

Michał A. GLINICKI<sup>1</sup>Daria JÓŹWIAK-NIEDŹWIEDZKA<sup>2</sup>

## PROBLEM REAKTYWNOŚCI KRUSZYWA

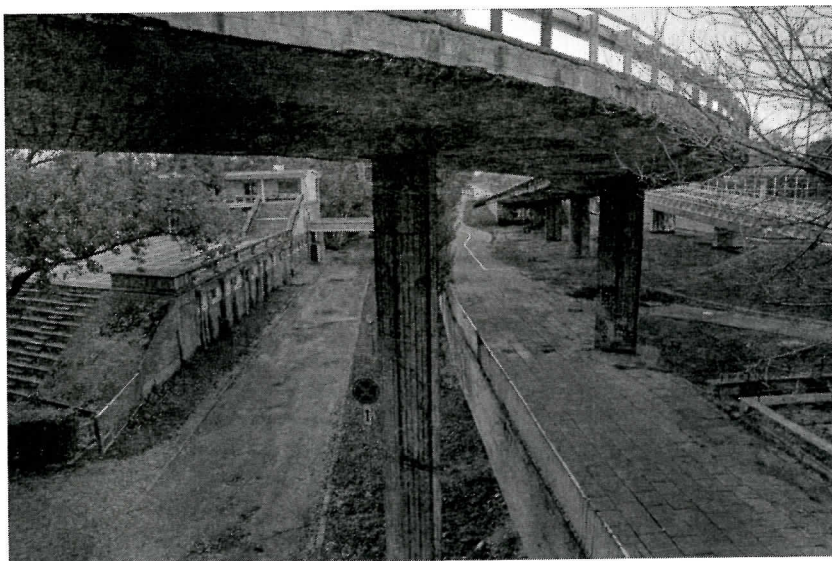
### 1. Wstęp

Reakcja alkalia-kruszywo zachodzi między roztworem w porach betonu i reaktywnymi minerałami w ziarnach kruszywa, ewentualnie prowadząc do ekspansji i znacznych spękań betonu. Z licznych badań wynika [1, 2], że do reaktywnych kruszyw krajowych można zaliczyć niektóre piaski i żwiry zawierające opal i chalcedon, piaskowiec, wapień krzemionkowy czy szarogłaz i kwarcyt. Również niektóre kruszywa ze skał litych wykazują podatność na reakcję z wodorotlenkami alkalicznymi w betonie, np. kruszywa produkowane z następujących skał: rogowców, łupków ilasto-mikowych, gnejsów granitowych i granitowo-diorytowych.

Rozpoznanie symptomów występowania szkodliwej reakcji alkalia-kruszywo nie należy do rutynowych czynności podczas przeglądów konstrukcji w kraju. Zewnętrzne oznaki wystąpienia reakcji trudno odróżnić od uszkodzeń betonu wywołanych przez mróz, agresję siarczanową, korozję stali czy nadmierny skurcz przy wysychaniu. Są to na ogół spękania, odpryski, wykwyty oraz nadmierne deformacje – przesunięcie lub wypiętrzenie związane z pęcznieniem betonu. Charakterystyczne są wysięki substancji żelowej o mleczno-białym kolorze, chociaż nie zawsze występują. Nieumiejętność rozpoznania symptomów reakcji przesłanianych przez występujące jednocześnie inne mechanizmy destrukcji może być wyjaśnieniem przekonania o małym znaczeniu zjawiska w Polsce [3]. Wiele obiektów inżynierskich zbudowanych w latach 70. i 80. XX wieku zostało już rozebranych i zastąpionych nowymi, bez specjalnego poszukiwania symptomów reakcji alkalia-kruszywo (rys.1). Na podstawie danych udostępnianych przez GDDKiA wiadomo, że ok. 3/4 obiektów mostowych na drogach krajowych jest młodsza niż 30 lat. Mamy zatem stosunkowo niewiele obiektów na tyle starych, że można byłoby oczekiwać konkretnych symptomów reakcji, o ile byłby taki potencjał. Niemniej przykłady obiektów krajowych dotkniętych reakcją alkalia-kruszywo są znane i odpowiednio udokumentowane (rys.2 i 3).

<sup>1</sup>Prof. dr hab. inż. – Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN<sup>2</sup>Dr hab. inż. – Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN





**Rys. 1.** Wiadukt Trasy Łazienkowskiej w Warszawie przez rozbiórką w roku 2012 z odpadającą otuliną, skorodowanym zbrojeniem stalowym, spękaniami i wysiękami; źródło: [4].



**Rys. 2.** Betonowe masywne płyty fundamentowe (pod wiaduktem na stacji kolejowej Warszawa Praga) ze spękaniami i wysiękami m.in. z powodu reakcji alkalia-kruszywo.

Elementarnym wskazaniem możliwości wystąpienia reakcji alkalia-kruszywo w betonie są spękania ziaren kruszywa lub specyficzne otoczki ziaren, które są widoczne gołym okiem na przekrojach odwiertów pobranych z konstrukcji. Spękaniami ziaren towarzyszą spękania w matrycy cementowej. Zaobserwowano, że spękania betonu wskutek tej reakcji mogą prowadzić do znaczącego (>50%) zmniejszenia modułu sprężystości i wytrzymałości na rozciąganie. Na przykładzie pokazanym na Rys.3 widać spękane tylko ziarna jasnoszare, natomiast pozostałe ziarna kruszywa grubego są bez spękań. Konkretnym potwierdzeniem wystąpienia reakcji jest natomiast rozpoznanie jej produktów za pomocą mikroskopii



skaningowej z identyfikacją składu na preparatach wyciętych z odwiertów. Do rozpoznania minerałów reaktywnych w kruszywie biorącym udział w reakcji potrzebne są cienkie szlify (ok. 20  $\mu\text{m}$ ) z betonu oraz optyczny mikroskop polaryzacyjny. Powyższe techniki mikroskopowe dostępne są tylko w nielicznych laboratoriach, m.in. w IPPT PAN. Skuteczne rozpoznanie występowania reakcji bez wykorzystania obu technik mikroskopowych jest niemożliwe.



**Rys. 3.** Przekrój odwiertu betonowego z widocznymi spękaniami ziaren kruszywa [4].

## **2. Wytyczne klasyfikacji kruszyw i zapobiegania reakcji alkalia-kruszywo**

Zgodnie z normą PN-EN 206, jeżeli kruszywo zawiera odmiany krzemionki podatne na reakcję z alkaliami pochodzącymi z cementu, środków odladzających lub innych źródeł, a beton narażony jest na działanie środowiska wilgotnego, trzeba przeciwdziałać szkodliwym skutkom reakcji alkalia-krzemionka. Przeciwdziałanie polega na ograniczeniu właściwości składników i składu betonu stosownie do zagrożenia [5]. Jest to tzw. podejście recepturowe, które zostało systematycznie przedstawione w normach ASTM C1778:2016, AASHTO R-80: 2018, RILEM AAR-7.1:2016 oraz zaadoptowane w Wytycznych Technicznych RID [6]. W odróżnieniu od stosowanego dotychczas dość uproszczonego sposobu oceny reaktywności alkalicznej, nowy system klasyfikacji kruszyw krajowych i zapobiegania szkodliwej reakcji alkalicznej w betonie odwołuje się do europejsko-amerykańskiej strategii przystosowanej do warunków krajowych na podstawie wyników badań m.in. [7-13].

Treść „Wytycznych” opublikowana na stronie internetowej GDDKiA [6] stanowi część zasadniczą oraz załączniki, przedstawiające procedury badawcze stosowane do badania reaktywności kruszyw oraz wskazówki do obliczania zawartości alkaliów w betonie. Poniżej omówiono pokrótce zasadnicze elementy systemu oceny i selekcji kruszyw do betonu przeznaczonego do budowy nawierzchni dróg i drogowych obiektów inżynierskich. Wytyczne Techniczne stanowią dokument „Przepisy w miejscu stosowania” w rozumieniu normy PN-EN 206 w odniesieniu do reakcji alkalia-krzemionka. Powinny mieć zastosowanie do budowy wszystkich dróg, w tym dróg szybkiego ruchu i autostrad oraz infrastruktury drogowej. Wytyczne obejmują wyłącznie kruszywa naturalne do betonu.



### 3. Kategoryzacja reaktywności kruszywa

Do rozpoznania i kategoryzacji podatności kruszywa na reakcję alkalia-krzemionka w betonie stosuje się metody odpowiadające zaleceniom ASTM i RILEM, tj.:

1. Analizę petrograficzną kruszywa według zaleceń Procedury Badawczej PB/3/18 (według Załącznika 3 w [6]),
2. Badanie ekspansji próbek zaprawy z kruszywem w 1 M roztworze NaOH w temperaturze 80°C, opisane w Procedurze Badawczej PB/1/18 (Załącznika 1 w [6]),
3. Badanie ekspansji próbek betonu z kruszywem w środowisku wysokiej wilgotności w temperaturze 38°C, opisane w Procedurze Badawczej PB/2/18 (Załącznika 2 w [6]).

Analiza petrograficzna kruszywa jest badaniem rozpoznawczym, które ma na celu identyfikację potencjalnie reaktywnych minerałów w kruszywie, zwłaszcza za pomocą obserwacji makroskopowych i mikroskopowych na cienkich szlifach. Rozpoznanie minerałów i skał dokonuje się przez odniesienie do lokalnych baz danych oraz doświadczenia petrografa. Badania są ukierunkowane na identyfikację obecności minerałów reaktywnych, m.in. takich jak: opał, krystobalit, trydymit, chalcedon, krypto- oraz mikrokrystaliczny kwarc, oraz kwarc w stanie deformacji. Zależnie od wyników badania, kruszywo przypisuje się do jednej z trzech kategorii reaktywności, z uwzględnieniem dominującego składnika kruszywa (kruszywo krzemionkowe S, kruszywo węglanowe C, kruszywo krzemionkowo-węglanowe SC):

- kategoria I: kruszywo niereaktywne;
- kategoria II: kruszywo potencjalnie reaktywne (niepewność rozpoznania reaktywności);
- kategoria III: kruszywo reaktywne.

Wymienione powyżej metody oznaczania ekspansji próbek zaprawy lub betonu z badanym kruszywem stosuje się do potwierdzenia braku reaktywności oraz do określenia podatności kruszywa na wystąpienie reakcji. Stosuje się kryteria oceny reaktywności kruszywa zgodne z Tablicą 1.

Procedury badawcze PB/1/18 i PB/2/18 dotyczą oceny reaktywności kruszyw mineralnych z wodorotlenkami sodu i potasu występującymi w betonie. Sposób badania ekspansji próbek zaprawy, przechowywanych w 1 M roztworze NaOH w temperaturze 80°C, jest zgodny z metodą przedstawioną w normie ASTM C1260 oraz RILEM AAR-2. Umożliwia stwierdzenie wystąpienia szkodliwej reakcji alkalia-krzemionka w ciągu 16 dni na podstawie oznaczenia zmiany długości próbek zaprawy cementowej z badanym kruszywem. Jest to tzw. przyspieszona metoda badania ekspansji próbek. Długotrwała metoda badania ekspansji próbek betonu jest oparta na zasadach opisanych w normie ASTM C1293 z modyfikacjami wymaganymi w warunkach krajowych, zgodnie ze wskazówkami RILEM AAR-3. Umożliwia stwierdzenie wystąpienia szkodliwej reakcji alkalia-kruszywo w ciągu 365 dni na podstawie oznaczenia zmiany długości próbek betonu z badanym kruszywem.



**Tablica 1.** Ocena reaktywności kruszywa grubego i drobnego na podstawie średniej zmiany długości próbek zaprawy lub próbek betonu zgodnie z procedurami w Wytycznych Technicznych [6]

Kategoria reaktywności kruszywa	Opisowe określenie reaktywności	14-dniowa zmiana długości próbek zaprawy, %	365-dniowa zmiana długości próbek betonu, %
R0	niereaktywne	$\leq 0,10$ (0,15*)	$\leq 0,04$
R1	umiarkowanie reaktywne	$>0,10$ (0,15*); $\leq 0,30$	$>0,04$ ; $\leq 0,12$
R2	silnie reaktywne	$>0,30$ ; $\leq 0,45$	$>0,12$ ; $\leq 0,24$
R3	bardzo silnie reaktywne	$>0,45$	$>0,24$

\* kruszywo drobne

Wymagana częstotliwość oceny reaktywności kruszywa jest zróżnicowana dla producenta kruszywa oraz dla producenta betonu. Zaleca się, aby na etapie zatwierdzania receptury betonu przez nadzór budowy przedstawiać wyniki oznaczenia kategorii reaktywności, przeprowadzonego nie wcześniej niż przed 4 miesiącami, zgodnie z praktyką niemiecką.

Procedury badawcze PB/4/18 i PB/5/18 (wg Załącznika 4 i 5 w [6]) stosuje się do oceny skuteczności środków zapobiegających wystąpieniu szkodliwej reakcji alkalia-krzemionka; stanowią przede wszystkim narzędzia do oceny eksperckiej.

#### 4. Określenie klasy obiektu betonowego i kategorii środowiska

Do określenia przydatności kruszywa do betonu przeznaczonego na nawierzchnie dróg i drogowe obiekty inżynierskie niezbędne jest ustalenie „klasy obiektu” i „kategorii środowiska” ze względu na zagrożenie wystąpieniem szkodliwej reakcji alkalia-kruszywo. W Tablicy 2 przedstawiono klasyfikację obiektów betonowych na podstawie dotkliwości uszkodzeń z tego powodu.

Jeżeli nawet niewielkie uszkodzenia konstrukcji mogą wywołać poważne konsekwencje ekonomiczne lub środowiskowe, bądź zagrazić bezpieczeństwu użytkowników, uszkodzeń nie można tolerować. Umiarkowane ryzyko uszkodzeń wskutek reakcji alkalia-kruszywo można akceptować w elementach konstrukcji, które łatwo wymienić, a jeszcze większe uszkodzenia można tolerować w konstrukcjach tymczasowych. O istotności uszkodzeń w danym obiekcie powinien decydować projektant w porozumieniu z inwestorem (zarządcą obiektu), odnosząc się do programu funkcjonalno-użytkowego, przygotowanego przez inwestora lub zarządcę obiektu. Zasadniczym parametrem klasyfikacji obiektów jest projektowany okres użytkowania i społeczne znaczenie obiektu.



**Tablica 2.** Klasyfikacja obiektów budowlanych i inżynierskich w zależności od konsekwencji wystąpienia szkodliwych efektów reakcji alkalia-kruszywo (ang. Alkali-Aggregate Reaction, AAR) [6]

Klasa obiektu	Konsekwencje wystąpienia reakcji AAR	Akceptowalność szkodliwych efektów AAR	Przykłady
S1	Pomijalne konsekwencje ekonomiczne, w zakresie bezpieczeństwa lub ochrony środowiska	Pewne ryzyko uszkodzenia wskutek AAR można tolerować	Elementy konstrukcji tymczasowych o projektowanym okresie eksploatacji do 5 lat. Nienośne elementy konstrukcji wewnątrz budynków.
S2	Nieznaczące konsekwencje ekonomiczne, w zakresie bezpieczeństwa lub ochrony środowiska	Akceptowalne umiarkowane ryzyko uszkodzeń wskutek AAR	Elementy konstrukcji, które łatwo wymienić, np. chodniki, krawężniki, ścieki.
S3	Znaczące konsekwencje ekonomiczne, w zakresie bezpieczeństwa lub ochrony środowiska	Akceptowalne niewielkie ryzyko uszkodzeń wskutek AAR	Obiekty o projektowanym okresie eksploatacji do 50 lat, np.: <ul style="list-style-type: none"> <li>• nawierzchnie dróg lokalnych i o mniejszym znaczeniu;</li> <li>• ściany oporowe, fundamenty, bariery autostradowe;</li> <li>• drogowe obiekty o trwałości &lt;50 lat *.</li> </ul>
S4	Bardzo poważne konsekwencje ekonomiczne, w zakresie bezpieczeństwa lub ochrony środowiska	Nietolerowane żadne ryzyko uszkodzenia wskutek AAR	Obiekty o projektowanym czasie eksploatacji powyżej 50 lat, np.: <ul style="list-style-type: none"> <li>• nawierzchnie dróg o wysokiej jakości**, dróg klasy A, S, GP;</li> <li>• drogowe obiekty mostowe i tunele *, ***;</li> <li>• obiekty energetyki jądrowej;</li> <li>• zapory wodne;</li> <li>• newralgiczne elementy konstrukcji bardzo trudne do wymiany lub naprawy.</li> </ul>

\* zgodnie z Rozporządzeniem w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie.

\*\* nawierzchnie dróg na strategicznie ważnych odcinkach sieci transportowej A, S, GP, zwłaszcza transeuropejskiej sieci transportowej zgodnie z Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady Europejskiej (UE) Nr 1315/2013/UE z dnia 11 grudnia 2013.

\*\*\* zgodnie z PN-EN 1990 orientacyjny projektowy okres użytkowania mostów i innych konstrukcji inżynierskich wynosi do 100 lat.



Określenia klasy obiektu dokonuje projektant obiektu w uzgodnieniu z jego zarządcą, biorąc pod uwagę m.in.:

- a. zapisy Rozporządzenia [14]:
  - „Przy doborze kruszywa należy uwzględniać: (...)
  - agresywność środowiska, na które będzie narażona konstrukcja;
  - projektowaną trwałość konstrukcji.”
  - „W drogowych obiektach inżynierskich należy stosować kruszywa mineralne niewykazujące szkodliwej reakcji z wodorotlenkami sodu i potasu w betonie.”
- b. Rozporządzenie Ministra Inwestycji i Rozwoju z dnia 13 czerwca 2018 r. (Dz.U. Poz. 1233), zmieniające rozporządzenie w sprawie sposobu deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym, a zwłaszcza str. 14, Lp. 24 - odnośnik 13) dotyczący kruszywa: „Zastosowanie wymagające wysokiego bezpieczeństwa związane jest z oczekiwanym przez stosującego wyrób budowlany stopniem pewności i wiarygodności w odniesieniu do stałości właściwości użytkowych tego wyrobu deklarowanych przez jego producenta.”

Przy określaniu klasy obiektu należy również uwzględnić ekonomiczne uwarunkowania procesu inwestycji i procesu utrzymania obiektu w stanie eksploatacyjnym, przez cały projektowany okres użytkowania.

**Tablica 3.** Kategorie oddziaływań środowiskowych przyjęte w [6]

Kategoria środowiska	Opis środowiska	Ekspozycja elementów obiektu z betonu
E1*	Środowisko suche, chronione przed wilgocią zewnętrzną	- elementy wewnętrzne w budynkach w środowisku suchym.
E2	Środowisko wilgotne bez oddziaływania agresywnego czynników zewnętrznych	- elementy wewnętrzne w budynkach o wysokiej wilgotności; - elementy wystawione na działanie wilgoci z powietrza, nieagresywnych wód podziemnych, zanurzone w wodzie słodkiej lub stale zanurzone w wodzie morskiej; - wewnętrzne elementy masywne.
E3	Środowisko wilgotne z agresywnym oddziaływaniem czynników zewnętrznych	- elementy wystawione na działanie soli odmrażających; - elementy wystawione na cykliczne działanie wody morskiej (zanurzanie i suszenie) lub słony oprysk (strefy rozbryzgu); - wilgotne elementy wystawione na naprzemienne działanie zamarzania i rozmarzania; - wilgotne elementy wystawione na długotrwałe działanie wysokiej temperatury; - jezdnie drogowe poddane obciążeniom zmęczeniowym.
* Kategoria środowiska E1 nie ma zastosowania do betonowych nawierzchni drogowych i drogowych obiektów inżynierskich.		

Równocześnie, niezależnie od stosowania normowych klas agresywności środowiska wg PN-EN 206, warunki oddziaływania środowiska na beton w konstrukcji klasyfikuje się



zgodnie z Tablicą 3, w związku z zagrożeniem występowania reakcji alkalia—kruszywo. Kategorie E1, E2 i E3 nadaje się zgodnie z CEN/TR 16349. Kategoria E3, określająca najwyższe zagrożenie wystąpieniem reakcji alkalia-kruszywo, odpowiada warunkom ekspozycji betonu np. w nawierzchniach autostrad i dróg krajowych, na których stosuje się sole odladzające do zimowego utrzymania. Oddziaływanie środowiska na beton wewnątrz budynków w miejscach suchych podczas eksploatacji odpowiada kategorii E1. W takim środowisku reakcja nie występuje.

Wystąpienie reakcji alkalia-kruszywo jest promowane w elementach wilgotnych, wystawionych na naprzemienne działanie mrozu z oddziaływaniem soli rozmrażających i równocześnie poddanych cyklicznym obciążeniom dynamicznym. Dlatego kategoria środowiska E3 ma powszechne zastosowanie w nawierzchniach dróg i elementach drogowych obiektów inżynierskich.

## 5. Określenie przydatności kruszywa i sposobu zapobiegania szkodliwej reakcji

Aby przeciwdziałać szkodliwym skutkom reakcji alkalia-krzemionka ustala się warunki zastosowania naturalnego kruszywa (spełniającego wymagania PN-EN 12620) w betonie. W drodze postępowania przedstawionego w Tablicy 4 ustala się ryzyko wystąpienia szkodliwej reakcji, określone kombinacją kategorii R, E i S. Recepturowe ograniczenia dotyczące składników betonu, odpowiednie dla obiektów klasy S4, S3, S2 i S1, w kategoriach środowiska E2 i E3, oraz dla kategorii reaktywności kruszywa R0, R1, R2, R3, zostały podane w rozbudowanych tablicach w [5].

W przypadku nawierzchni betonowych i drogowych obiektów inżynierskich kategoria oddziaływań środowiska E1 nie ma zastosowania. Całkowicie wyklucza się użycie kruszyw o kategorii reaktywności R2 i R3 (reaktywne i bardzo reaktywne) w betonie nawierzchniowym i do budowy drogowych obiektów inżynierskich, z uwagi na brak doświadczeń krajowych w tym zakresie.

**Tablica 4.** Postępowanie przy określeniu warunków stosowania kruszywa do betonu [3]

Etapy określenia warunków stosowania kruszywa do betonu	Rezultat klasyfikacji
Rozpoznanie składu mineralnego i kategoryzacja reaktywności kruszywa	Kategoria R0, R1, R2 lub R3
Klasyfikacja obiektu betonowego w odniesieniu do znaczenia potencjalnych uszkodzeń wskutek reakcji alkalia-kruszywo	Klasa S1, S2, S3 lub S4
Kategoryzacja środowiska w związku z występowaniem reakcji alkalia-kruszywo w betonie	Kategoria E1, E2 lub E3

Recepturowe ograniczenia składu betonu obejmują następujące rozwiązania technologiczne:

- dobór kruszywa niereaktywnego (R0) oraz eliminację kruszywa silnie (R2) i bardzo silnie reaktywnego (R3);
- ograniczenie zawartości alkaliów w składzie mieszanki betonowej do 3 kg/m<sup>3</sup>, 2,4 kg/m<sup>3</sup> lub nawet 1,8 kg/m<sup>3</sup>, zależnie od kategorii reaktywności alkalicznej kruszywa przeznaczonego do betonu;
- zastosowanie cementów o niskiej zawartości alkaliów, co pozwala na dotrzymanie warunków granicznej zawartości alkaliów w betonie;



- zastosowanie dodatków mineralnych: popiołu lotnego krzemionkowego i/lub granulowanego żużla wielkopiecowego w mieszance betonowej lub jako składników głównych cementu.

Zawartość alkaliów w składzie betonu, wyrażoną w formie równoważnika sodowego  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ , określa się jako sumę zawartości alkaliów czynnych, pochodzących od wszystkich składników mieszanki betonowej. Przy bilansie alkaliów należy uwzględnić:

- 100% całkowitej zawartości alkaliów w wodzie zarobowej, w domieszkach do betonu, w cemencie portlandzkim CEM I i w klinkierze portlandzkim,
- 10% całkowitej zawartości alkaliów w popiele lotnym krzemionkowym i w granulowanym żużlu wielkopiecowym,
- 0% alkaliów w kruszywie (pomija się ewentualne wymywanie alkaliów z kruszywa).

Przykłady wyznaczania zawartości alkaliów w mieszance betonowej podano w [6] zał.6.

W zależności od kategorii oddziaływania środowiska oraz kategorii reaktywności kruszywa warunki zastosowania kruszywa do betonu są następujące:

a) w obiekcie klasy S4 według Tablicy 2:

- środowisko E2 + kruszywo R0 → zawartość  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$  w betonie maks. 3,0 kg/m<sup>3</sup>;
- środowisko E3 + kruszywo R0 → zawartość  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$  w betonie maks. 2,4 kg/m<sup>3</sup>;
- niezależnie od klasy środowiska kruszywo R1, R2, R3 nie ma zastosowania.

b) w obiekcie klasy S3 według Tablicy 2:

- środowisko E2 + kruszywo R0 → bez ograniczeń w recepturze betonu;
- środowisko E3 + kruszywo R0 → zawartość  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$  w betonie maks. 3,0 kg/m<sup>3</sup>;
- środowisko E2 + kruszywo R1 → zawartość  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$  w betonie maks. 2,4 kg/m<sup>3</sup> i dodatek mineralny min. 20% popiół lotny krzemionkowy albo min. 30% granulowany żużel wielkopiecowy;
- środowisko E3 + kruszywo R1 → zawartość  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$  w betonie maks. 1,8 kg/m<sup>3</sup> i dodatek mineralny min. 20% popiół lotny krzemionkowy albo min. 30% granulowany żużel wielkopiecowy (wymagane potwierdzenie eksperta).

c) w obiekcie klasy S2 według Tablicy 2:

- środowisko E2 + kruszywo R0 → bez ograniczeń w recepturze betonu;
- środowisko E3 + kruszywo R0 → zawartość  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$  w betonie maks. 3,0 kg/m<sup>3</sup>;
- środowisko E2 + kruszywo R1 → zawartość  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$  w betonie maks. 3,0 kg/m<sup>3</sup> lub dodatek mineralny min. 20% popiół lotny krzemionkowy albo min. 30% granulowany żużel wielkopiecowy;
- środowisko E3 + kruszywo R1 → zawartość  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$  w betonie maks. 2,4 kg/m<sup>3</sup> lub dodatek mineralny min. 20% popiół lotny krzemionkowy albo min. 30% granulowany żużel wielkopiecowy.

Dodatki mineralne powinny spełniać wymagania normowe: popiół lotny krzemionkowy kategorii A i kategorii N wg PN-EN 450-1, granulowany żużel wielkopiecowy wg PN-EN 15167-1. Osiągnięcie wymaganego poziomu zabezpieczenia przed wystąpieniem negatywnych efektów reakcji alkalia-krzemionka w przypadku zastosowania kruszywa kategorii R1 umożliwia zastosowanie w składzie cementu lub w składzie betonu powyższych dodatków mineralnych.

## 6. Uwagi końcowe

Wyniki przeprowadzonych badań i analiz wskazują, że zasadniczym sposobem przeciwdziałania uszkodzeniom betonu wskutek reakcji alkalia-kruszywo jest selekcja



kruszywa niereaktywnego oraz ograniczenie zawartości alkaliów w betonie. Do rozpoznania kruszywa niereaktywnego proponuje się metody RILEM i ASTM, wykorzystywane w licznych krajach, również w Europie Środkowej i Zachodniej. Procedury badawcze dostosowane do użycia w warunkach krajowych, opublikowane na stronie GDDKiA, różnią się zasadniczo od aktualnie stosowanej „metody szybkiej”. Aby efektywnie przeprowadzić bilans alkaliów w mieszance betonowej, ich zawartość w poszczególnych składnikach powinna być znana. Zrównoważone wykorzystanie dostępnych kruszyw do produkcji betonu, a jednocześnie wyeliminowanie lub ograniczenie skutków szkodliwej reakcji, wymaga podjęcia określonych środków zapobiegawczych. Ograniczenia recepturowe dobierane są odpowiednio do wyników analizy zagrożeń wystąpienia szkodliwych skutków reakcji alkalia-kruszywo.

## Informacja dodatkowa

Referat przedstawia rezultaty Projektu „Reaktywność alkaliczna krajowych kruszyw” finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad w latach 2016–2019.

## Literatura

- [1] OWSIAK Z., Reakcje kruszyw krzemionkowych z alkaliami w betonie, Ceramika – Polski Biuletyn Ceramiczny, Vol.72, Polskie Towarzystwo Ceramiczne, Kraków 2002.
- [2] NAZIEMIEC Z., GARBACIK A., ADAMSKI G., Długoterminowe badania reaktywności alkalicznej krajowych kruszyw, *Kruszywa Mineralne t.2*, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2018, 151-160.
- [3] GLINICKI M.A., Problem reaktywności kruszywa-cz. 2 kategoryzacja i przeciwdziałanie, *Budownictwo-Technologie-Architektura*, nr 3, 2019, 62-65.
- [4] [https://zmid.waw.pl/inwestycje-zmid/galerie/album=/zadania\\_zakonczone/Estakady\\_Trasy\\_Lazienkowskiej\\_-\\_remont\\_generalny/002\\_20\\_wrzesnia\\_2012\\_r//](https://zmid.waw.pl/inwestycje-zmid/galerie/album=/zadania_zakonczone/Estakady_Trasy_Lazienkowskiej_-_remont_generalny/002_20_wrzesnia_2012_r//).
- [5] GLINICKI M.A., Problem reaktywności kruszywa-cz. 1 rozpoznanie, *Budownictwo-Technologie-Architektura*, nr 1, 2019, 58-60.
- [6] GARBACIK A., GLINICKI M.A., JÓŹWIAK-NIEDŹWIEDZKA D., ADAMSKI G., GIBAS K., Wytyczne techniczne klasyfikacji kruszyw krajowych i zapobiegania reakcji alkalicznej w betonie stosowanym w nawierzchniach dróg i drogowych obiektach inżynierskich (z załącznikami), ICiMB i IPPT PAN, Kraków-Warszawa 2019; <https://www.gddkia.gov.pl/pl/1118/dokumenty-techniczne>.
- [7] JÓŹWIAK-NIEDŹWIEDZKA D., GIBAS K., GLINICKI M.A., Rozpoznanie petrograficzne minerałów reaktywnych w kruszywach krajowych i ich klasyfikacja zgodnie z zasadami RILEM i ASTM. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, 16, 2017, 223-239.
- [8] NAZIEMIEC Z., PABIŚ-MAZGAJ E., Wstępna ocena reaktywności alkalicznej kruszyw łamanych ze złóż polodowcowych rejonu północnej Polski. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, 16, 2017, 203-222.
- [9] NAZIEMIEC Z., Reaktywność alkaliczno-krzemionkowa wybranych krajowych kruszyw drobnych, *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, 17, 2018, 271-283.
- [10] NAZIEMIEC Z., GARBACIK A., ADAMSKI G., Reaktywność alkaliczna krajowych kruszyw. *Kruszywa Mineralne t.1*, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2017, 123-132.
- [11] GLINICKI M.A., JÓŹWIAK-NIEDŹWIEDZKA D., ANTOLIK A., DZIEDZIC K., GIBAS K., Podatność wybranych kruszyw ze skał osadowych na reakcję alkalia-kruszywo, *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, 18, 2019, 5-24.



- [12] JÓŹWIAK-NIEDŹWIEDZKA D., ANTOLIK A., DZIEDZIC K., GLINICKI M.A., GIBAS K., Weryfikacja odporności wybranych kruszyw ze skał magmowych na reakcję z alkaliarni, Roads and Bridges - Drogi i Mosty, 18, 2019, 67-83.
- [13] GÓRALCZYK S., FILIPCZYK M., Aktualne badania reaktywności alkalicznej polskich kruszyw-część II, Kruzywa Mineralne t.2. Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2018, 37-48.
- [14] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 1 sierpnia 2019 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie, Dz. U. poz. 1642, 2019.

## AGGREGATE ALKALI-REACTIVITY PROBLEM

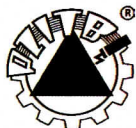
### Summary

Considering the long-time durability of concrete in road infrastructure it is important to control the risk of expansive reaction between sodium and potassium hydroxides in the pore solution and the reactive minerals present in the aggregate. The tendency of some mineral aggregates to react with the alkali hydroxides contained in concrete is still of current interest, in spite of the numerous previous studies and publications. A set of reliable methods was included in a strategy consistent with the ASTM and the RILEM recommendations, was adapted for use in national conditions and is published on the GDDKiA website. The methods are:

- a) a method consisting in the petrographic analysis of thin sections,
- b) a method of investigating the expansion of mortar bar specimens in a 1 N NaOH solution at a temperature of 80°C,
- c) a method of investigating the expansion of concrete prism specimens in a highly humid environment (RH > 95%) at a temperature of 38°C.

The results of research and analysis indicate that the fundamental way to prevent damage of concrete due to the alkali-aggregate reaction is to select non-reactive aggregate and to limit the alkali content in concrete. To effectively balance the alkali in a concrete mix, their content in concrete constituents should be known. Sustainable use of available aggregates for the production of concrete, while eliminating or reducing the effects of a harmful reaction, requires specific preventive measures. Prescriptive limits are selected according to results of the analysis of the risk of harmful effects of the alkali-aggregate reaction.





**PZITB**  
Oddział Małopolski  
w Krakowie

IV KONFERENCJA NAUKOWO -TECHNICZNA

## **TECH - BUD'2019**

Kraków, 13 - 15 listopada 2019 r.

---

### **NOWOCZESNE MATERIAŁY, TECHNIKI I TECHNOLOGIE WE WSPÓŁCZESNYM BUDOWNICTWIE**

**PZITB**

**POLSKI ZWIĄZEK INŻYNIERÓW I TECHNIKÓW BUDOWNICTWA**

Oddział Małopolski w Krakowie

**[www.pzitb.org.pl](http://www.pzitb.org.pl)**