekspozycji przedstawiono na rycinie 6, na której czerwoną linią ciągłą zaznaczono kryterium oceny odporności zaprawy na destrukcyjne oddziaływanie reakcji ASR, tj. wartość ekspansji 0,1% po 14 dniach ekspozycji. Wartości powyżej 0,1% wskazują na możliwość destrukcyjnych skutków reakcji alkalicznej w konstrukcji betonowej. Wartości poniżej 0,1% odnoszone są do braku oddziaływań niszczących reakcji ASR w betonie.

Przedstawione wyniki badań świadczą o tym, że popiół lotny wapienny Elektrowni „Bełchatów” ze spalania węgla brunatnego, zastosowany jako dodatek pucolanowo-hydrauliczny do cementu, korzystnie kształtuje reakcję alkaliczną ASR. Z danych zawartych w tabeli 5 oraz na rycinie 6 wynika, że wzrost zawartości tego składnika w cementach wyraźnie obniża ekspansję zapraw wykonanych z kruszywa o potwierdzonej bardzo wysokiej reaktywności metodą chemiczną (ryc. 2). Reaktywność kruszywa została również wykazana metodą bezpośrednią pomiarów ekspansji zaprawy z cementu wysokoalkalicznego CEM I 42,5R, zawierającego 1,1%  $\text{Na}_2\text{O}_e$ .

W porównaniu do 14-dniowej ekspansji cementu wysokoalkalicznego CEM I 42,5R wynoszącej 0,32%, cementy zawierające 14%, 29% i 48% popiołu W wykazały ekspansję alkaliczną wynoszącą odpowiednio: 0,24%, 0,09% oraz 0,02%. Wyniki takie wskazują na wyraźną zależność obniżenia wartości ekspansji ze wzrastającym dodatkiem popiołu lotnego wapiennego W. Zależność ta będzie sprawdzana z uwzględnieniem komplementarnych metod opisanych uprzednio w podrozdziale 2.1.

Wartość ekspansji cementów CEM II/B-M z dodatkiem 28% popiołu lotnego wapiennego w proporcji 1:1 z popiołem lotnym krzemionkowym, żużlem wielkopieczowym lub wapieniem wynosiła odpowiednio: 0,03%, 0,18% i 0,23%. Takie wartości potwierdzają bardzo korzystny wpływ popiołu krzemionkowego na wartość ekspansji alkalicznej. Dodatek żużla 14% w kompozycji z popiołem lotnym wapiennym nie zapewnia granicy 0,1% ekspansji. Wartość ekspansji cementu z dodatkiem wapienia potwierdza inertny udział tego składnika w kształtowaniu ekspansji alkalicznej. W porównaniu do ekspansji alkalicznej 0,09% cementu CEM II/B-W cement zawierający 14% popiołu W i 14% wapienia LL wykazał ekspansję 0,23%, a więc znacznie powyżej kryterium oceny 0,1%.

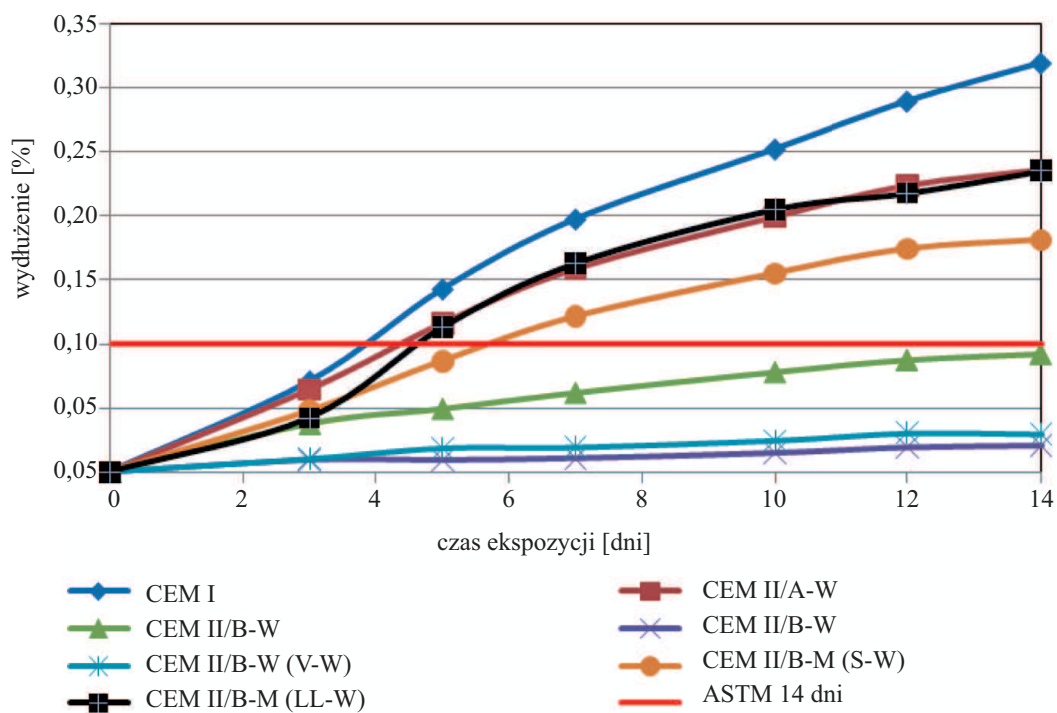
Dla wszystkich próbek badawczych notowane wartości ekspansji nie prowadzą do makroskopowych, destrukcyjnych zmian badanych zapraw, nawet dla ekstremalnych wartości ekspansji 0,32% dla cementu wysokoalkalicznego CEM I 42,5R (ryc. 7).

Tabela 5

## Ekspansja zapraw cementowych

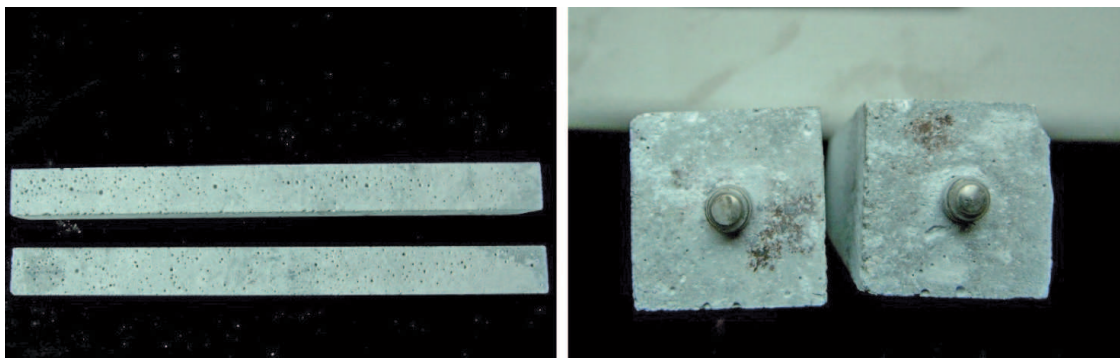
Cement	Wydłużenie belek [%]						
	[czas ekspozycji, dni]						
	0	3	5	7	10	12	14
CEM I	0,00	0,07	0,14	0,20	0,25	0,29	0,32
CEM II/A-W	0,00	0,06	0,12	0,16	0,20	0,22	0,24
CEM II/B-W	0,00	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,09
CEM IV/B-W	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
CEM II/B-M (V-W)	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
CEM II/B-M (S-W)	0,00	0,05	0,09	0,12	0,16	0,17	0,18
CEM II/B-M (LL-W)	0,00	0,04	0,11	0,16	0,20	0,22	0,23

Źródło: Jak w tab. 1.



Źródło: Jak w ryc. 2.

Ryc. 6. Ekspansja zapraw w 1N NaOH w temperaturze 80°C



Źródło: Jak w ryc. 2.

Ryc. 7. Beleczyki z cementu wysokoalkalicznego CEM I 42,5R po 14 dniach przechowywania w 1N NaOH w temperaturze 80°C

### 3. Podsumowanie

Przedstawiony w artykule materiał pozwala na następujące stwierdzenia:

- Według założeń i zapisów norm ASTM do pełnej i miarodajnej oceny reakcji alkalicznej ASR w betonie niezbędne jest zastosowanie wielu komplementarnych metod pośrednich i bezpośrednich, w tym długoterminowych pomiarów ekspansji alkalicznej. Takie założenie przyjęto w programie badawczym przedstawionym w prezentowanym artykule w zakresie oceny oddziaływania na reakcje alkaliczną w betonie dodatku popiołów lotnych wapiennych W.
- Wstępne wyniki badań reakcji ASR przedstawione w niniejszym artykule wskazują na korzystne oddziaływanie dodatku mineralnego popiołu lotnego wapiennego W na wielkość ekspansji alkalicznej.

### Literatura

- [1] Siebel E., History of ASR, European Cement Research Academy, Seminar S04-02, May 26, 2004, maszynopis w posiadaniu autora.
- [2] Schäfer E., Mechanism of ASR, European Cement Research Academy, Seminar S04-02, May 26, 2004, maszynopis w posiadaniu autora.
- [3] Mathers B., *New concern over alkali-aggregate reaction*, [w:] *Symposium on Alkali-Aggregate Reaction. Preventive Measures*, Rannsóknastofnum Byggingaridnadarins Reykjavik 1975, s. 17.
- [4] Kurdowski W., *Chemia cementu*, PWN, Warszawa 1980.
- [5] Gillott J.E., *Alkali-aggregate reaction in concrete*, „Engineering Geology” 1975, Nr. 9, s. 303–326.
- [6] *Proceedings in 13<sup>th</sup> International Conference on „Alkali-Aggregate Reaction”*, ed. M.A.T.M. Broekmans, B.J. Wigum, Trondheim 2008.
- [7] Zhihui L., Xianghui L., Min D., Zhongzi X., Fengyan W., Mingshu T., *A new mechanism of mineral admixture suppressing alkali-silica reaction*, [w:] *Proceedings of the*

- 13<sup>th</sup> International Conference on „Alkali-Aggregate Reaction”, ed. ed. M.A.T.M. Broekmans, B.J. Wigum, Trondheim 2008, s. 226.
- [8] Malvar L.J., Lenke L., Cline G.D., *Use of fly ash in DOD airfield concrete pavements*, [w:] *Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Conference on „Alkali-Aggregate Reaction”*, ed. M.A.T.M. Broekmans, B.J. Wigum, Trondheim 2008, s. 442.
- [9] Schmidt K., Hilbig H., Beddoe R.E., Heinz D., *Prevention of ASR with supplementary cementitious materials – long term pore solution investigations*, [w:] *Proceedings of 13<sup>th</sup> International Conference on „Alkali-Aggregate Reaction”*, ed. M.A.T.M. Broekmans, B.J. Wigum, Trondheim 2008, s. 1176.
- [10] Bakker R.F.M., *About the cause of resistance of blast-furnace cement concrete to the alkali-silica reaction*, [w:] *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on „Alkali-Aggregate Reaction”*, Kapsztad 1981, s. 279.
- [11] Roy D.M., *Mechanisms of cement paste degradation due to chemical and physical factors*, [w:] *8<sup>th</sup> International Congress on the Chemistry of Cement*, Vol. 1, Rio de Janeiro 1986, s. 362.
- [12] Diamond S., *Alkali reaction in concrete – pore solution effect*, [w:] *Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference on „Alkali-Aggregate Reaction”*, Kopenhaga 1983, s. 155.
- [13] Böhm M., Baetzner S., *The effect of the alkalinity of the pore solution on ASR*, [w:] *Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Conference on „Alkali-Aggregate Reaction”*, ed. M.A.T.M. Broekmans, B.J. Wigum, Trondheim 2008, s. 522.
- [14] Leemann A., Lothenbach B., *The Na<sub>2</sub>O-equivalent of cement: A universal parameter to assess the potential alkali-aggregate reactivity of concrete?*, [w:] *Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Conference on „Alkali-Aggregate Reaction”*, ed. M.A.T.M. Broekmans, B.J. Wigum, Trondheim 2008, s. 932.
- [15] Shetha M.H., Thomas M.D.A., *The role of alkali content of Portland cement on the expansion of concrete containing reactive aggregates and supplementary cementing materials*, [w:] *Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Conference on „Alkali-Aggregate Reaction”*, ed. M.A.T.M. Broekmans, B.J. Wigum, Trondheim 2008, s. 1220.
- [16] ASTM C1260-94. Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method).
- [17] Peukert S., Sprawozdanie z projektu badawczego nr 8 T07E 026 20 „Badania odporności nowych rodzajów kruszyw krzemionkowych na reakcję z alkaliami w betonie”, maszynopis w posiadaniu autora.
- [18] Kurdowski W., Sprawozdanie końcowe: Grant nr 5 T07E 040 23 „Wpływ dodatków pucolanowych na ekspansję alkaliczną betonu”, maszynopis w posiadaniu autora.
- [19] ASTM C289-94. Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method).
- [20] ASTM C227-97a. Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method).
- [21] ASTM C1293-95. Standard Test Method for Concrete Aggregates by Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction.
- [22] PN-EN 197-1:2002/A3:2007. Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku.

*WOJCIECH DROŹDŹ*

EXAMINATIONS OF ALKALI-SILICA REACTION ASR IN CONCRETE  
MADE OF CEMENTS WITH CALCAREOUS FLY ASH.  
PART 1

Since 2009 research program for implementation of domestic calcareous fly ash in polish cement industry is carried on under Structural Project. In the paper initial results of one of main Project subjects – alkali corrosion ASR examination of concrete made of cements with calcareous fly ash have been presented. Results of cements with various calcareous fly ash content in cements according to PN-EN 197-1. Standard have been shown. In the article presentation of ASR examination methods and first alkali expansion measurements of mortars made of cements with calcareous fly ash are given.