

Trwałość betonu w kontekście reaktywności alkalicznej kruszyw

THE DURABILITY OF CONCRETE IN THE CONTEXT OF THE ALKALI
AGGREGATE REACTIVITY

Streszczenie

Reaktywność kruszyw jest ciągle aktualnym problemem, na który napotykają producenci betonu najczęściej okazjonalnie, ale który może spowodować znaczne problemy z trwałością betonu. W Polsce nie ma obecnie wypracowanego modelu postępowania z kruszywem w kontekście reaktywności alkalicznej, nie ma też zweryfikowanych, pewnych metod badawczych. Nie korzysta się także w wystarczającym stopniu z doświadczeń innych krajów i organizacji zajmujących się problematyką trwałości betonu.

Celem niniejszego artykułu jest pokazanie schematów postępowania w aspekcie reaktywności alkalicznej kruszyw opracowanych w ostatnich latach przez komitet RILEM. Krótko zostały opisane także problemy z reaktywnością krajowych kruszyw oraz został przedstawiony obecnie funkcjonujący w Polsce system norm wykorzystywany w diagnozowaniu reaktywności alkalia-krzemionka.

Abstract

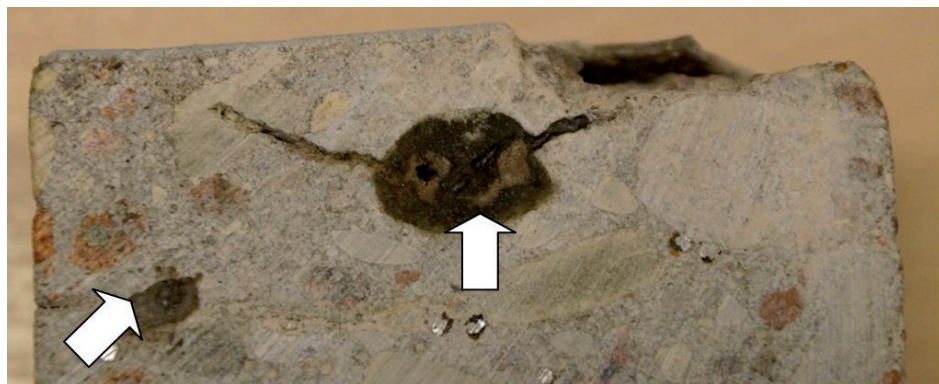
The reactivity of aggregates is a problem which faced concrete producers occasionally. It can cause considerable durability problems of concrete. In Poland there are no procedures regarding the reactivity of alkali. There are no validated test methods. The aim of this article is to show patterns of conduct developed in recent years by a committee RILEM. Briefly are presented problems of reactivity of aggregates in Poland. It presents actually used standards in Poland to study the reactivity of alkali-silica. This paper shows the ways of dealing with durability of concrete according to the guidelines of the RILEM committee.

1. Wstęp

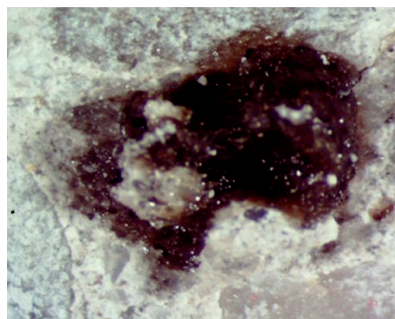
Problem reaktywności alkalicznej kruszyw (AAR – alkali aggregate reaction) jest znany w Polsce od dawna. Już w latach 80. w Instytucie Techniki Budowlanej był prowadzony, we współpracy z innymi jednostkami badawczymi kilkuletni, program dotyczący sposobów zmniejszenia negatywnych skutków reakcji alkalia-krzemionka [1], którego podjęcie było wynikiem pojawiających się informacji na temat odprysków w obiektach budowlanych. Tematem reaktywności alkalicznej zajmowała m.in. Z. Owsiak [2, 3, 4] wydając całą monografię poświęconą temu zagadnieniu [5], S.Góralczyk [6, 7, 8], Cz. Wolska-Kotańska [1], czy J. Babińska [9] i inni.

Obecnie opisywane zniszczenia dotyczą także głównie odprysków [Fot. 1–4], niewiele natomiast wiadomo o zniszczeniach obiektów inżynierskich przejawiających się spękaniem elementów betonowych. Może to być spowodowane trzema czynnikami:

- staranną selekcją kruszyw (przy dużych inwestycjach drogowych i lotniskowych) i stosowaniem cementów niskoalkalicznych,
- brakiem odpowiedniej diagnostyki i/lub
- stosunkowo dobrą jakością krajowych kruszyw.



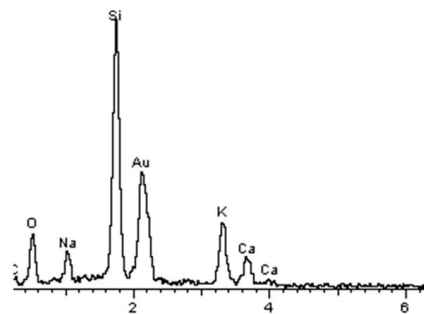
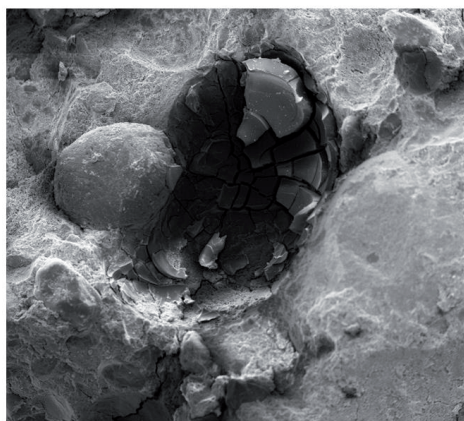
Fot. 1. Półpłynny żel krzemionkowo-alkaliczny wypełniający miejsce po całkowicie przereagowanych kruszywach w głębi betonu; żel wypełnia także symetryczne pęknięcia biegnące od kruszywa do powierzchni próbki



Fot. 2. Wyciekający żel alkaliczno-krzemionkowy – wielkość wycieku 2 mm (pobocznicza odwiertu)



Fot. 3. Stwardniały żel alkaliczno-krzemionkowy (pobocznicza odwiertu)



Fot. 4. Por wypełniony żelem alkaliczno-krzemionkowym (obok analiza EDS typowa dla żelu alkaliczno-krzemionkowego)

O ile pierwsza przyczyna jest bezspornym faktem, o tyle dwie następne to jedynie hipotezy, które należy zweryfikować.

W przypadku dużych inwestycji drogowych pewność co do jakości kruszyw zapewniło Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 roku [10]. Nakazywało ono stosowanie do nawierzchni jedynie kruszyw łamanych, ze wskazaniem na granity i bazalty. Wskazanie to przy inwestycjach mostowych było najczęściej interpretowane dosłownie, jako obowiązek stosowania jedynie tych dwóch rodzajów skał. Nieaktualna już norma lotniskowa [11] także ograniczała stosowanie kruszyw do kruszyw łamanych, jednocześnie zalecając używanie jedynie granitów. Granity, i nieco w mniejszym stopniu bazalty, należą w Polsce do skał, które uważane są za wolne od reaktywności alkalicznej. Ich długoletnie stosowanie zdaje się potwierdzać tą opinię. Z tego powodu, mimo zbytnej surowości obu dokumentów, kluczowe inwestycje w kraju uchroniły się prawdopodobnie przed występowaniem sławetnego „raka betonu”.

Co ciekawe w ten sposób zostały zrealizowane postulaty dokumentu AAR 1.1 RILEM [12], powstałego na podstawie zakończonego w 2006 roku programu PARTNER [13], dotyczącego reaktywności alkalicznej. Według tego dokumentu pierwszym i najważniejszym sposobem na uchronienie się przed skutkami reakcji alkalia-krzemionka jest wiedza na temat historii danego złoża czy typu kruszyw. Dokumenty RILEM opracowane na podstawie tego programu zawierają dodatkowo, oprócz zestawu metod diagnozujących różnego rodzaju reaktywność kruszyw, także zdrowo rozsądkowe podejście do ochrony betonu przed „rakiem”.

2. Dokumenty RILEM

W trakcie trwania i po zakończeniu programu PARTNER RILEM wydało szereg raportów dotyczących reaktywności alkalicznej i metod jej diagnozowania, wszystkie one zostały opublikowane pierwotnie jako artykuły w czasopiśmie *Materials and Structures*, a następnie zebrane w całość w pozycji z cyklu „State of the arte report” komitetu technicznego RILEM 219-ACS [14]. W tabeli 1 zestawiono wykaz poszczególnych raportów oraz tytuł i krótki opis ich zawartości.

Tabela 1. Wykaz dokumentów będących wynikiem programu Partner

Numer dokumentu	Tytuł/opis zawartości
AAR-0 [15]	<p><i>Przewodnik do wykorzystywania metod RILEM w szacowaniu potencjalnej reaktywności kruszyw</i> – zawiera schemat oceny kruszyw pod kątem reaktywności alkalicznej oparty o metody opracowane przez RILEM, postępowanie z kruszywami węglanowymi, materiały referencyjne do badań, kontakty, opis programu i jego podstawy, zasady podziału kruszyw na trzy grupy:</p> <ul style="list-style-type: none"> – bardzo rzadko reaktywne (klasa I); – potencjalnie reaktywne lub o niestabilnej reaktywności (klasa II); – bardzo często reaktywne (klasa III); <p>wraz z ich podziałem na podgrupy.</p>
AAR -1.1	<p><i>Ocena petrograficzna</i> – zawiera dokładny opis procedury badania petrograficznego, wykaz i opis reaktywnych minerałów, definicje, tabele podające przykład reaktywnych skał w różnych krajach, błąd szacowania zawartości poszczególnych składników w zależności od ilości ziaren, preferowane nazewnictwo skał. Celem badania jest podział skał na klasy, ale dokument nie zawiera ostatecznej oceny kruszyw – reaktywność kruszyw często jest właściwa dla danego regionu, stąd najważniejsze są dotychczasowe doświadczenia badaczy.</p>
AAR-2 [16]	<p><i>Przyspieszony test na beleczkach zapraw (diagnostyka kruszyw)</i> – podstawowa, przesiewowa i szybka metoda badania (trwa dwa tygodnie) do reaktywności typu ASR (alkalia–krzemionka). Nie nadaje się do badania kruszyw zawierających więcej niż 2% porowatych krzemieni. Umożliwia wyznaczenie pessimum zawartości danego kruszywa (proporcji w jakiej dane kruszywo jest najbardziej reaktywne – poniżej i powyżej zawartości pessimum kruszywo wykazuje mniejszą ekspansję).</p>
AAR-3 [17]	<p><i>Test beleczek betonowych (diagnostyka stosu okruchowego)</i> prowadzony w 38°C – metoda długotrwała, trwająca rok, wykonywana na beleczkach o długości 250 mm i przekroju 75 mm. Również podaje sposób wyznaczenia pessimum dla danego kruszywa. Metoda weryfikująca wyniki AAR-2.</p>
AAR-4.1	<p><i>Test belek betonowych (diagnostyka stosu okruchowego)</i> prowadzony w 60°C. szybsza wersja metody AAR-3 (trwa ok. 20 tygodni).</p>
AAR-5 [18]	<p><i>Szybki, przesiewowy test kruszyw węglanowych (na beleczkach mikrobetonowych)</i>. Prowadzona razem z metodą AAR-2 pozwala na diagnostykę typu reakcji zachodzącej w kruszywach węglanowych: ACR (reakcja alkalia–węglany) czy ASR (reakcja alkalia–krzemionka).</p>
AAR-6.1	<p><i>Przewodnik po diagnostyce i ocenie uszkodzeń spowodowanych przez AAR w betonie w konstrukcji</i> – część 1 diagnostyka – opisujący reakcję alkalia–kruszywo, jej objawy i sposób badania próbek pobranych z konstrukcji.</p>
AAR-7.1	<p><i>Międzynarodowe specyfikacje minimalizowania uszkodzeń spowodowanych reakcją kruszyw z alkaliemi– reakcja alkalia–krzemionka</i> (opisane szerzej w rozdziale).</p>
AAR-7.2	<p><i>Międzynarodowe specyfikacje minimalizowania uszkodzeń spowodowanych reakcją kruszyw z alkaliemi– reakcja alkalia–węglany</i> (opisane szerzej w rozdziale).</p>
AAR– 7.3	<p><i>Międzynarodowe specyfikacje minimalizowania uszkodzeń spowodowanych reakcją kruszyw z alkaliemi– betonowe tamy i inne obiekty hydrotechniczne</i> – wskazuje na dodatkowe sposoby ochrony obiektów pracujących w skrajnie niekorzystnych mokrych warunkach, których prognozowana trwałość wynosi ponad 100 lat..</p>

W tym roku został jeszcze opublikowany raport AAR-1.2 (atlas skał), natomiast raporty AAR-6.2 (ocena i naprawa uszkodzeń spowodowanych przez reakcję alkalia-kruszywo), AAR-8 (badanie zawartości alkaliów uwalnianych z kruszywa), oraz AAR-9 (modelowanie struktur dotkniętych przez reakcję alkalia-krzemionka) są w przygotowaniu.

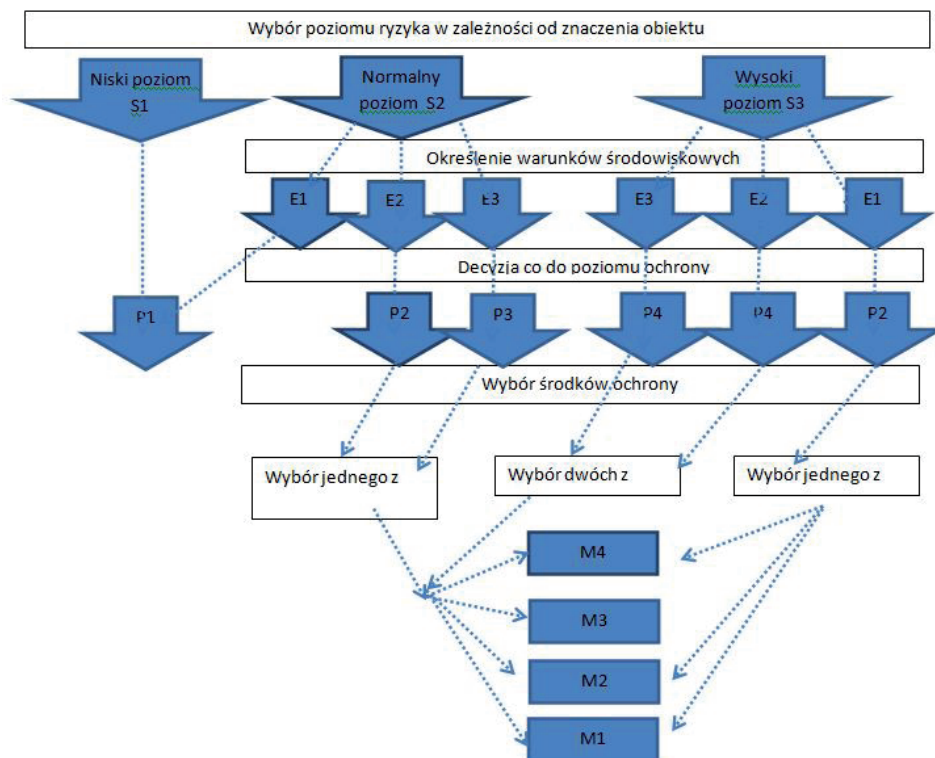
Dokumenty te nie mają do tej pory szerszego zastosowania w praktyce budowlanej. Raporty AAR-0, AAR-1.1, AAR-2, AAR-3, AAR-5 i AAR-4.1 opisujące metody badań muszą zostać dostosowane do lokalnej specyfiki i zweryfikowane na terenie poszczególnych krajów. Tym bardziej, że diagnostyka kruszyw wg ścieżki algorytmu podanej w raporcie AAR-0 zaczyna się od badań petrograficznych, a te muszą być oparte na doświadczeniach krajowych. W Polsce na razie nie ma ich usystematyzowanych – normy na reaktywność alkaliczną mają charakter badań chemicznych i nawet jak zawierają w sobie element obserwacji zachowania się poszczególnych ziaren kruszywa na działanie wodorotlenku sodu, nie przekłada to się na identyfikację ich rodzaju. W dodatku normy te pochodzą jeszcze z lat 90. i albo są w okresie przejściowym i muszą zostać znowelizowane, albo mają status nieaktualnych. Póki co jedyną aktualną normą pozostaje PN-B-06714-46:1992 [19], z której zresztą, na skutek wycofania PN-B-06714-34:1991 [20], zniknęły ostateczne kryteria diagnozy dla kruszyw wykazujących potencjalny stopień reaktywności 1 lub 2, a europejskich norm EN w tym zakresie nie ma.

Pozostałe raporty: AAR-6.1, AAR-7.1, AAR-7.2, AAR-7.3, przedstawiające schematy postępowania w celu zminimalizowania kosztów potencjalnej reaktywności i diagnostykę laboratoryjną reaktywności alkalicznej w terenie, można jednak z powodzeniem wykorzystać w codziennej praktyce budowlanej. Szczególnie dotyczy to raportów AAR-7.1 i AAR-7.2, wskazujących jak prawidłowo ocenić ryzyko dla trwałości nowo powstającej konstrukcji betonowej i zastosować odpowiednie środki zapobiegawcze przed reakcją AAR.

3. Raport AAR 7.1 i raport AAR 7.2

Zarówno raport AAR 7.1, jak i AAR-7.2 przedstawiają zdroworozsądkowe podejście do ochrony betonu przed reakcją alkalia-kruszywo, wskazując na różny poziom zabezpieczeń w zależności od środowiska pracy danej konstrukcji i jej znaczenia. W przeciwieństwie do pozostałych raportów, te dokumenty mogą być wykorzystane przez projektantów i wykonawców. Znacznie ułatwiają one podejmowanie decyzji w stosunku do wymagań materiałowych dla poszczególnych składników betonu i poziomu zabezpieczenia betonu przed reakcją alkalia-krzemionka. Raport AAR 7.1 dotyczy reaktywności alkalia-krzemionka, raport AAR 7.2 skupia się na mniej poznanej i wciąż budzącej kontrowersje reaktywności alkalia-węglany.

Na rysunku 1 dokładnie schemat postępowania przy wyborze odpowiednich poziomów zabezpieczeń przed wystąpieniem reakcji alkalia-krzemionka, wyróżniając wpięrze kategorie „obiektów” i kategorię „środowiska”, tak aby określić ryzyko ekonomiczne powiązane z rodzajem konstrukcji betonowej i warunkami jej eksploatacji. Na rysunku 1 pokazano algorytm postępowania, którego szczegóły omówiono w dalszych podrozdziałach.



Rys. 1. Algorytm postępowania przy wyborze środków ochrony betonu (objaśnienia w tekście)

3.1. Kategorie obiektów

Kategorie obiektów są związane z poziomem ryzyka (ekonomicznego lub związanego z bezpieczeństwem użytkowania). Im wyższa kategoria obiektu tym konsekwencje jego uszkodzenia są większe. Ze względu na to ryzyko obiekty budowlane można podzielić na następujące kategorie:

- S1 – obiekty, których uszkodzenie niesie za sobą małe ryzyko (poziom niskiego ryzyka),
- S2 – typowe obiekty budowlane (poziom normalnego ryzyka)
- S3 – obiekty o dużym znaczeniu i/lub których zniszczenie niesie za sobą bardzo duże konsekwencje finansowe bądź związane z bezpieczeństwem użytkowania (poziom wysokiego ryzyka).

Przykładowe typy obiektów pokazano w tabeli 2.

Tabela 2. Kategorie obiektów

Kategoria	Dopuszczalne uszkodzenia	Przykład elementu/obiektu występującego w danej kategorii
S1	Pewne zniszczenia są dopuszczalne	– nienośne elementy wewnątrz budynków – elementy betonowe o krótkim przewidywanym użytkowaniu i łatwo zastępowalne
S2	Dopuszczalne są niewielkie ślady występowania reakcji alkalia-krzemionka, takie jak powierzchniowy map cracking czy nieliczne, pojedyncze odpryski	– większość obiektów inżynierskich i budynków – większość obiektów o przewidywanym czasie życia do 100 lat – prefabrykaty, których koszt wymiany jest duży (np. podkłady kolejowe)
S3	Niedopuszczalne jakiegokolwiek ślady reakcji alkalia-krzemionka, nawet kosmetyczne	– elementy, których użyteczność przewiduje się na ponad 100 lat – obiekty chroniące środowisko przed szkodliwymi materiałami odpadowymi – kluczowe elementy betonowe, których inspekcja lub zastąpienie w razie uszkodzenia jest niemożliwe – elektrownie jądrowe, tunele, kluczowe mosty lub wiadukty – obiekty, w których ekonomiczne ryzyko braku użyteczności jest nieakceptowane

3.2. Kategorie środowiska

Straty związane z reakcją alkalia krzemionka i ryzyko związane z jej wystąpieniem zależą nie tylko od znaczenia obiektu, ale także od środowiska, w którym obiekt pracuje. Im bardziej wilgotne środowisko i im więcej dodatkowych agresywnych środków się w nim znajduje tym ponoszona ryzyko jest większe. Z tego względu wyróżniono w dokumencie AAR 7.1 następujące kategorie środowiska:

- E1 – beton jest chroniony przed wilgocią
- E2 – beton jest narażony na oddziaływanie wilgoci
- E3 – Na beton oprócz wilgoci działa jeszcze jakiś dodatkowy, agresywny czynnik

Kategorie środowiska i przykłady obiektów narażonych na różne warunki przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Kategorie środowiska

Kategoria	Rodzaj środowiska	Przykład elementu/obiektu narażonego na dane środowisko
E1	Sucho, chronione przed dostępem wody z zewnątrz	– beton wewnątrz budynków
E2	Narażone na wilgoć	– wilgotne pomieszczenia – masywne betony (o najmniejszym wymiarze większym niż 1 m) – betony narażone na zewnętrzne warunki atmosferyczne bez dodatkowych czynników agresywnych

Tabela 3. Cd. Kategorie środowiska

Kategoria	Rodzaj środowiska	Przykład elementu/obiektu narażonego na dane środowisko
E3	Narażone na wilgoć i jakiś dodatkowy agresywny czynnik	<ul style="list-style-type: none"> – obiekty nadmorskie, wodne, elementy dróg odładzane przy pomocy chlorku sodu lub innych agresywnych – środków chemicznych – obiekty narażone na cykle zamarzania/odmarzania, pracujące w wysokich, wilgotnych środowiskach, – drogi narażone na obciążenia

Na marginesie należy zwrócić uwagę, że nieco mylące może być oznaczenie przez autorów raportu kategorii obiektu jako S1, S2, S3, bo te symbole przypisane są do klas konsystencji zdefiniowanych w PN-EN 206: 2014-4, a kategorie środowiska ładząco przypominają klasy agresywności środowiska oznaczanej literą X w tej samej normie.

3.3. Poziom zabezpieczenia

Po zestawieniu ryzyka związanego z agresywnością środowiska i ryzyka związanego z kategorią „struktury” można otrzymać macierz wyboru mówiącą jaki poziom zabezpieczeń powinno się przyjąć w konkretnej sytuacji. Poziomy zabezpieczeń zostały oznaczone jako P1, P2, P3 i P4:

- poziom P1 oznacza, że żadne zabezpieczenia przed AAR nie muszą być stosowane,
- poziom P2 oznacza standardową ochronę przed reaktywnością alkalia krzemionka,
- poziom P3 to specjalna ochrona przed dodatkowymi czynnikami agresywnymi,
- poziom P4 to zastosowanie dwóch metod ochrony przed reaktywnością alkalia-krzemionka.

Zależności te przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Macierz wyboru odpowiedniego poziomu zabezpieczeń

Kategorie struktury	Kategorie środowiska		
	E1	E2	E3
S1	P1	P1	P1
S2	P1	P2	P3
S3	P2	P4	P4

Poziomy zabezpieczeń zostaną dokładniej omówione w dalszej części artykułu.

3.4. Środki ochrony betonu przed reakcją alkalia-krzemionka

Poziomom zabezpieczeń przypisano odpowiednie środki ochrony betonu przed reakcją alkalia-krzemionka. Wyróżniono cztery sposoby zapewnienia trwałości betonu:

- ograniczenie alkaliów w roztworze porowym betonu (M1)
- używanie niereaktywnych kruszyw (M2)
- ograniczenie wilgotności betonu i utrzymywanie go w wystarczająco suchym stanie (M3)
- zmodyfikowanie żelu tak, aby był niereaktywny (M4)

Tabela 5. Środki zapobiegające reakcji alkalia-krzemionka

Środek zapobiegający reakcji alkalia-krzemionka	Opis środka zapobiegającego reakcji alkalia-krzemionka
M1	Ograniczenie zawartości alkaliów w cemencie, betonie lub poprzez stosowanie odpowiedniej jakości dodatków do betonu
M2	Stosowanie niereaktywnych alkalicznie kruszyw
M3	Ograniczenie dostępu wilgoci
M4	Modyfikacja właściwości żelu krzemionkowo-alkalicznego (przez dodatek np. soli litowych)

Pierwsze dwie metody (M1 i M2) są często stosowane i stosunkowo pewne; w metodzie trzeciej (M3) problemem jest zapewnienie wystarczającej efektywności zabezpieczenia betonu przed wilgocią, szczególnie w mokrym klimacie, metoda M4 jest metodą nową, jeszcze niedostatecznie przetestowaną.

W przypadku metod M1 ograniczenie ilości alkaliów w roztworze porowym można osiągnąć na kilka sposobów:

- ograniczyć zawartość alkaliów w cemencie;
- ograniczyć zawartość alkaliów w betonie (wliczając alkalia dostarczone z kruszywem, dodatkami, cementem, domieszkami i wodą);
- zastosować w odpowiedniej proporcji dobrej jakości popioły lotne o małej zawartości wapnia, pył krzemionkowy lub żużel granulowany (tabela 6).

Tabela 6. Przykład zaleceń co do ilości i jakości dodatków (z dokumentu AAR 7.1)

Reaktywność kruszywa	Popiół lotny o zawartości CaO<8% i Na _{20_{eq}} <5%	Popiół lotny o zawartości CaO 8-20 % i Na _{20_{eq}} <5	Żużel wielkopiecowy Na _{20_{eq}} <1,5%
	% masowy zastąpienia cementu		
średnia	25	30	40
duża	40	nie zalecany	50

Należy zauważyć, że przy ograniczeniu alkaliów w betonie można napotkać czasem trudności w określeniu prawidłowej zawartości uwalnianych alkaliów z kruszyw – kruszywa mogą zawierać duże ilości alkaliów, większość z nich jest zwykle niereaktywna, ale czasem niektóre kruszywa mają właściwości jonowymienne – ograniczenie zawartości alkaliów w cemencie może być wtedy również niewystarczające.

Raport AAR 7.2 dotyczący kruszyw węglanowych podobnie klasyfikuje obiekty środowiska i poziomy zabezpieczeń. Niestety, ochrona betonu przed reaktywnością alkalia-węglany jest ograniczona jedynie do dwóch metod:

- unikania kruszyw reaktywnych
- stosowania spoiwa o dużej zawartości żużla wielkopiecowego.

3.5. Stosowanie środków zabezpieczenia przed reakcją alkalia-krzemionka w zależności od poziomu zabezpieczenia

Jak podano wcześniej, można wyróżnić cztery poziomy zabezpieczenia: P1, P2, P3 i P4. W przypadku poziomu P1 nie wymaga się żadnego zabezpieczenia. Uszkodzenia są dopuszczalne, środowisko jest wystarczająco suche aby reakcja nie mogła zajść, lub koszt wymiany elementu betonowego jest na tyle niski, że nie ma potrzeby stosować jakichkolwiek wymagań co do materiałów czy ochrony.

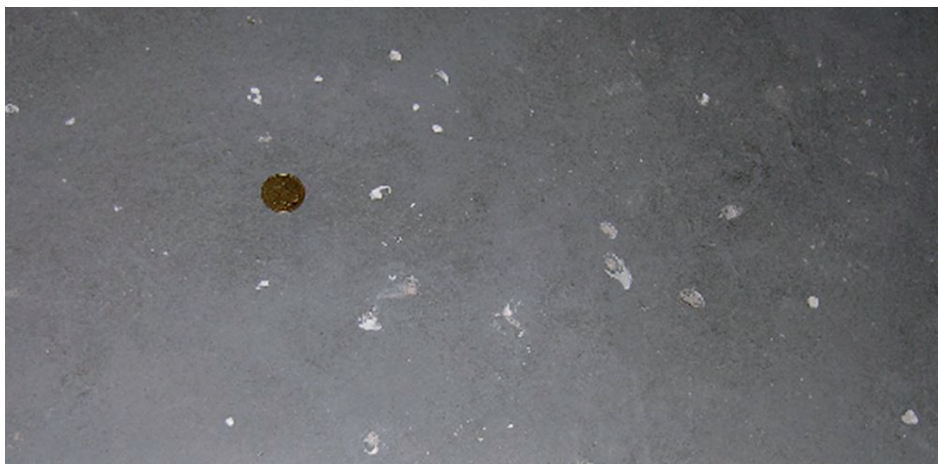
Poziom P2 dopuszcza występowanie niewielkich uszkodzeń, lub uszkodzeń, które mogą być monitorowane i naprawiane. W tym przypadku wystarczy jedynie stosowanie jednej z czterech metod ochrony: M1, M2, M3 lub M4.

Poziom P3 wymaga specjalnych metod ochrony związanych nie tyle z reaktywnością alkaliczną co z innymi czynnikami agresywnymi – np. cyklami zamarzania-odmrażania. Na tym poziomie mogą być akceptowalne niewielkie uszkodzenia, lub uszkodzenia, które mogą być monitorowane i naprawiane. Do ochrony przed potencjalną reaktywnością alkalia – krzemionka stosuje się tutaj jedną z metod ochrony (M1, M2, M3, M4), a dodatkowo skład betonu musi gwarantować jego trwałość w danym, agresywnym środowisku.

Poziom P4, najostrzejszy, to poziom, w którym nie są akceptowalne żadne uszkodzenia spowodowane reakcją alkalia-krzemionka. Powinny być wówczas stosowane przynajmniej dwa środki zapobiegawcze jednocześnie.

4. Reaktywność alkaliczna w Polsce – przykład posadzek betonowych

Reportowane w Polsce zniszczenia spowodowane reakcją alkalia krzemionka pochodzą obecnie głównie z północnej i środkowej części kraju, w których stosuje się niejednorodne kruszywo otoczkowe. Najwięcej problemów przysparzają odpryski występujące na posadzkach przemysłowych, które utwardzane powierzchniowo preparatami mineralnymi charakteryzować się powinny idealnie gładką i lśniącą powierzchnią. Nawet pojedynczy odprysk występujący na takiej płaszczyźnie jest doskonale widoczny z dużej odległości i stanowi zawsze wadę estetyczną. Niekiedy, ze względu na wysokie wymagania sanepidu (np. przy składowaniu żywności) bądź względy bezpieczeństwa (hangary lotnisk) takie pojedyncze opryski utrudniają lub uniemożliwiają wręcz pełnienie przeznaczonej im funkcji. Niestety, w przeciwieństwie do drogownictwa [21], budownictwo kubaturowe nie doczekało się żadnych konkretnych wytycznych dotyczących jakości kruszyw, a panująca na rynku ostra rywalizacja cenowa prowokuje czasem wykorzystywanie kruszyw o nieustalonej historii, nieprzebadanych pod kątem reaktywności alkalicznej i rezygnacji ze stosowania cementów niskoalkalicznych bez wiedzy o reaktywności kruszyw. Należy też mieć świadomość, że metody badań reaktywności alkalicznej są niedoskonałe [22]. Wystarczy sobie uświadomić, że wg normy PN-B 06714-46:1988 kruszywo frakcji 4–8mm może być uznane za niereaktywne, mimo stwierdzenia w próbce o masie 0,5 kg ok. 5–8 ziaren reaktywnych. Taka liczba szkodliwych ziaren nie spowoduje awarii budowlanej, ale przy wykonywaniu posadzki utwardzonej powierzchniowo przyczyni się do obniżenia jej estetyki i funkcji użytkowych (fot. 5).



Fot. 5. Posadzka powierzchniowo utwardzana, z odpryskami spowodowanymi reakcją alkalia-krzemionka (stopień reaktywności kruszywa – 1)

Stosując wskazówki raportu AAR 7.1 należy uznać, że w wielu przypadkach takie posadzki są obiektami typu S3 – ze względów ekonomicznych żadne uszkodzenia, nawet czysto estetyczne, nie są dopuszczalne. Trudniej nieco sprawą się ma z wyborem środowiska, bo przeważnie posadzki nie są narażone na nadmierną wilgoć, ani nie są elementami masywnymi. Z tym, że krajowe kruszywa, jak wskazuje doświadczenie, często należą do kruszyw reagujących bardzo szybko, wówczas, gdy beton jest jeszcze młody i w znacznym stopniu nasycony wodą, stąd, mimo że nie wydaje to się oczywiste, środowisko w przypadku takich posadzek także powinno być przyjęte jako E2. W efekcie wyznaczony powinien być poziom zabezpieczenia P4, wymagający zastosowania przynajmniej dwóch środków ochrony betonu przed reakcją alkalia-krzemionka. W Polsce oznacza to najczęściej stosowanie jednocześnie niereaktywnych kruszyw i cementów niskoalkalicznych.

5. Podsumowanie i wnioski

Komitet techniczny RILEM 219-ACS przygotował w ostatnich latach cały szereg dokumentów dotyczących reaktywności alkalicznej kruszyw, jej diagnostyki, metod identyfikacji w konstrukcji, algorytmów postępowania. Nie wszystkie z tych dokumentów można obecnie wykorzystać w kraju, ale część z nich już obecnie jest warta rozpropagowania, bo znacznie ułatwia podejmowanie decyzji o wyborze metod zabezpieczenia betonu czy diagnostyki betonu w konstrukcji. Metody te należy zmodyfikować pod krajowe warunki i kruszywa.

Najważniejszą metodą badawczą, na której opiera się cały algorytm postępowania w ocenie kruszyw do betonu wg RILEM są badania petrograficzne. W Polsce znajomość petrografii kruszyw pod względem reaktywności alkalicznej jest nieusystematyzowana, co w konsekwencji może odbić się na braku trwałości betonu w konstrukcji.

Literatura

- [1] Cz. Wolska-Kotańska, P. Jaroszewski, A Jarmontowicz, Kaczkowska, D. Zmniejszenie negatywnych skutków reakcji alkalia-kruszywo w betonie: Praca badawcza ITB, niepublikowane, 1987-1991
- [2] J. Zapala-Slaweta, Z. Owsiak The role of lithium compounds in mitigating alkali-gravel aggregate reaction w Construction and Building Materials, T 115, Str 299–303, 2016
- [3] Z. Owsiak P. Czapiak, J. Zapala-Slaweta Assessment gravel aggregate reactivity with alkalis in Relation to methods of test Archives Of Civil Engineering, LX, 4, 2014
- [4] Z. Owsiak Alkali-aggregate reaction in concrete containing high-alkali cement and granite aggregate, Cement and Concrete Research, vol 34, 1, Str: 7–11
- [5] Z. Owsiak Reakcja kruszyw krzemionkowych z alkaliami w betonie 2002, Prace Komisji Nauk Ceramicznych PAN oddział w Krakowie, Ceramika
- [6] Góralczyk S., Łukowska M.: Reaktywność alkaliczna kruszyw węglanowych – identyfikacja i środki zapobiegawcze, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, Studia i Materiały Nr 41, 2012.
- [7] B. Kukielska, S. Góralczyk Reaktywność alkaliczna Kruszyw Mining Science – Mineral Aggregates, vol. 22(1), 2015, 101–110
- [8] S. Góralczyk Reaktywność alkaliczna kruszyw. Nowa europejska metodyka badań i oceny Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej., 2011
- [9] Babińska, J., 2010: Trwałość kruszyw dolomitowych w aspekcie ich zastosowania do betonu w: Dni betonu: Tradycja i nowoczesność. Konferencja, Wisła, 11-13.10. r.- Kraków: Stowarzyszenie Producentów Cementu,
- [10] Rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie
- [11] PN-V-83002:1999
- [12] Sims, P. Nixon RILEM Recommended Test Method AAR-1: Detection of potential alkali-reactivity of aggregates – Petrographic method Materials and Structures, Vol. 36, August-September 2003, pp 480–496
- [13] P.J. Nixon, J. Lindgrd, I. Borchers, B. J. Wigum, B. Schouenbor The Eu „Partner” project- european standard tests to prevent alkali reactions in aggregates. Final results and recommendations Cement and Concrete Research 40(4):611–635 2010
- [14] RILEM Recommendations for the Prevention of Damage by Alkali-Aggregate Reactions in New Concrete Structures. State-of-the-Art Report of the RILEM Technical Committee 219-ACS. Nixon, Philip J. (et al.) (Eds.), ISBN 978-94-017-7252-5, 1st ed. 2016, XVI,
- [15] RILEM TC 191-ARP, 2003: RILEM Recommended Test Method AAR-0 „Detection of potential alkali-reactivity in concrete” Outline guide to the use of RILEM methods in assessments of alkali-reactivity potential. Materials and Structures 261, 36, 472–479
- [16] RILEM, RILEM TC 106-AAR (AAR-2) „Detection of potential alkalireactivity of aggregates – The ultra accelerated mortar bar test” Draft method 2002.
- [17] RILEM, AAR-3 - Detection of potential alkali-reactivity of aggregates – method for aggregate combinations using concrete prisms, Materials and Structures (33) (2000) 290–293
- [18] RILEM (2004): RILEM TC ARP AAR-5, Rapid Preliminary Screening Test for Carbonate Aggregates, version April 2004, RILEM TC 191-ARP, Draft method 2004.
- [19] PN-B-06714-46:1992 - wersja polska. Kruszywa mineralne – Badania – Oznaczanie potencjalnej reaktywności ...
- [20] PN-B-06714-34:1991 – wersja polska. Kruszywa mineralne – Badania – Oznaczanie reaktywności alkalicznej kruszyw
- [21] <http://www.gddkia.gov.pl/pl/1995/Wzorcowe-Warunki-Kontraktowe-WWK-dla-systemu-Projektuj-i-buduj>
- [22] D. Kukielska, S. Góralczyk Identyfikacja reakcji kruszywo – alkalia Kruszywa nr 2, 2015, s. 28–32