

*Albin Garbacik
Klaudia Hernik
Grzegorz Adamski
Michał A. Glinicki*

Reaktywność alkaliczna krajowych kruszyw – cele i założenia projektu ASR-RID

ALKALINE REACTIVITY OF DOMESTIC AGGREGATES – THE SCOPE AND OBJECTIVES OF THE ASR-RID PROJECT

Streszczenie

Celem Projektu *Reaktywność alkaliczna krajowych kruszyw*, ASR-RID jest opracowanie wytycznych technicznych projektowania betonów o dużej trwałości, ze szczególnym uwzględnieniem zabezpieczenia przed wystąpieniem uszkodzeń spowodowanych reakcją AAR – *alkali aggregate reaction*, tj. między NaOH i KOH, a reaktywnymi minerałami w kruszywie. Przedmiotem badań są kruszywa ze złóż z różnych regionów Polski. Reaktywność alkaliczna kruszyw jest oznaczana i oceniana przy wykorzystaniu komplementarnych metod, stosowanych w systemach oceny reaktywności kruszyw w wiodących technologicznie krajach. Projekt zakłada opracowanie kryteriów oceny reaktywności kruszyw, z możliwością wykorzystania w systemie kontroli produkcji i ich dostaw na potrzeby wytwarzania betonów drogowych. Opracowane receptury betonów uwzględniać będą możliwość zapobiegania AAR poprzez ograniczenie zawartości czynnych alkaliów, stosowanie cementów NA i dodatków mineralnych wprowadzanych z cementem. Ocena reaktywności będzie zweryfikowana na podstawie ekspansji betonu w warunkach eksploatacyjnych. Przyjmując kryteria oceny zakłada się uwzględnienie doświadczeń krajowych oraz rekomendacji norm ASTM i RILEM zapobiegania reakcji AAR.

Projekt *Reaktywność alkaliczna krajowych kruszyw*, Nr RID-I/37, jest realizowany od stycznia 2016, w ramach programu *Rozwój Innowacji Drogowych (RID)* finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad przez konsorcjum naukowe, ASR-RID, zawiązane pomiędzy Instytutem Ce-

dr inż. Albin Garbacik, prof. ICiMB – Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Oddział Szklą i Materiałów Budowlanych w Krakowie

mgr inż. Klaudia Hernik – Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Oddział Szklą i Materiałów Budowlanych w Krakowie

dr Grzegorz Adamski – Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Oddział Szklą i Materiałów Budowlanych w Krakowie

prof. dr hab. inż. Michał A. Glinicki – Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN w Warszawie

ramiki i Materiałów Budowlanych oraz Instytutem Podstawowych Problemów Techniki PAN. W artykule przedstawiono wstępne wyniki badań reaktywności kruszyw przy wykorzystaniu szybkich metod oceny – metody chemicznej ASTM C 289 oraz metody pomiarów ekspansji zaprawy wg ASTM C 1260.

Abstract

The objective of *The alkaline reactivity of domestic aggregate* project is to develop the technical guidelines for high durability concrete, particularly for damage prevention due to AAR. The investigation covers the range of mineral aggregates originating from various regions of Poland. The alkali reactivity is evaluated using a set of complementary methods used in technologically advanced countries. The criteria for aggregate reactivity categorization and proper selection will be developed including possibility of use in quality control systems for delivery to concrete production for highway pavements and bridges.

Deleterious alkali-aggregate reaction will be also prevented by concrete mix design using a limit of active alkalies and mineral additives introduced with cement. The reactivity evaluation will be verified using the performance test.

The project *The alkaline reactivity of domestic aggregate*, No. RID-I / 37, has been running since January 2016, in the framework of the *Development of Road Innovation* (RID), funded by the National Centre for Research and Development and the Directorate for National Roads and Motorways by the scientific consortium, ASR-RID, agreed between the Institute of Ceramics and Building Materials and the Institute of Fundamental Technological Research. The article presents the preliminary results of aggregates reactivity tests using rapid methods – chemical method acc. to ASTM C 289 and expansion of mortar acc. to ASTM C 1260.

1. Wprowadzenie

Artykuł prezentuje założenia i cele projektu ASR-RID realizowanego w ramach Wspólnego Przedsięwzięcia, Rozwój Innowacji Drogowych (RID), nawiązanego pomiędzy Generalną Dyrekcją Dróg Krajowych i Autostrad, a Narodowym Centrum Badań i Rozwoju w 2014 roku [1]. Przedsięwzięcie ma na celu zrealizowanie i wdrożenie wyników projektów badawczych z zakresu poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego i efektywności systemu zarządzania ruchem, a także opracowywanie optymalnych norm i standardów planowania, projektowania, technologii oraz budowy i eksploatacji dróg w Polsce i jest bezpośrednio związane z Programem Budowy Dróg Krajowych na lata 2014-2023 [2]. Przedsięwzięcie RID podaje 4 Obszary Tematyczne, podzielone na 17 Zagadnień Badawczych, dla których brak jest analitycznych opracowań, wytycznych lub instrukcji do stosowania przy budowie dróg zarządzanych przez GDDKiA. W pierwszym obszarze tematycznym zdefiniowano zagadnienie 1C: „Reaktywność alkaliczna krajowych kruszyw” [3]. Projekt nr RID-I/37 realizowany jest przez konsorcjum naukowe, ASR-RID, zawiązane pomiędzy Instytutem Ceramiki i Materiałów Budowlanych oraz Instytutem Podstawowych Problemów Techniki PAN.

Reakcja pomiędzy wodorotlenkami sodu lub potasu, obecnymi w cieczy porowej betonu, a pewnymi składnikami kruszyw nazywana jest reakcją alkalia-kruszywa (*alkali-aggregate reaction*, AAR). W zależności od rodzaju składników ulegających reakcji wyróżnia się: reakcję alkalia-krzemionka (*alkali silica reaction*, ASR), w której aktywnym składnikiem kruszywa może być krzemionka w formie amorficznej: opal, trydymit, krystobalit, kwaśne szkła wulkaniczne, chalcedon, kwarc kryptokrystaliczny lub w stanie naprężenia w skałach metamorficznych, oraz reakcję alkalia-węglany (*alkali carbonate reaction*, ACR), której występowanie stwierdzono w przypadku niektórych zdolomityzowanych wapieni lub dolomitów.

Problematyka reakcji AAR – pomimo wieloletnich badań nie jest jeszcze do końca wyjaśniona. Opisując mechanizm reakcji AAR uważano, że kruszywo reagując zwiększa swoją objętość, co prowadzi do ekspansji betonu. Obecnie decydujące znaczenie w procesach ekspansji alkalicznej przypisuje się powstawaniu żelu krzemianów sodu i potasu z udziałem jonów wapnia, o nieograniczonym pęcznieniu [4] – ekspansywnych produktów reakcji ASR, lub/i ekspansywnego brucytu – produktu reakcji ACR [5]-[9]. Niezależnie od mechanizmu wywołującego ekspansję pojawienie się naprężeń i pęcznienie betonu wywołane reakcją AAR doprowadzić może do nadmiernej ekspansji i destrukcji konstrukcji betonowych.

Kruszywo nie może być uważane za materiał obojętny, stanowiąc podstawowy składnik mieszanki betonowej. W rzeczywistości właściwości chemiczne i fizyczne kruszywa wpływają na wytrzymałość i trwałość betonu [4]. W Polsce kruszywo do betonu jest oceniane zgodnie z normą PN-EN 12620 „Kruszywa do betonu” [10]. Załącznik informacyjny G do tej normy, wśród czynników kształtujących trwałość betonu, wymienia reaktywność alkaliczno-krzemionkową i podaje środki zaradcze zapobiegające jej negatywnym skutkom: m.in. ograniczenie całkowitej zawartości alkaliów w mieszance betonowej, stosowanie cementu z małą zawartością alkaliów i stosowanie niereaktywnego kruszywa.

Celem Projektu ASR-RID jest opracowanie wytycznych technicznych projektowania betonów o dużej trwałości, ze szczególnym uwzględnieniem zabezpieczenia przed wystąpieniem uszkodzeń spowodowanych reakcją AAR. Przedmiotem badań są kruszywa ze złóż z różnych regionów Polski. Reaktywność alkaliczna kruszyw jest oznaczana i oceniana przy wykorzystaniu komplementarnych metod, stosowanych w systemach

oceny reaktywności kruszyw w wiodących technologicznie krajach europejskich, USA i Kanadzie. Projekt zakłada opracowanie kryteriów oceny reaktywności kruszyw, z możliwością wykorzystania w systemie kontroli produkcji i ich dostaw na potrzeby wytwarzania betonów drogowych. Opracowane receptury betonów uwzględnić będą możliwość zapobiegania AAR poprzez ograniczenie zawartości czynnych alkaliów, stosowanie cementów NA i dodatków mineralnych wprowadzanych z cementem. Ocena reaktywności będzie zweryfikowana na podstawie ekspansji betonu w warunkach eksploatacyjnych. Przyjmując kryteria oceny zakłada się uwzględnienie doświadczeń krajowe oraz rekomendacji norm ASTM oraz RILEM zapobiegania reakcji AAR [11, 12, 13].

Zakładane rezultaty projektu uwzględniają opracowanie krajowych rekomendacji dla zapobiegania destrukcji konstrukcji betonowych w wyniku reakcji AAR, obejmujących między innymi:

- określenie cech charakterystycznych kruszyw będących przedmiotem oceny ich zgodności dla nawierzchni betonowych;
- zdefiniowanie metod badania reaktywności alkalicznej kruszyw w systemie oceny ich zgodności dla nawierzchni betonowych (aktualnie brak takiego systemu w Polsce);
- w zależności od stopnia ryzyka wystąpienia uszkodzeń wynikających z potencjalnej reaktywności kruszywa podanie rozwiązań materiałowych projektowania mieszanki betonowej poprzez ograniczenie zawartości alkaliów czynnych w betonie oraz stosowanie dodatków mineralnych;
- ustalenie możliwości i warunków wykorzystywania grysów z kruszyw żwirowych do projektowania i wykonawstwa nawierzchni betonowych.

Krajowe rekomendacje zapobiegania destrukcji konstrukcji betonowych w wyniku reakcji alkalicznej będą uwzględniać systemy oceny opracowane w ramach programów RILEM, AASHTO, oraz krajów o doświadczeniach w projektowaniu i budowie nawierzchni betonowych: Austria, Niemcy, Czechy.

Celowość podejmowanego problemu wynika z braku rozpoznania w kraju reaktywności alkalicznej produkowanych kruszyw, przy równoczesnym stosowaniu do oceny ich reaktywności metody, która z uwagi na niedoskonałości metodyczne nie powinna być powoływana w deklaracji zgodności producentów [14]. Metoda ta jest mało precyzyjna i zawodzi w wielu przypadkach kruszyw krajowych [15–16]. Ponadto uwzględniając częste uwagi, że każde kruszywo jest potencjalnie reaktywne [16] ustalenie kryterium reaktywności z podaniem metod badań i systemu oceny zgodności z wymaganiami jest sprawą niezwykle ważną i pilną, w świetle analizowanych możliwości rozszerzenia tradycyjnej bazy kruszyw do betonu [17].

2. Zakres prac w projekcie

Badania i ocena reaktywności alkalicznej kruszyw krajowych są realizowane przy wykorzystaniu kilku komplementarnych metod, stosowanych w systemach oceny reaktywności kruszyw w wiodących technologicznie krajach [11, 12, 13]. Projekt zakłada opracowanie przyspieszonych metod oceny reaktywności kruszyw z możliwością wykorzystania tych metod w systemie kontroli produkcji kruszyw i ich dostaw na potrzeby wytwarzania betonów nawierzchniowych i obiektów infrastruktury drogowej. Opracowane receptury betonów uwzględnić będą możliwość zapobiegania reakcji AAR w betonie, poprzez skuteczne rozwiązania materiałowe eliminujące ekspansję alkaliczną betonu, zwłaszcza

poprzez stosowanie cementu o niskiej zawartości alkaliów czynnych i stosowanie dodatków mineralnych wprowadzanych z cementem.

W związku z rozpoznawaniem reaktywności kruszywa w warunkach laboratoryjnych (podwyższona temperatura, podwyższona sztucznie zawartość alkaliów w betonie lub wysokie stężenie NaOH w środowisku otaczającym beton, ewentualne wymywanie alkaliów, pęcznienie betonu trwale nasączonego...), pozostaje niepewność czy rozpoznanie jest całkowicie adekwatne do rzeczywistych warunków aplikacji kruszywa w betonach na nawierzchnie drogowe i mosty. Dlatego też badana będzie odporność betonu na uszkodzenia wskutek ASR w warunkach oddziaływań eksploatacyjnych, występujących w betonie nawierzchniowym i konstrukcyjnym, co zwiększy niezawodność wykrywania i przeciwdziałania. Jednoczesne rozpatrywanie reaktywności kruszyw oraz efektów działania obciążenia ruchem pojazdów i specyficznych zjawisk fizycznych występujących w eksploatowanych nawierzchniach dróg prowadzone będą w warunkach zmiennej temperatury, cyklicznego suszenia i moczenia wraz z oddziaływaniem roztworów soli odladzającej NaCl. Skuteczność zastosowania takich metod została wykazana przez badania prowadzone w Niemczech [18, 19] i zaimplementowana w tamtejszych przepisach dotyczących budowy dróg z betonu [20].

Przedmiotem badań reaktywności jest duża populacja kruszyw pobieranych z różnych rejonów eksploatacji i ich produkcji. Są to:

- grysy granitowe i bazaltowe, tradycyjnie stosowane do betonów konstrukcyjnych w drogownictwie,
- kruszywa łamane z przekruszonego surowca skalnego z rejonów: woj. warmińsko-mazurskiego, podlaskiego i zachodniopomorskiego, woj. dolnośląskiego, z fliszu podkarpackiego oraz z woj. świętokrzyskiego.

Program badań reaktywności alkalicznej kruszyw poprzedzony jest pomiarami ich podstawowych cech fizycznych i składu, decydujące o przydatności do aplikacji w konstrukcjach drogowych, m.in.: zawartość lekkich zanieczyszczeń i pyłów, nasiąkliwość, mrozoodporność w wodzie i w soli oraz odporność na rozdrabnianie wg PN-EN 12620 [10], uznane za kluczowe cechy kruszyw, kształtujące wysoką trwałość betonu.

Projekt realizowany jest w zadaniach obejmujących kolejno następujące etapy:

A. Dokumentacja i charakterystyka fizyczną kruszyw:

- a) wytypowanie i pobór próbek do badań z uwzględnieniem danych PSG „Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce” [21]:
 - grysy i kruszywa łamane z północnych rejonów Polski;
 - kruszywa z surowców skalnych krzemianowych z rejonów fliszu podkarpackiego;
 - kruszywa z surowców skalnych wapiennych z rejonu świętokrzyskiego;
 - kruszywa z surowców ze skał magmowych z rejonu dolnośląskiego.
- b) analiza wybranych właściwości kruszyw wg PN-EN 12620+A1:2010 „Kruszywa do betonu”.

B. Badania reaktywności kruszyw z wytypowanych złóż:

- a) Analiza składu mineralnego pod kątem zawartości składników szkodliwych:
 - metoda petrograficzna ASTM C 295 [22];
 - reaktywna krzemionka wg ASTM C 289 [23];
 - zawartość węglanów wapnia i magnezu (analiza termiczna DSC/TG);
 - badania dodatkowe metodą dyfrakcji rentgenowskiej XRD i skaningowej mikroskopii elektronowej SEM.

b) Badania reaktywności kruszyw z wytypowanych źródeł:

- szybkie chemiczne metody oznaczania reaktywności kruszyw krzemionkowych i węglanowych wg ASTM C 289 [23]
- przyspieszone pomiary ekspansji zaprawy wg ASTM C 1260 [24];
- długotrwałe badania ekspansji betonu wg ASTM C 1293 [25], z oceną reaktywności kruszywa po 1 roku, 2 i 3 latach;
- badania produktów reakcji alkalia-krzemionka wg ASTM C 856 [26] oraz z wykorzystaniem SEM i analizy XRD, w próbkach po badaniu ekspansji betonu wg ASTM C 1293.

C. *Rozwiązania zapobiegania reakcji AAR w betonie:*

Ekspansja zapraw i betonów wg ASTM C 1567 [26] i ASTM C 1293 dla rozwiązań zapobiegania reakcji AAR na drodze:

- a) ograniczanie zawartości alkaliów w betonie – stosowanie cementów o niskiej zawartości alkaliów efektywnych;
- b) stosowanie dodatków mineralnych granulowanego żużla wielkopiecowego i popiołu lotnego krzemionkowego w mieszance betonowej.

D. *Badania ekspansji i uszkodzeń betonu w wyniku reakcji ASR w warunkach eksploatacyjnych:*

- a) Oznaczania ekspansji betonu i uszkodzeń wskutek ASR w warunkach eksploatacyjnych, odpowiadających oddziaływaniom klimatycznym i soli odladzających;
- b) Identyfikacja interakcji oddziaływań eksploatacyjnych (klimatycznych, soli odladzających i skutków obciążenia) i mikrostruktury betonu oraz jego przepuszczalności dla mediów ciekłych w celu rozpoznania warunków minimalizacji skutków reakcji ASR;
- c) Sprawdzenie przydatności opracowanych metod do oceny kruszyw i betonów stosowanych na krajowych budowach nawierzchni dróg ekspresowych.

E. *Opracowanie i prezentacja wytycznych technicznych:*

Wytyczne techniczne dla GDDKiA w oparciu o systemy wdrożone przez ASTM i wdrażane przez RILEM określające:

- a) podstawowe kryteria opracowania i założenia wytycznych uwzględniające ocenę krajowej bazy surowcowej kruszyw do betonu w aspekcie ich reaktywności;
- b) określenie szybkich metod (ASTM C 289, ASTM C 295, ASTM C 1260) oceny reaktywności kruszyw do betonów nawierzchniowych i infrastruktury drogowej w systemie kontroli dostaw: producent, betoniarnia, wykonawca;
- c) wdrożenie systemu 2+1 certyfikacji i oceny zgodności kruszyw do betonów nawierzchniowych i infrastruktury drogowej;
- d) kryteria doboru cementów i dodatków mineralnych do projektowania betonów nawierzchniowych i infrastruktury drogowej z wykluczeniem prawdopodobieństwa destrukcji wskutek ASR dla różnych poziomów potencjalnej reaktywności kruszyw krajowych.

2.1. Sposoby zapobiegania reakcji ASR

Do analizy reakcji ASR w kruszywach stosowane są metody oznaczania ekspansji próbek zapraw cementowych oraz ekspansji próbek betonu, odpowiednio wg procedur opisanych w ASTM C 1260 [24] oraz ASTM C 1293 [25]. Wyniki oznaczeń i oceny reaktywności będą dla poszczególnych kruszyw odnoszone do kryteriów oceny podane w tabeli 1, które według AASHTO PP-65 [13] stanowią podstawę selekcji kruszyw do zastosowań

w betonach nawierzchniowych i konstrukcyjnych. Kryteria podane w tabeli 1 zostaną wykorzystane do klasyfikacji kruszyw ze złóż krajowych.

Tabela 1. Klasyfikacja reaktywności kruszyw na podstawie wyników pomiarów ekspansji zapraw i betonów wg AASHTO PP-65

Stopień reaktywności	Opis	Ekspansja po 14 dniach wg ASTM C1260, AMBT	Ekspansja po 1 roku wg ASTM C1293, CPT
		%	%
R0	Niereaktywne	≤0,10	≤0,04
R1	Umiarkowanie reaktywne	>0,10, ≤0,30	>0,04, ≤0,12
R2	Silnie reaktywne	>0,30, ≤0,45	>0,12, ≤0,24
R3	Bardzo silnie reaktywne	>0,45	>0,24

Według stosowanych obecnie kryteriów krajowych, do betonów nawierzchniowych, lotniskowych i do infrastruktury drogowej można stosować bez ograniczeń, kruszywa tradycyjnie uznawane jako „całkowicie” niereaktywne (granity, bazalty i inne grysy ze skał magmowych), nie odnosząc takiego sposobu doboru do wymagań, które mogłyby być przedmiotem oceny zgodności na stopień reaktywności (tabela 1). Przyjmując jednakże założenia, że każde kruszywo należy traktować jako potencjalnie reaktywne, Projekt uwzględni również badania sprawdzające wymienionej grupy kruszyw, traktując je jako materiał referencyjny do badań reakcji AAR.

W przypadku ograniczonej dostępności kruszyw „niereaktywnych” lub niepewności selekcji związanej np. z eksploatacją nowego pokładu surowca skalnego lub niejednorodności złoża, Projekt zakłada kompleksowe badania i analizę możliwości ich wykorzystania, uwzględniając weryfikację doświadczeń i wyników uzyskanych w skali laboratoryjnej, w warunkach eksploatacyjnych.

Proponowane w Projekcie zapobieganie skutkom uszkodzeń konstrukcji wskutek występowania reakcji ASR polegać będzie na sformułowaniu ograniczeń recepturowych składu betonu. Będzie to podejście systematycznie przedstawione w ASTM C 1778-14 oraz w specyfikacjach AASHTO PP-65 i RILEM AAR-7.1. Niezbędny poziom zabezpieczenia (tzw. poziom prewencji) przed wystąpieniem szkodliwych skutków ASR oraz odpowiednie rozwiązanie technologiczne zostaną wyznaczone na podstawie:

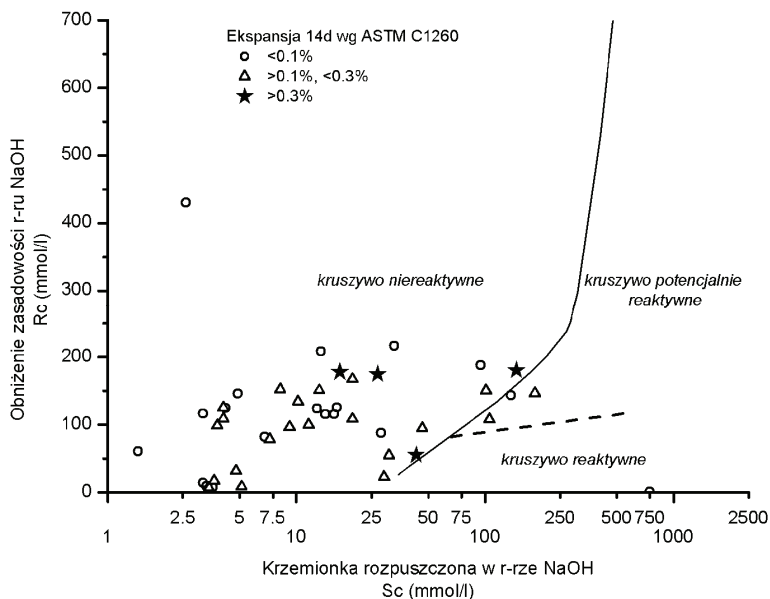
- stopnia reaktywności alkalicznej kruszywa przeznaczonego do betonu, przy przyjęciu kryterium według tabeli 1,
- ryzyka wystąpienia uszkodzeń ASR.

Preferowanym rozwiązaniem technologicznym będzie:

- ograniczenie całkowitej zawartości alkaliów czynnych w betonie do 3,0 kg/m³, 2,4 kg/m³ lub 1,8 kg/m³, w zależności od stopnia ryzyka wystąpienia uszkodzeń ASR związanej z potencjalną reaktywnością kruszywa,
- stosowanie cementów o niskiej zawartości alkaliów czynnych, co pozwoli na dotrzymanie podanych wyżej warunków granicznej zawartości alkaliów czynnych w betonie;
- w przypadkach ekstremalnych obciążeń eksploatacyjnych betonów nawierzchniowych uwzględni się zastosowanie aktywnych dodatków mineralnych: popiołu lotnego krzemionkowego lub granulowanego żużla wielkopieczowego, wprowadzanych z cementami specjalnymi wieloskładnikowymi niskoalkalicznymi do mieszanki betonowej.

3. Wstępne wyniki

Obecnie w projekcie prowadzone są prace dotyczące *Dokumentacji i charakterystyki fizycznej kruszyw* pobranych z wszystkich wytypowanych rejonów występowania oraz *Badania reaktywności kruszyw z wytypowanych złóż*. Potencjalna reaktywność kruszyw badana jest metodami przyspieszonymi: metodą chemiczną ASTM C 289, petrograficzną ASTM C 295, oraz metodą pomiarów ekspansji zapraw wg. ASTM C 1260. Częściowe wyniki badań potencjalnej reaktywności kruszyw wg normy ASTM C 289 oraz ASTM C1260 zestawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Wyniki badań reaktywności kruszywa wg szybkiej metody chemicznej ASTM C 289 oraz przyspieszonej metody beleczkowej ASTM C 1260

Punkty pomiarowe odnoszą się do wyników metodą chemiczną. Poszczególnymi symbolami oznaczono wartości ekspansji zapraw normowych wg przyspieszonej metody beleczkowej. Uwzględniając podane w normie ASTM C 289 kryteria reaktywności można stwierdzić, że zdecydowana większość badanych kruszyw powinna być zakwalifikowana jako kruszywa niereaktywne. Natomiast wyniki oznaczenia ekspansji zapraw przyspieszoną metodą beleczkową wykazują dla większości próbek potencjalną reaktywność z ekspansją powyżej 0,1%. Przeważająca część wyników z wartością ekspansji poniżej 0,1% dotyczy skał litych magmowych. Większość próbek grysów ze skał okruchowych wykazuje ekspansję powyżej 0,1%, co wg tabeli 1 odpowiada umiarkowanemu reaktywnemu kruszyw. Podane wyniki oznaczeń są weryfikowane długoterminowymi badaniami ekspansji betonów wg ASTM C 1293 oraz przyspieszoną metodą RILEM ekspansji betonów w 60°C wg AAR 4.1 [11].

Zgodnie z wytycznymi ASHTOO i RILEM oraz literaturą przedmiotu dodatek mineralny w postaci popiołu lotnego krzemionkowego V skutecznie zapobiega niszczącej ekspansji zapraw, jak to przedstawiono w tabeli 2 dla wybranych kruszyw.

Tabela 2. Porównanie ekspansji zapraw wg metody ASTM C 1260 oraz ASTM C 1567

Próbka	Opis	Ekspansja po 14 dniach wg ASTM C1260 (CEM I)	Ekspansja po 14 dniach wg ASTM C1567 (CEM I +25% V)
		%	
6/16/RID	Grys 11,2/31,5	0,200	0,018
7/16/RID	Grys 5,6/11,2	0,135	0,021
17/16/RID	Grys 2/5,6	0,136	0,014

Podziękowania

Artykuł przygotowano w ramach Projektu „Reaktywność alkaliczna krajowych kruszyw”, ASR-RID (DZP/RID-I-37/6/NCBR/2016), finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz Generalną Dyрекję Dróg Krajowych i Autostrad.

Literatura

- [1] NCBR, <http://www.NCBR.pl/programy-krajowe/wspolne-przedsiwiewiecia/rid/>
- [2] Uchwała Nr 156/2015 Rady Ministrów z dnia 8 września 2015 r., w sprawie ustanowienia programu wieloletniego pod nazwą „Program Budowy Dróg Krajowych na lata 2014–2023 (z perspektywą do 2025 r.)”
- [3] NCBR, http://www.NCBR.pl/gfx/NCBR/pl/defaultopisy/1358/1/1/zalozenia_rid_15_01_2015_wersja_koncowa.pdf
- [4] A.M.Neville, Właściwości betonu, Wydawnictwo Polski Cement, Kraków 2000
- [5] S. Diamond, A review of alkali-silica reaction and expansion mechanisms, 2. Reactive aggregates, Cement and Concrete Research, 1976, 6, 549–60
- [6] Lindgard J, Andic-Cak O, Fernandes I, Ronning TF, Thomas MDA. Alkali-silica reactions (ASR): literature review on parameters influencing laboratory performance testing, Cement and Concrete Research, 2012, 42, 223–43
- [7] Owsiak Z., Korozja wewnętrzna betonu, Monografie, Studia, Rozprawy M66, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, 2015
- [8] Grattan-Bellew P.E., Mitchell L.D., Margeson J., Min D., Is alkali-carbonate reaction just a variant of alkali-silica reaction ACR=ASR?, Cement and Concrete Research, 2010, 40, 556-562
- [9] Kawamura M., Iwahori K., ASR gel composition and expansive pressure in mortars under restraint, Cement Concrete Composites, 2004, 26 (1), 47–56
- [10] PN-EN 12620+A1:2010, Kruszywa do betonu
- [11] Nixon F.J., Sims I., RILEM Recommendations for the Prevention of Damage by Alkali-Aggregate Reactions in New Concrete Structures, RILEM State-of-the-Art Reports Vol. 17, Springer Netherlands, 2016
- [12] ASTM C1778-14, Standard Guide for Reducing the Risk of Deleterious Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org
- [13] AASHTO PP65-11 “Standard Practice for Determining the Reactivity of Concrete Aggregates and Selecting Appropriate Measures for Preventing Deleterious Expansion in New Concrete Construction”, American Association of State and Highway Transportation Officials, Washington, DC, 2011, 24 p.
- [14] PN-B-06714-46:1992 Kruszywa mineralne. Badania. Oznaczanie potencjalnej reaktywności alkalicznej metodą szybką

- [15] Góralczyk S, Reaktywność alkaliczna kruszyw. Nowa europejska metodyka badań i oceny, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, 2011, nr 39, s. 69-77
- [16] Góralczyk S., Reaktywność alkaliczna kruszyw – czas wprowadzić doskonalsze metody badania, *Kruszywa*, 2011, nr 2, s. 13-15
- [17] Ogólne Specyfikacje Techniczne, Rozdział III, Nawierzchnia z Betonu Cementowego, wersja 16.06.2016, GDDKiA, 2016
- [18] Seyfarth K., Giebson C., Stark J., Prevention of deleterious ASR by assessing aggregates and specific concrete mixtures, Proceedings of the 3rd International Conference on Concrete and Development, Tehran, 2009, 159-169
- [19] Muller Ch., Borchers I., Eicksen E., Experience with ASR test methods: advice on obtaining practical evaluation criteria for performance testing and aggregate testing, Concrete Technology Reports 2010-2012, VDZ, Dusseldorf, 2012, 81-91
- [20] DAfStB-Richtlinie, Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton (Alkali-Richtlinie), Beuth Verlag, Berlin, Ausgabe October 2013, 43 str.
- [21] PSG, Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce, PIG PIB, Warszawa 2015
- [22] ASTM C295-03, Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003, www.astm.org
- [23] ASTM C289-01, Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2001, www.astm.org
- [24] ASTM C1260-14, Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org
- [25] ASTM C1293-08b(2015), Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, www.astm.org
- [26] ASTM C856-14, Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org
- [27] ASTM C1567-13, Standard Test Method for Determining the Potential Alkali-Silica Reactivity of Combinations of Cementitious Materials and Aggregate (Accelerated Mortar-Bar Method), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013, www.astm.org