

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

Dr Grzegorz Adamski, dr inż. Albin Garbacik, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, prof. dr hab. inż. Michał A. Glinicki, Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk

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 OT zdefiniowano zagadnienie 1C: „Reaktywność alkaliczna krajowych kruszyw” [3].

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 aktywnymi składnikami kruszywa jest krzemionka w formie amorficznej: opal, trydymit, krystobalit, kwaśne szkła wulkaniczne, chalcedon, kwarc kryptokrystaliczny lub w stanie naprężeń w skałach metamorficznych, oraz reakcją alkalia-węglany (*alkali carbonate reaction*, ACR), której występowanie stwierdzono w przypadku niektórych zdolomityzowanych wapieni lub dolomitów.

Występowanie reakcji alkalicznej w kruszywie, pomimo wieloletnich badań nie jest jeszcze do końca wyjaśnione. 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; ekspansywnych produktów reakcji ASR lub/i ekspansywnego brucytu produktu reakcji ACR [4]– [8].

Celowość podejmowanego problemu wynika z braku rozpoznania w kraju reaktywności alkalicznej produkowanych kruszyw, przy równoczesnym stosowaniu do oceny ich reaktywności metody [9], która z uwagi na niedoskonałości metodyczne nie powinna być powoływana w deklaracji zgodności producentów. Metoda ta jest mało precyzyjna i zawodzi w wielu przypadkach kruszyw krajowych [10], [11]. Ponadto uwzględniając częste uwagi, że każde kruszywo jest potencjalnie reaktywne [11] 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.

2. Opis projektu

Eksploatowane zasoby kruszyw krajowych przydatnych do betonu nawierzchniowego i obiektów infrastruktury drogowej są charakteryzowane w oparciu o badania reprezentatywnych próbek kruszyw pobranych ze złóż, które mogą być zastosowane w budownictwie drogowym. 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.

Reaktywność alkaliczna kruszyw jest oznaczana i oceniana przy wykorzystaniu kilku komplementarnych metod, stosowanych w systemach oceny reaktywności kruszyw w wiodących technologicznie krajach [12], [13], [14]. Projekt zakłada opracowanie przyspieszonych metod oceny reaktywności kruszyw z możliwością wykorzystania tych metod w systemie kontroli ich produkcji i dostaw na potrzeby wytwarzania betonów nawierzchniowych i obiektów infrastruktury drogowej. Opracowane receptury betonów uwzględniać 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. Do szybkiej oceny potencjalnej reaktywności kruszyw są stosowane:

- metoda petrograficzna badania kruszyw [15] oraz pomiary proszkowej dyfrakcji rentgenowskiej i termicznej analizy różnicowej,
- szybka metoda chemiczna wg ASTM C289 [16], której rezultatem jest ilość rozpuszczalnej krzemionki z kruszywa po 24 godzinach,
- metoda przyspieszona wg ASTM C1260 [17], której wynikiem jest ekspansja zaprawy po 16 dniach,
- metoda przyspieszona wg ASTM C1567 [18], której wynikiem po 16 dniach jest ekspansja zaprawy w przypadku użycia dodatków mineralnych.

Przed szybkimi badaniami reaktywności kruszyw prowadzone są pomiary 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 [19], uznane za kluczowe cechy kruszyw, kształtujące wysoką trwałość betonu.

Do potwierdzenia potencjalnej reaktywności kruszywa zastosowane będą:

- metoda długoterminowa ASTM C1293 [20], której wynikiem jest ekspansja betonu po 1 roku lub po 2 latach,
- metoda długoterminowa ASTM C441 [22], której wynikiem jest ekspansja betonu przy użyciu dodatków mineralnych,
- badania mikroskopowe produktów reakcji w stwardniałych betonach, przy wykorzystaniu mikroskopii optycznej i elektronowej z mikrosondą rentgenowską (SEM-EDS).

Możliwości zapobiegania ekspansji betonu z kruszyw reaktywnych przez zastosowanie dodatków mineralnych z cementem badane będą według metody przyspieszonej ASTM C1567 [18] oraz metody ASTM C1293 badania betonu z zastosowaniem cementów wieloskładnikowych z dodatkiem żużla lub popiołu.

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. Jednocześnie 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 [22], [23] i zaimplementowana w tamtejszych przepisach dotyczących budowy dróg z betonu [24].

3. Sposoby zapobiegania reakcji ASR

Do analizy reakcji ASR w kruszywach będą stosowane metody oznaczania ekspansji próbek zapraw cementowych oraz ekspansji próbek betonu, odpowiednio wg procedur opisanych w ASTM C 1260 [17] oraz ASTM C 1293 [20]. Wyniki oznaczeń i oceny reaktywności będą dla poszczególnych kruszyw odnoszone do kryteriów oceny podane w tabeli 1, które według AASHTO PP-65 [14] stanowią podstawę selekcji kruszyw do zastosowań w betonach nawierzchniowych i konstrukcyjnych. Kryteria podane w tabeli 1 zostaną wykorzystane do klasyfikacji kruszyw ze złóż krajowych.

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.

Tabela 1. Klasyfikacja reaktywności kruszyw na podstawie wyników pomiarów ekspansji zapraw i betonów wg AASHTO PP-65 [14]

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

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 [13] oraz w specyfikacjach AASHTO PP-65 [14] i RILEM AAR-7.1 [12]. 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:

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

BIBLIOGRAFIA

- [1] NCBR, <http://www.NCBR.pl/programy-krajowe/wspolne-przedsiw-ziecia/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] Diamond S., A review of alkali-silica reaction and expansion mechanisms, 2. Reactive aggregates, *Cement and Concrete Research*, 1976, 6, 549–60
- [5] Lindgard J, Andic-Cakir 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
- [6] Owsiak Z., Korozja wewnętrzna betonu, Monografie, Studia, Rozprawy M66, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, 2015
- [7] 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

- [8] Kawamura M., Iwahori K., ASR gel composition and expansive pressure in mortars under restraint, *Cement Concrete Composites*, 2004, 26 (1), 47–56
- [9] PN-B-06714—46:1992 Kruszywa mineralne. Badania. Oznaczenie potencjalnej reaktywności alkalicznej metodą szybką
- [10] Góralczyk S, Reaktywność alkaliczna kruszyw. Nowa europejska metodyka badań i oceny, *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej*, 2011, nr 39, s. 69–77
- [11] Góralczyk S., Reaktywność alkaliczna kruszyw – czas wprowadzić doskonalsze metody badania, *Kruszywa*, 2011, nr 2, s. 13–15
- [12] 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
- [13] 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
- [14] 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.
- [15] ASTM C295-03, Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003, www.astm.org
- [16] ASTM C289-01, Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2001, www.astm.org
- [17] ASTM C1260-14, Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org
- [18] 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
- [19] PN-EN 12620+ A1:2010, Kruszywa do betonu
- [20] 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
- [21] ASTM C441/C441M-11, Standard Test Method for Effectiveness of Pozzolans or Ground Blast-Furnace Slag in Preventing Excessive Expansion of Concrete Due to the Alkali-Silica Reaction, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011, www.astm.org
- [22] 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
- [23] 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
- [24] DAfStB-Richtlinie, Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton (Alkali-Richtlinie), Beuth Verlag, Berlin, Ausgabe October 2013, 43 str.

Za publikację w miesięczniku „Przegląd Budowlany”
uzyskuje się 5 punktów
zgodnie z komunikatem MNiSW
 z dnia 23.12.2015 roku, wykaz B, pozycja 1381.

Serdecznie zapraszamy autorów do publikowania w Przeglądzie Budowlanym.