

*skały węglowe, beton,
reakcje alkaliczne, klasyfikacja*

Stefan GÓRALCZYK*
Magdalena ŁUKOWSKA

REAKTYWNOŚĆ ALKALICZNA KRUSZYW WĘGLANOWYCH – IDENTYFIKACJA I ŚRODKI ZAPOBIEGAWCZE

W różnych typach skał zwięzłych, a także kruszywach mogą występować zróżnicowane zjawiska chemiczne i fizyczne prowadzące do ich destrukcji, a w przypadku zastosowania kruszyw w obiektach budowlanych – zjawiska prowadzące do ich niszczenia. Mają one wpływ na bezpieczeństwo tych obiektów, stanowiąc również niebagatelny czynnik ekonomiczny w ich użytkowaniu. Stąd wczesne wykrycie zjawisk destrukcyjnych, jeszcze na etapie eksploatacji i przeróbki kruszyw i skał, a także zastosowanie skutecznych metod zapobiegania im jest koniecznością.

Identyfikacja typu skał ulegających reakcjom destrukcji jest przedmiotem badań w ramach prac Technicznego Komitetu RILEM TC ACS „Alkali-Aggregate Reactions in Concrete Structures”, jak również określenie metod zapobiegania występowaniu szkodliwych reakcji ekspansji, tj. reakcji alkalia-węglany.

1. REAKCJE ALKALIA – WĘGLANY

Kruszywa węglanowe zazwyczaj nie są alkalicznie reaktywne. Jednakże występują przypadki w których kruszywa węglanowe mogą wykazywać reaktywność alkaliczną. Są to:

- skały węglanowe zawierające drobno krystaliczne lub amorficzne wtrącenia krzemionki określone jako wapienie krzemionkowe i łatwo ulegające reakcjom alkalicznym. Z uwagi na charakter występującej krzemionki, jej wykrycie przez konwencjonalne badania optyczne jest znacznie utrudnione.
- niektóre dolomityczne skały węglanowe, najczęściej epigenetyczne zawierające m.in. domieszki skał ilastych oraz krzemionki bezpostaciowej zostały uznane za ulegające ekspansji. Należy zaznaczyć, że czyste skały dolomitowe nie są podatne na to zjawisko [3].

* Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, 02-673 Warszawa, ul. Racjonalizacji 6/8, s.goralczyk@imbigs.pl, m.lukowska@imbigs.pl

Mechanizm ekspansji nadal budzi wiele kontrowersji. Jednym z mechanizmów wyjaśniających to zjawisko jest fakt, że w środowisku alkalicznym następuje rozpad (dedolimityzacja) dolomitu przy jednoczesnym wytracaniu się brucytu i kalcytu [3, 6]. Jednakże, badania niektórych skał węglanowych sugerują, że szkodliwa ekspansja w kruszywach dolomitowych spowodowana jest przez reakcje alkalia–krzemionka amorficznego kwarcu, która nie jest wykrywalna pod mikroskopem optycznym [1]. Zgodnie z tym mechanizmem, dedolimityzacja nie powoduje ekspansji, lecz jest pierwszym etapem tego zjawiska powodującym rozluźnienie tekstury skały i umożliwienie wnikięcia w jej struktury roztworów alkalicznych i ich reagowania z krzemionką i minerałami ilastymi. Powoduje to możliwość wystąpienia ekspansji powstającej w wyniku reakcji alkalia–krzemionka bezpostaciowa (ASR) oraz mechaniczne pęcznienie „suchych” minerałów ilastych [3].

Niezależnie od samego mechanizmu, możliwości sterowania reakcjami alkalicznym w kruszywach dolomitowych są znacznie bardziej ograniczone niż w przypadku reakcji alkalia–krzemionka. Podstawową strategią, biorąc pod uwagę obecny poziom wiedzy na temat omawianego zjawiska, jest skoncentrowanie się na identyfikacji i nie stosowaniu takich kruszyw. Jednak doświadczenie sugeruje, że niektóre dolomitowe kruszywa węglanowe mogą być stosowane w betonie, o ile cement zawiera wysoki dodatek żużla hutniczego. W związku z powyższym można przyjąć, że metody zapobiegania występowaniu reakcji alkalicznych powinny opierać się na określeniu wymaganego stopnia środków zapobiegawczych oraz podjęciu realizacji zalecanych środków zapobiegawczych.

2. OKREŚLANIE STOPNIA ŚRODKÓW ZAPOBIEGAWCZYCH

Kluczowe działania skupiają się na scharakteryzowaniu wymagań strukturalnych, cyklu życia i warunków środowiskowych.

2.1. WYMAGANIA STRUKTURALNE I CYKL ŻYCIA

Szkodliwe reakcje alkaliczne w kruszywach przebiegają powoli i stopniowo. Zazwyczaj w umiarkowanym i chłodniejszym klimacie zaczynają powodować widoczne uszkodzenia po 5–10 latach, mogą następować przez kolejne 20, 30 lat, a nawet dłużej. W cieplejszym klimacie reakcje są często przyspieszone. Niektóre kruszywa podlegające reakcjom nie ulegają szybkiemu pogorszeniu ich stanu, ale w końcowym stadium ulegają większej destrukcji. W przypadku reakcji z udziałem potencjalnie reaktywnych kruszyw węglanowych, nawet w betonie zawierającym niewielką zawartość alkaliów pochodzących z cementu, zjawiska ekspansji i uszkodzenia struktur mogą być widoczne już po 3 latach. Uszkodzenia występują w formie pęknięć i destrukcji betonu, czasami prowadzą, także do przemieszczenia poszczególnych elementów konstrukcji. Szybkość występowania oznak reakcji alkalicznych

w betonie z kruszywami węglanowymi jest na tyle korzystna, że występuje najczęściej przed znaczącą destrukcją konstrukcji betonowych. Jest więc czas na działania zapobiegawcze i ochronę konstrukcji.

W zależności od wysokości ryzyka wystąpienia reakcji alkalicznych i wynikającego stąd zagrożenia pogorszenia jakości konstrukcji betonowych wydziela się trzy poziomy ich kategorii: S1 – niskie ryzyko, S2 – normalne ryzyko, S3 – wysokie ryzyko.

Obowiązkiem właściciela, lub organu odpowiedzialnego za konstrukcje budowlane przy współpracy z projektantem jest określenie odpowiedniego poziomu ryzyka. Na decyzję o jego poziomie będzie miało wpływ kilka czynników, m.in. skutki ekonomiczne pogorszenia stanu konstrukcji, kwestie związane z inżynierią i bezpieczeństwem. Inne czynniki, które mają być brane pod uwagę to łatwość, z jaką każde pogorszenie stabilności struktury może być wykryte, monitorowane i zarządzane, a także wygląd struktury betonu. Kryteria wpływające na określenie poziomu ryzyka przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Struktury klasyfikowane według poziomów ryzyka

Kategoria, konsekwencje, uszkodzenia	Dopuszczalność uszkodzeń	Przykłady
S1 – małe lub nieistotne*	akceptowane uszkodzenia w określonym zakresie	<ul style="list-style-type: none"> – nienośne elementy wewnątrz budynków – tymczasowe konstrukcje (10–20 lat) – niewielkie liczby elementów łatwo wymiennych – większość obiektów budownictwa jednorodzinnego
S2 – znaczące*	akceptowane niewielkie uszkodzenia	<ul style="list-style-type: none"> – większość budynków i budowli inżynierskich – elementy prefabrykowane gdzie koszty wymiany są wysokie, np. podkłady kolejowe – obiekty zwykle przeznaczone do eksploatacji przez 100 lat
S3 – poważne*	nieakceptowane znaczące uszkodzenia	<ul style="list-style-type: none"> – obiekty o długiej żywotności (+100 lat) lub bardzo krytyczne konstrukcje: – instalacje jądrowe, tamy, tunele – wyjątkowo ważne mosty lub wiadukty – struktury do przechowywania materiałów niebezpiecznych – istotne elementy trudne do wymiany lub badania ich stopnia uszkodzeń – struktury których niefunkcjonalność spowoduje wysokie szkody ekonomiczne

* konsekwencje ekonomiczne, środowiskowe lub w zakresie bezpieczeństwa.

2.2. WARUNKI ŚRODOWISKOWE

W przypadku występowania wszystkich czynników składowych, prawdopodobieństwo i stopień szkodliwości reakcji alkalia–kruszywa węglanowe zależy przede wszystkim od narażenia na występowanie wilgoci. W większości przypadków, dostarczenie wilgoci do betonu jest konieczne. Inne, obciążające czynniki, które będą miały wpływ na prawdopodobieństwo uszkodzenia i jego nasilenia się, to zastosowanie chlorku sodu obecnego w solach drogowych, działanie wody morskiej i synergiczne efekty zamrażania i rozmrażania uszkodzonych elementów. Takim czynnikiem może być również zmienność obciążeń w przypadku dróg betonowych.

Wydziela się trzy poziomy kategorii środowiska wpływających na intensywność występowania reakcji alkalia–kruszywa węglanowe:

E1 – beton jest początkowo chroniony przed zewnętrzną wilgocią,

E2 – beton jest narażony na dodatkową wilgoć,

E3 – beton jest narażony na dodatkową wilgoć i czynniki zewnętrzne takie, jak sole odmrażające, zamrażanie i rozmrażanie oraz zmienny wpływ środowiska morskiego (nawilżanie i osuszanie).

Wpływ czynników środowiskowych na reakcje alkaliczne z udziałem kruszyw węglanowych nie jest tak dominujący jak w przypadku reakcji alkalia–krzemionka. Jednakże jest on konieczny, aby wystąpiły reakcje alkaliczne. Stąd wydzielenie trzech kategorii E1 (warunki suche) oraz E2 i E3 (warunki wilgotne). Więcej szczegółowych informacji na temat warunków środowiskowych przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Klasyfikacja środowiskowa

Klasa	Opis	Środowisko zastosowanego betonu
E1	suche otoczenie, osłonięte od dodatkowej wilgoci	– beton stosowany wewnątrz budynków w suchych warunkach
E2	środowisko narażone na dodatkową wilgoć	– betonu w budynkach, gdzie wilgotność jest wysoka; np. pralnie, zbiorniki, baseny – beton narażony na wilgoć z warunków zewnętrznych lub zanurzony w wodzie – wewnętrzne masy betonowe
E3	środowisko narażone na dodatkową wilgoć oraz inne czynniki środowiskowe	– wewnętrzny lub zewnętrzny beton narażony na działanie soli do odladzania – beton narażony na moczenie i suszenie wodą morską lub na posypywanie solą – mokry beton narażony na zamrażanie i rozmrażanie – mokry beton narażony na długotrwałe zmiany temperaturowe – betonowe drogi narażone na różne obciążenia

2.3. ŚRODKI ZAPOBIEGAWCZE

Klasyfikacja strukturalna i środowiskowa jest połączona z poziomem zastosowania środków zapobiegawczych wg tabeli 3, gdzie podano trzy poziomy środków zapobiegawczych.

Tabela 3

Określenie poziomu zastosowanych środków zapobiegawczych

Kategoria struktury	Klasa środowiskowa		
	E1	E2	E3
	Poziom środków zapobiegawczych		
S1	P1	P1	P1
S2	P1	P2	P3
S3	P2	P4	P4

Poziom P1 – brak konkretnych środków zapobiegawczych, *Poziom P2* – standardowy poziom środków, *Poziom P3* – wyjątkowy poziom środków, *Poziom P4* – nadzwyczajny poziom środków.

3. UNIKNIĘCIE WYSTĘPOWANIA REAKCJI ALKALICZNYCH W BETONACH Z KRUSZYWEM WĘGLANOWYM

Kluczową kwestią w zapobieganiu występowania reakcji alkalicznych jest zidentyfikowanie potencjalnie podatnych na to zjawisko kruszyw. W danym regionie występowanie tych kruszyw powinno być określone na podstawie procedur badawczych.

3.1. IDENTYFIKACJA POTENCJALNIE SZKODLIWYCH SKAŁ WĘGLANOWYCH

Każda skała węglanowa potencjalnie zagrożona reakcjami alkalicznymi jest poddawana badaniom zgodnie z metodami opracowanymi w ramach prac projektu badawczego PARTNER oraz Komitetu Technicznego ARP RILEM TC 191. Dokument AAR-0 Aneks A [7] obejmuje ogólne wytyczne stosowania metod badawczych reaktywności alkalicznej w skałach węglanowych, a dokument AAR-1 skupia się na technikach badań petrograficznych [8]. Jeżeli w wyniku tych badań zostanie zidentyfikowana potencjalna reaktywność alkaliczna–kruszywo, należy dodatkowo ocenić za pomocą badania w beleczkach betonowych [9] oraz z zastosowaniem przyspieszonej metody badania [10]. Nowe metody identyfikacji i oceny reaktywności alkalicznej, szczególnie tzw. metody przyspieszone i szybkie są szczególnie przydatne do oceny reakcji alkalia – krzemionka bezpostaciowa (ASR) w kruszywach, w których udział krzemionki jest niewielki, a rozwój reakcji powolny. Dodatkowo, metody szybkie dobrze identyfikują reakcje alkalia – węglany (ACR), charakteryzujące się niską intensywnością. Można je również stosować w przypadku konieczności szybkiej oceny surowca. Natomiast metody długotrwałe charakteryzują się wyższą precyzją oceny dla

reakcji alkalia–krzemionka i dobrze odwzorowują ich rozwój i wzrost intensywności w funkcji czasu [4].

Osiągnięte wyniki badań oraz porównanie ich z kryteriami określonymi w cytowanych dokumentach umożliwi zidentyfikowanie występowania skał węglanowych, potencjalnie reaktywnych. Metody badawcze opisane zostały również w publikacjach [2, 5].

4. PODSUMOWANIE

Ze względu na złożoność zjawiska reakcji alkalicznych, uzależnionego od wielu czynników powinno być ono analizowane dla przypadków związanych z konkretnym kruszywem (skład mineralny, pochodzenie, geneza), a także z użytym cementem oraz kierunkiem i lokalizacją jego zastosowania oraz występującymi czynnikami atmosferycznymi w danym regionie. Zatem istotne jest aby metody badań i oceny tego zjawiska były dobierane przy uwzględnieniu wymienionych opisanych czynników, a także przy określeniu typu litologicznego kruszywa.

Zastosowanie metod badawczych opracowanych na podstawie wieloletnich badań w ramach Komitetu TC 191 RILEM pozwoli na właściwą ocenę kruszyw potencjalnie reaktywnych, określi możliwe kierunki ich stosowania, a także podjęcie we właściwym czasie odpowiednich środków przeciwdziałania skutkom destrukcyjnym.

LITERATURA

- [1] KATAYAMA T., *How to identify carbonate rock reactions in concrete*, Proceedings of the 6th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials, Trondheim 2003.
- [2] GÓRALCZYK S., *Reaktywność alkaliczna kruszyw – czas wprowadzić doskonalsze metody badania*, *Kruszywa*, nr 2/2010.
- [3] GÓRALCZYK S., *Reaktywność alkaliczna kruszyw węglanowych*, *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa PWr.* 108, nr 40, 2004.
- [4] GÓRALCZYK S., *Nowe kierunki badań i oceny reaktywności alkalicznej kruszyw*, *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa PWr.* 97, nr 33, 2002.
- [5] GÓRALCZYK S., *Nowe metody badań i oceny reaktywności alkalicznej kruszyw w UE*, *Materiały Budowlane*, nr 11/2011.
- [6] GILLOTT J.E., SWENSON E.G., *Mechanism of the alkali-carbonate rock reaction*, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 7–24, 1969.
- [7] RILEM *Recommended Test Method. AAR-0, Outline guide to the use of RILEM methods in assessments of aggregates for AAR potential*, *Materials and Structures*, 36 (261), 2003.
- [8] RILEM *Recommended test Method. AAR-1, Detection of potential reactivity of aggregates: petrographic method*, *Materials and Structures*, 36 (261), 2003.
- [9] RILEM *Recommended Test Method. AAR-2, Detection of potential alkali–reactivity of aggregates – The ultra-accelerated mortar-bar test*, *Materials and Structures*, 33 (229), 2000.
- [10] RILEM *Recommended Test Method, AAR-3, Detection of potential alkali–reactivity of aggregates – Method for aggregate combinations using concrete prisms*, *Materials and Structures*, 33 (229), 2000.

ALKALI REACTIONS IN CARBONATE AGGREGATES
– IDENTIFICATION AND PRECAUTION

Different types of rocks and loose natural aggregates (sand and gravel) may exhibit different chemical and physical phenomena leading to their destruction and in the case of applying aggregates in construction elements (concrete forms, road and railway facilities) the phenomenon leading to their destruction. They affect the safety of buildings and also provide a substantial cost factor in their use. Thus, early detection of destructive phenomena at the stage of exploitation and processing of aggregates and rock and the application of effective methods of preventing them is a necessity.