

Received January 30, 2015; reviewed; accepted March 19, 2015

*kruszywa, reakcja alkaliczna,  
beton, badania*

Danuta KUKIELSKA, Stefan GÓRALCZYK<sup>1</sup>

## REAKTYWNOŚĆ ALKALICZNA KRUSZYW

W artykule opisano zjawisko reaktywności alkalicznej kruszywa. Opisano rodzaje, mechanizm i objawy reakcji alkalia–kruszywo. Przytoczono wykaz potencjalnie reaktywnych minerałów i skał. Opisano metodykę identyfikowania reaktywności alkalicznej. Przedstawiono aktualny stan zasad badania reaktywności alkalicznej w Polsce.

### 1. WPROWADZENIE

Właściwości fizykomechaniczne kruszywa jako podstawowego składnika betonu w zasadniczym stopniu wpływają na zachowanie betonu w konstrukcjach. Uważa się, że właściwość ta ma znaczący wpływ na trwałość betonu i jego wytrzymałość. Reaktywność alkaliczna definiowana jest jako:

- skłonność niektórych składników kruszyw do reagowania z alkaliami pochodzącymi z cementu; w wyniku tych reakcji może wystąpić w betonie szkodliwa ekspansja prowadząca do jego destrukcji, lub
- zróżnicowane zjawiska chemiczne i fizyczne prowadzące do destrukcji skał.

Kruszywo potencjalnie reaktywne jest to kruszywo zawierające minerały lub skały reagujące z alkaliemi zawartymi w cemencie. Ze względu na sposób produkcji cementu reaktywność alkaliczna stanowi problem coraz częściej spotykany. Wczesne, prawidłowe wykrycie zjawiska jest bardzo istotne ze względów bezpieczeństwa obiektów betonowych.

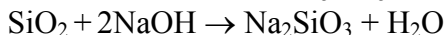
<sup>1</sup> Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa  
d.kukielska@imbigs.pl s.goralczyk@imbigs.pl

## 2. RODZAJE I MECHANIZM REAKCJI ALKALICZNYCH

Zjawisko reaktywności alkalicznej kruszyw jest zjawiskiem złożonym, dlatego dobór metod badawczych pozwalających stwierdzić czy kruszywo jest reaktywne, nie jest proste i wymaga przeprowadzenia długotrwałych, kilkietapowych badań. Wyróżnia się trzy rodzaje reaktywności alkalicznej. Są to reakcje alkaliów z krzemionką bezpostaciową, krzemianami lub węglanami – wymienione substraty to często główny lub znaczący składnik kruszywa.

Reakcje alkaliczne zachodzą pomiędzy (Hadley, 1964, Gillott, 1969):

- krzemionką bezpostaciową i alkaliami – reakcja najbardziej powszechna



- alkaliami i krzemianami
- alkaliami i węglanami

rozpad dolomitu „dedolomityzacja”

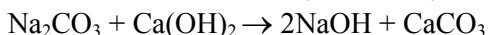


dolomit

brucyt

kalcyt

natryt



natryt    mleczko wapienne

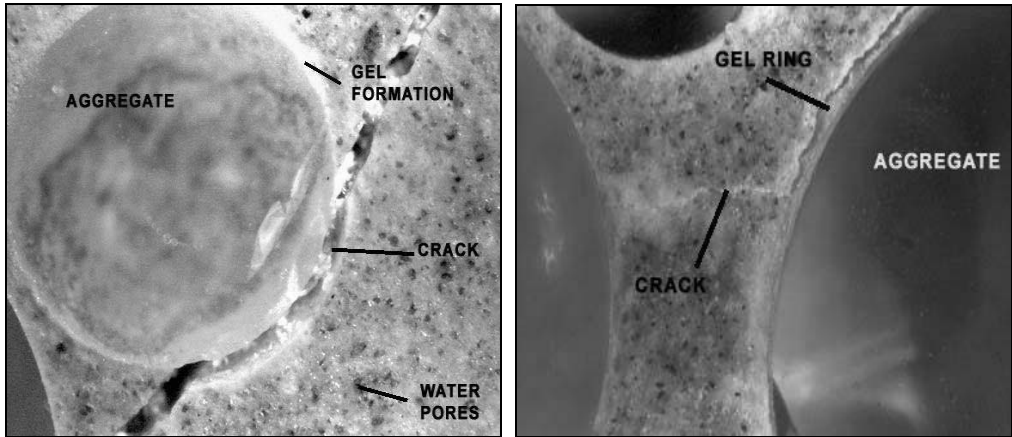
wtórny kalcyt

Reakcje w betonie pomiędzy kruszywem a zaczynem cementowym i znajdującymi się tam alkaliimi zachodzą przy każdym rodzaju kruszywa, a ich przebieg i stopień nasilenia zależy od wielu czynników, z których najważniejszymi są:

- rodzaj kruszywa i ilość zawartych w nim składników potencjalnie reaktywnych (skład mineralogiczny oraz struktura i tekstura skały),
- uziarnienie kruszywa,
- warunki hydrotermiczne (wilgotność, temperatura) oddziałujące na beton,
- ilości alkaliów w betonie powyżej 0,6%.

## 3. OBJAWY REAKTYWNOŚCI

W wyniku reakcji alkalia–kruszywo wokół ziarna powstają otoczki żelu, które pęcznieją pod wpływem wilgoci wywołując naprężenia, mogą one wywołać zarysowania, spękania. Towarzyszyć temu może pojawienie się wykwitów, plam, nacieków. W dalszej kolejności może dojść do powstania mikroszczelin, odprysków, odspojenia ziaren kruszywa efektem jest obniżenie trwałości betonu. Objawami reakcji są: powstawanie otoczek wokół ziaren kruszywa, odspajania ziaren i zmiana ich objętości, zmiany składu fazowego, powstawanie mikroszczelin i szczelin, wykwitów i plam oraz odprysków na powierzchniach, a w rezultacie destrukcja elementów betonowych.



Rys 1. Obraz ziaren z objawami reaktywności alkalicznej (Project... 2002)

Fig. 1. The image of particles with symptoms of alkali reactivity (Project... 2002)

Przykłady obiektów, w których obserwować można zmiany wywołane reakcjami alkalicznymi przedstawiono na rysunkach 2–6.



Rys. 2. Chodnik betonowy. Spękania powierzchni konstrukcji betonowych spowodowanych reakcjami alkalicznymi, niektóre szczeliny wypełnione są żelem (RILEM TC 219 ACS, 2001)

Fig. 2. The pavement of concrete . Cracking of surface of the concrete structure due to alkali reactions, some of the slots are filled with gel (RILEM TC 219 ACS, 2001)



Rys. 3. Fragment ściany. Spękania powierzchni konstrukcji betonowych spowodowanych reakcjami alkalicznymi, niektóre szczeliny wypełnione są żelem (RILEM TC 219 ACS, 2001)

Fig. 3. Part of the wall. Cracks of surface of the concrete structure due to alkali reactions, some of the slots are filled with gel (RILEM TC 219 ACS, 2001)



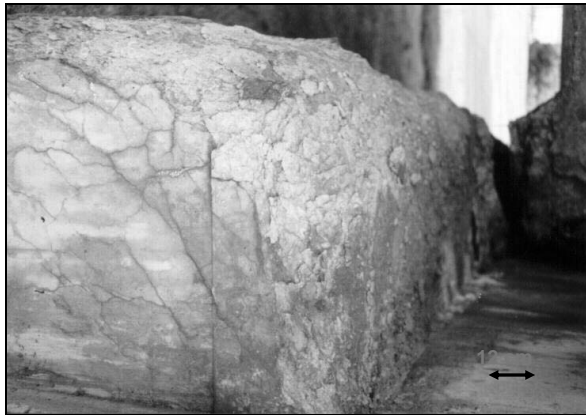
Rys. 4. Ściana oporowa. Pękanie i uszkodzenia powierzchni betonu na elementach betonowych konstrukcji wystawionych przez dłuższy czas na działanie wilgoci; niektóre pęknięcia wypełnione są żelem (RILEM TC 219 ACS, 2001)

Fig. 4. The retaining wall. Cracking and damage of concrete elements surface of concrete structures exposed to moisture for long periods, some cracks are filled with gel (RILEM TC 219 ACS, 2001)



Rys. 5. Fragment przyczółka śluzy. Ściana oporowa. Pękanie i uszkodzenia powierzchni betonu na elementach betonowych konstrukcji wystawionych przez dłuższy czas na działanie wilgoci; niektóre pęknięcia wypełnione są żelem (RILEM TC 219 ACS, 2001)

Fig. 5. The fragment of bridgehead airlock. The retaining wall. Cracking and damage on the concrete elements surface of concrete structures exposed for a long periods to moisture, some cracks are filled with a gel (RILEM TC 219 ACS, 2001)



Rys. 6. Wiadukt k. Kielce. Destrukcja elementów betonowych wywołana reaktywnością alkaliczną. Odpryskiwanie i łuszczenie się betonu. Widoczne wycieki żelowe oraz rdzawe nacieki pochodzące od korodującego odkrytego zbrojenia (Góralczyk, 2000)

Fig. 6. Viaduct near Kielce. Destruction of concrete caused by alkali reactivity. Spatter loss and flaking of the concrete. Visible jelly leaks and rust colored infiltrations derived from outdoor corrosion of reinforcement (Góralczyk, 2000)



Rys. 7. Wiadukt k. Kielc. Destrukcja elementów betonowych wywołana reaktywnością alkaliczną. Odpryskiwanie i łuszczenie się betonu. Widoczne wycieki żelowe oraz rdzawe nacieki pochodzące od korodującego odkrytego zbrojenia (Góralczyk, 2000)

Fig. 7. Viaduct near Kielce. Destruction of concrete caused by alkali reactivity. Spatter loss and flaking of the concrete. Visible jelly leaks and rust colored infiltrations derived from outdoor corrosion of reinforcement (Góralczyk, 2000)

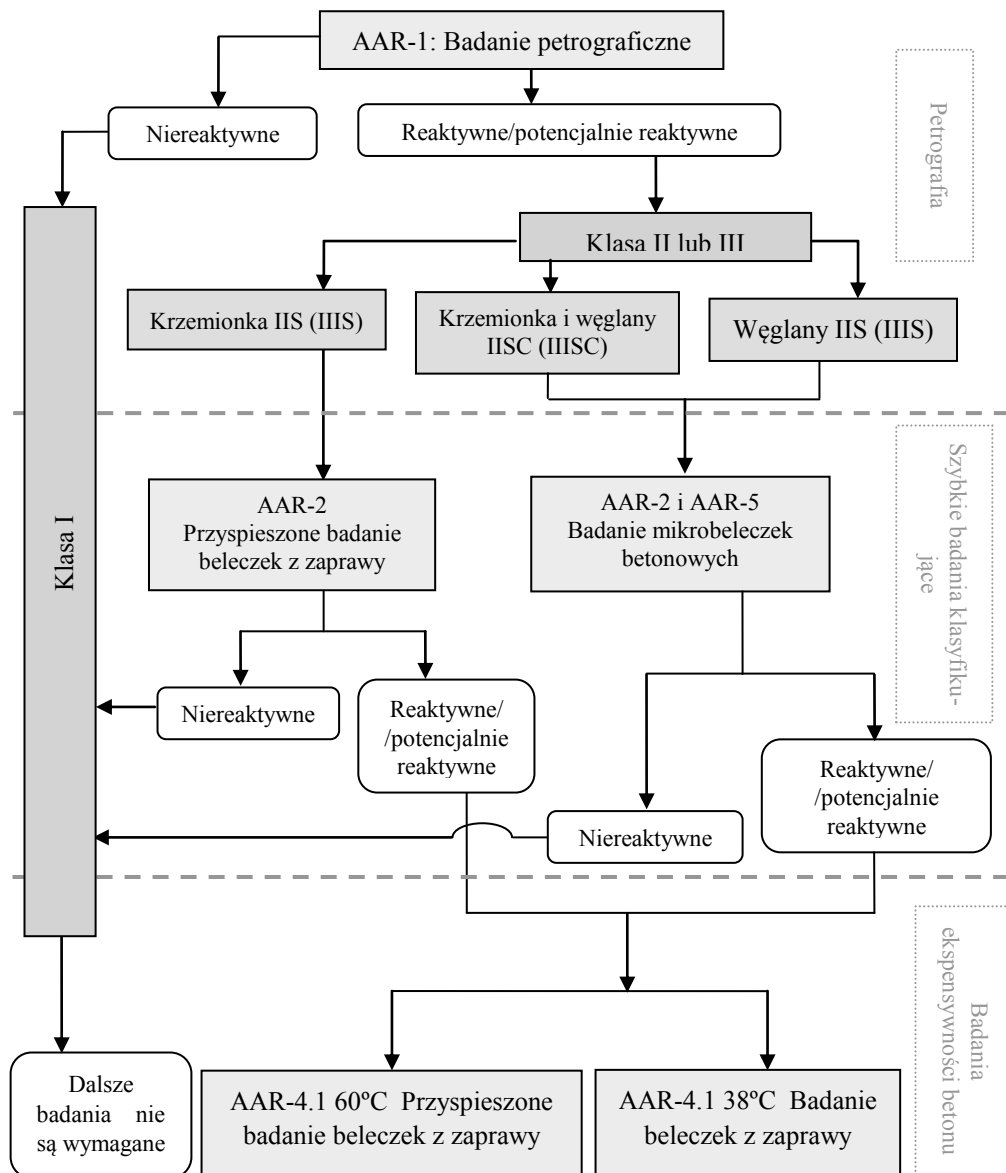
#### 4. ZASADY BADANIA REAKTYWNOŚCI ALKALICZNEJ W UNII EUROPEJSKIEJ

Prace nad unifikacją metod badań, kryteriów oceny i zapobiegania występowaniu reakcji alkalicznych w betonach podjęto w 2000 roku w ramach projektu badawczego Europejskie normowe badania zapobiegania reakcjom alkalicznym w kruszywach (PARTNER, 2000) i równolegle w Komitecie technicznym ARP (*Alkali Reactivity and Prevention, Assessment, Specification and Diagnosis*) Międzynarodowego Komitetu RILEM TC 191 (Reakcje alkaliczne, zapobieganie, ocena, wymagania i diagnozowanie), a następnie w nowej strukturze tego komitetu – Reakcje alkalia–kruszywa w strukturach betonu (RILEM TC 219 ACS, 2001). Badania prowadzone były przez różne zespoły badawcze w kilkunastu krajach UE i doprowadziły do opracowania metod badawczych, jednolitej systematyki badań, oceny i przeciwdziałania wystąpieniu tego zjawiska. W badaniach tych uczestniczył Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego.

Komitet RILEM rekomendował metody badania reaktywności alkalicznej: ogólne zasady oceny potencjalnej reaktywności alkalicznej (AAR-0, 2003), opis petrograficzny (AAR-1, 2003), przyspieszona metoda beleczek z zaprawy (AAR-2, 2002), metoda beleczkowa w temperaturze 38°C dla kruszyw mieszanych (AAR-3, 2003), metoda beleczkowa w temperaturze 60°C dla kruszyw mieszanych (AAR-4.1, 2004), szybka metoda beleczkowa dla kruszyw węglanowych (AAR-5, 2003).

Reaktywność alkaliczna kruszyw jest zjawiskiem złożonym, tak pod względem mogących występować typów reakcji alkalicznych, jak i różnorodności czynników mineralogicznych, chemicznych i atmosferycznych wpływających na ich wystąpienie

i przebieg. Ocena reaktywności kruszywa przedsięwzięciem trudnym, wymagającym przeprowadzenia długotrwałych, wielostopniowych badań. Poniżej przedstawiono schemat badań zalecany w dokumentach AAR.



Rys. 8. Schemat przeprowadzenia badań reaktywności alkalicznej wg dokumentu AAR  
 Fig. 8. Scheme of alkali reactivity testing by AAR document

## 5. ZASADY BADANIE REAKTYWNOŚCI ALKALICZNEJ W POLSCE

Zgodnie z Rozporządzeniem... nr 305/2011, oraz przepisami ustawy o odpadach (Obwieszczenie... 2014) wyrób wprowadzany na rynek musi być bezpieczny, o czym zaświadcza oznakowanie go znakiem CE. W przypadku wyrobów objętych normami zharmonizowanymi, wyrób należy przebadać według zakresu zawartego w odpowiedniej do danego zastosowania normie. W przypadku kruszyw do betonów, do których odnosi się norma PN-EN 12620, zakres badań obejmuje podatność na reaktywność alkaliczną, jedną z ważniejszych właściwości kruszyw związanych z bezpieczeństwem.

Zgodnie z zasadami UE w przypadku braku norm europejskich, określających badanie istotnych właściwości kruszywa, obowiązują zasady funkcjonujące w kraju stosowania kruszywa. Jak do tej pory Komitet TC 154 „Kruszywa” nie opracował norm europejskich na badanie reaktywności alkalicznej. W takiej sytuacji powinny obowiązywać normy polskie. Tymczasem norma PN-86/B-06712, która zawierała wymagania w tym zakresie, określająca graniczne wartości dla poszczególnych stopni reaktywności alkalicznej została w całości wycofana jako norma sprzeczna z wdrożoną normą EN 12620:2010. Ostateczny termin wycofania normy PN-86/B-06712 minął w czerwcu 2004 roku. W normie tej była także określona metodyka badania reaktywności alkalicznej. W Polsce obowiązywały dwie normy dotyczące badań tej właściwości, tj. PN-91/B-06714-34 i PN-92/B-06714-46

W wyniku corocznego przeglądu norm, przeprowadzanego przez PKN, którego celem jest wycofanie norm, niestosowanych bądź zawierających przestarzałe metody badawcze – obie normy zostały wycofane w 2012 roku. Mimo, że norma zharmonizowana nakazuje badanie reaktywności alkalicznej, w Polsce doszło do sytuacji, w której nie było żadnej normy opisującej metodykę badania oraz oceny tej właściwości. Żeby nie dopuścić do takiej sytuacji IMBiGS zgłosił w Polskim Komitecie Normalizacyjnym gotowość nowelizacji normy PN-92/B-06714-46, dzięki czemu do czasu zakończenia prac nad nowelizacją norma ta nie została wycofana ze zbioru norm. Nadal jednak nie ma kryteriów oceny tej właściwości.

## 5. POTENCJALNIE REAKTYWNE KRUSZYWA

Do niedawna z reakcjami alkalicznymi utożsamiano niewielką grupę litologiczną skał. Najnowsze badania wykazały, że znacznie więcej niż sądzono rodzajów litologicznych skał może być potencjalnie podatna na alkalia – może być reaktywna. Zniszczenie konstrukcji betonowych spowodowane reakcją alkaliów z kruszywem zanotowano w ponad 50 krajach, w różnych obszarach geograficznych.

W zależności od rodzaju i zawartości w kruszywach składników reaktywnych, kruszywa można podzielić na trzy klasy kruszyw:



- I. zawierające niewykrywalny opal lub podobną wysoko reaktywną krzemionkę i zawierające 95% lub więcej składników, określanych jako „nieszkodliwe”,
- II. bez odpowiedników w klasie I lub II,
- III. zawierające 1% lub więcej opalu lub podobnie wysoką reaktywną krzemionkę lub krytyczną lub „ujemną” proporcję składników, określanych jako potencjalnie reaktywne.

W efekcie badań wykonanych w ramach (RILEM TC 219 ACS, 2001) stwierdzono, że podstawowe surowce mineralne podatne na alkalia to:

Minerały	Skały
opal, chalcedon, trydymit, krystobalit, oliwiny, pirokseny, amfibole, chloryty, minerały ilaste, zeolity, minerały siarczanowe i siarczkowe, tlenki żelaza	skały krzemionkowe (krzemienie, rogówce, diatomity), piaskowce o spoiwie ilastym i krzemionkowym, skały wulkaniczne (melafiry, porfiry, bazalty oliwinowe), szkliwo wulkaniczne (obsydian), tufy wulkaniczne, skały węglanowe przede wszystkim dolomitowe i ilaste, zwiędzłe skały granitowe

## 6. PODSUMOWANIE

Reaktywność alkaliczna kruszyw jest zjawiskiem złożonym, tak pod względem mogących występować typów reakcji alkalicznych, jak i różnorodności czynników mineralogicznych, chemicznych i atmosferycznych wpływających na ich wystąpienie i przebieg. Szczególnie istotne jest występowanie zmiennych czynników atmosferycznych (temperatura i wilgotność) uzależnione od strefy klimatycznej zastosowania kruszywa. Opracowanie zunifikowanych metod badań oraz kryteriów oceny tego zjawiska jest przedsięwzięciem trudnym, wymagającym prowadzenia długotrwałych badań.

Zjawisko występowania reakcji alkalicznych w kruszywach, mimo wieloletnich badań jest jeszcze nie do końca wyjaśnione, szczególnie jego występowanie w kruszywach węglanowych. Zjawisko pojawia się praktycznie we wszystkich strefach klimatycznych, tam gdzie parametry wilgotności i temperatury zmieniają się w pewnym interwale. Stąd metody badań stosowane do identyfikacji tego zjawiska w różnych krajach są zróżnicowane, a wyniki często nieporównywalne.

W poszczególnych krajach UE zostały opracowane obszernie dokumenty, opisujące metody badania tego zjawiska oraz sposób postępowania, dzięki któremu można zapobiec skutkom reaktywności alkalicznej. W Polsce problem na razie nie znalazł rozwiązania. Ważnym zadaniem jest sprawdzenie zastosowania w warunkach polskich nowych metod badań i oceny reaktywności kruszyw według opracowań (RILEM TC 191, 2004). Przy wyborze metod badawczych należy skupić się na tych

rekomendowanych metodach, ponieważ one będą funkcjonowały w Unii Europejskiej. Wprowadzanie innych metod, np. opartych na ASTM będzie dodatkowym obciążeniem dla polskich producentów oraz może stanowić barierę w wolnym uczestnictwie w rynku kruszyw.

#### LITERATURA

- AAR-0, 2003, *Outline Guide to the Use of RILEM Methods in Assessments of Alkali-Reactivity Potential of Aggregates*.
- AAR-1, 2003, *Petrographical Examination*.
- AAR-2, 2002, *Detection of potential alkali-reactivity - Accelerated mortar-bar test method for aggregates*.
- AAR-3, 2000, *Detection of potential alkali-reactivity - 38°C test method for aggregate combinations using concrete prisms*.
- AAR-4.1, 2004, *Detection of potential alkali-reactivity - 60°C test method for aggregate combinations using concrete prisms*.
- AAR-5, 2003, *Rapid Preliminary Screening Test for Carbonate Aggregates*.
- AAR-6, 2007, *Alkali-Reactivity. Prevention, assessment, specification and diagnosis*.
- GILLOTT I.E., 1969, *Mechanism of the alkali-carbonate rock reaction*, Eng. Geolog.
- GÓRALCZYK S., 2000, *Reaktywność kruszyw ze skał węglanowych*, praca doktorska, AGH, Kraków.
- HADLEY D.W., 1964, *Alkali reactivity of dolomite carbonate rock*, Highway Research Board, Vol. 40.
- Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rp z dnia 14 maja 2014 r. ws. ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o wyrobach budowlanych, Dz.U.2014.883.
- PARTNER, 2000, *European Standard Tests to Prevent Alkali Reactions in Aggregates*”.
- PN-86/B-06712 *Kruszywa mineralne do betonu*.
- PN-91/B-06714-34 *Kruszywa mineralne. Badania. Oznaczanie reaktywności alkalicznej*.
- PN-92/B-06714-46 *Kruszywa mineralne. Badania. Oznaczanie potencjalnej reaktywności alkalicznej metodą szybką*.
- PN-EN 12620:2010 *Kruszywa do betonu*.
- Project *Competitive and Sustainable Growth*, 2002.
- RILEM TC 219 ACS, 2001, *Alkali-Aggregate Reactions in Concrete Structures*.
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG.

#### ALKALI REACTIVITY OF AGGREGATES

This paper discusses the phenomenon of alkali reactivity of aggregates. The types, mechanism and symptoms of alkali-aggregate reaction are discussed. A potentially reactive minerals and rocks are listed. The methodology for alkali reactivity identifying is discussed. The current state of testing rules for alkali reactivity in Poland is presented.