

Fot. Wiadukty Trasy Łazienkowskiej w Warszawie przez rozbiorczą otuliną, skorodowanym zbrojeniem stalowym, spękaniami i wysiękami; źródło: https://zmid.waw.pl/inwestycje-zmid/galerie/album=/zadania_zakonczone/Estakady_Trasy_Lazienkowskiej_-_remont_generalny/002_20_wrzesnia_2012_r//



Problem reaktywności kruszywa – cz. 1 rozpoznanie

Przemysł cementowy uznaje, że problem reaktywności to problem jakości kruszywa. Producenci kruszyw mineralnych uważają, że reaktywność jest problemem jakości cementu. A Komisja Europejska uważa, że najważniejszy jest wolny handel. Tak w skrócie można scharakteryzować stan normalizacji betonu i jego składników według Europejskiego Komitetu Normalizacyjnego CEN w zakresie bardzo istotnym dla zarządców i użytkowników obiektów betonowych, zwłaszcza nawierzchni kluczowych autostrad i mostów, projektowanych co najmniej na 50-100 lat użytkowania.

Definicję reakcji alkalia-kruszywo podaje prof. Wiesław Kurdowski w znanej monografii „Chemia cementu i betonu”. W prostych słowach jest to podatność pewnych rodzajów kruszyw, zawierających reaktywne minerały, na reakcję z zaczynem cementowym w betonie. Normy stosowane w Polsce przynajmniej od początku lat 90. XX wieku dotyczą oznaczania reaktywności alkalicznej:

- PN-B-06714-46:1992 Kruszywa mineralne – Badania – Oznaczanie potencjalnej reaktywności alkalicznej metodą szybką
- PN-B-06714-47:1988 Kruszywa mineralne – Badania – Oznaczanie potencjalnej reaktywności alkalicznej – Oznaczanie zawartości krzemionki rozpuszczalnej w wodorotlenku sodowym (NaOH)
- PN-B-06714-34:1991 Kruszywa mineralne – Badania – Oznaczanie reaktywności alkalicznej.

Za wyjątkiem pierwszej z nich, normy zostały wycofane ze zbioru aktualnych norm PKN w związku z akcesem do CEN (obowiązkowe wycofanie norm sprzecznych z EN, pisał o tym wielokrotnie prof. Stefan Góralczyk). Dotychczasowy stan techniki

krajowej w zakresie rozpoznawania kruszyw reaktywnych opiera się przede wszystkim na tych metodach normowych. Należy przypomnieć, że pierwowzorem krajowych norm były m.in. ówczesne wersje norm ASTM C227 (metoda beleczkowa) i ASTM C 289 (metoda chemiczna). Obie wspomniane normy – jako przestarzałe – zostały już wycofane ze zbioru ASTM.

Podstawowe normy materiałowe w technologii betonu PN-EN 206 (beton), PN-EN 12620 (kruszywa) i PN-EN 197-1 (cement) właściwie prześlizgują się nad problemem reakcji alkalia-kruszywo. Nie pomijają całkowicie, ale – zgodnie z praktykowaną zasadą wielu norm EN – pozostawiają sprawę do rozstrzygnięcia na podstawie „przepisów obowiązujących w miejscu stosowania”. W krajach takich jak Niemcy, Wielka Brytania, Francja i in. miejscowe przepisy są bardzo rozwinięte. Producenci kruszyw w Polsce wystawiają deklaracje właściwości użytkowych zgodnie z PN-EN 12620 jedynie na podstawie stopnia potencjalnej reaktywności alkalicznej (na ogół zerowego). Oznaczenie stopnia metodą szybką wg PN-B-06714-46 polega na badaniu reakcji kruszywa z wodorotlenkiem sodu i określeniu wagowego ubytku masy kruszywa. Przyjęto się uważać, że tak oznaczony zerowy stopień potencjalnej reaktywności jest równoznaczny z brakiem reaktywnych składników kruszywa, że to stanowi odpowiednie zabezpieczenie przed szkodliwą reakcją alkalia-kruszywo. Niestety w wielu przypadkach nie jest to ocena wiarygodna.

Ewolucję poglądów na temat występowania reakcji alkalia-kruszywo w betonie w sposób interesujący ilustruje przypadek Wielkiej Brytanii. Uszkodzenia betonu z tej przyczyny były uważane za pro-

blemy egzotyczne, zamorskie – tak je traktował prof. Adam Neville w swoim dziele „Właściwości betonu”, w wydaniach z roku 1963 i 1973. W kolejnych wydaniach książki (co wiemy również z przekładów na język polski) podejście do zagadnienia reakcji alkalia-kruszywo zasadniczo się zmieniło, zwłaszcza po wykryciu uszkodzeń zapory wodnej Val de la Mare na Jersey, uszkodzeń elektrowni i parkingu wielopoziomowego w Plymouth. Znaczne uszkodzenia konstrukcji betonowych zidentyfikowano też w przypadku użycia piasków z dna morskiego, zawierających reaktywne formy kwarcu, a także zanieczyszczonego solą morską, co przyczyniło się do zwiększenia całkowitej zawartości sodu w betonie. Kluczem do rozwiązania problemu była odpowiednia diagnostyka betonu w konstrukcjach i kwalifikacja reaktywności kruszyw umożliwiająca ich właściwą selekcję. Regulacje normatywne odpowiadające aktualnemu stanowi wiedzy i techniki zawarte są w normach BS 8500-1 i -2 opublikowanych w 2015 roku. Jak twierdzi dr Ian Sims, wieloletni lider tematycznych komitetów RILEM, zagrożenie konstrukcji betonowych w wyniku reakcji alkalia-kruszywo uznaje się obecnie za umiarkowane i traktuje się podobnie jak inne rodzaje agresywnego oddziaływania na beton. Bez demonizowania zagrożenia, bez bezsensownego nazywania „rakim betonu”.

Znane są lekceważące opinie na temat znaczenia reakcji alkalia-kruszywo w betonowych obiektach w Polsce. Czy ktoś widział, żeby wskutek reakcji zawaliła się jakaś konstrukcja? Rzeczywiście nie mamy spektakularnych przypadków, takich jak pęcznienie zapory wodnej Mactaquac (New Brunswick w Kanadzie), osiągające 20-30 cm, wraz ze spękaniem widocznymi przez całą grubość konstrukcji. Nie mamy spektakularnych przypadków zniszczeń nawierzchni autostradowych, jak w Niemczech na autostradzie A9 w Saksonii-Anhalt (rozległość uszkodzeń wzbudziła nawet debatę w Bundestagu). Katastrofy też są nieznanne, chociaż w tym przypadku zarzut jest błędnie postawiony: zawalenie konstrukcji oznaczałoby przede wszystkim zaniedbanie w zakresie regularnych inspekcji i utrzymywania obiektu. Każdy inżynier wie, że warunkiem koniecznym, chociaż niewystarczającym, do uzyskania projektowanej trwałości konstrukcji, są regularne zabiegi utrzymaniowe po jej oddaniu do eksploatacji. Ale pojawia się tu kwestia umiejętności rozpoznania symptomów reakcji alkalia-kruszywo.

Dostępna dokumentacja uszkodzeń betonowych obiektów w Polsce w ogóle jest skąpa. Identyfikacja symptomów występowania szkodliwej reakcji alkalia-kruszywo nie należy do rutynowych czynności podczas przeglądów konstrukcji. Przynajmniej mnie nie wiadomo o odpowiednich instrukcjach dla inspektorów mostów czy innych konstrukcji inżynierskich. Zewnętrzne symptomy wystąpienia reakcji trudno odróżnić od uszkodzeń betonu wywołanych przez mróz, agresję siarczanową, korozję stali czy nadmierny skurcz przy wysychaniu. Są to na ogół spęknięcia, 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



przeznaczonych przez występujące jednocześnie inne mechanizmy destrukcji może być wyjaśnieniem przekonania o małym znaczeniu zjawiska w Polsce. Wiele obiektów inżynierskich zbudowanych w latach 70. i 80. XX wieku zostało już rozebranych i zastąpionych nowymi, bez specjalnego poszukiwania symptomów reakcji alkalia-kruszywo (fot.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 (fot.2 i 3).

Elementarnym wskazaniem możliwości wystąpienia reakcji alkalia-kruszywo w betonie są spęknięcia ziaren kruszywa lub specyficzne otoczki ziaren, które są widoczne gołym okiem na przekrojach od-

Fot. 2. Betonowy mur oporowy ze spękaniem i wysiękami m.in. z powodu reakcji alkalia-kruszywo



Fot. 3. Nawierzchnia betonowej drogi ze spękaniem z powodu reakcji alkalia-kruszywo



Fot. 4. Przekrój odwiertu betonowego z widocznymi spękaniami ziaren kruszywa (ale tylko jasnoszarych, ziarna ciemnoszare nie-spękałe)

wiertów 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 fot. 4 widać spękałe tylko ziarna jasnoszare, natomiast pozostałe ziarna kruszywa grubego 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 z betonu o grubości 20 mikrometrów 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.

Rozpoznanie intensywności reakcji występującej w betonie wymaga ilościowej oceny stopnia uszkodzenia, najlepiej przez ilościową ocenę zarysowań w przekrojach elementów oraz ocenę degradacji właściwości sprężystych lub wytrzymałości, lub przepuszczalności. Obecność produktów reakcji w betonie przy jednoczesnym niewielkim stopniu jego spękania może oznaczać, że reakcja jest w stadium początkowym i upłynie jeszcze wiele lat, zanim nastąpi zniszczenie konstrukcji. Szkodliwość reakcji zależy od rodzaju konstrukcji: nie dopuszczamy możliwości wystąpienia jakichkolwiek uszkodzeń wskutek reakcji alkalia-kruszywo, np. w osłonach reaktorów jądrowych, mostach, nawierzchniach autostradowych i innych obiektach o kluczowym znaczeniu ekonomicznym, społecznym, środowiskowym. W obiektach tymczasowych można dopuścić uszkodzenia, oczekując ich nieznacznych skutków ekonomicznych. Ciekawy przypadek ilustruje fot. 5: wywołane prawdopodobną reakcją spękania bloków betonowych tworzących pomnik w centrum Berlina są na tyle duże, że niektóre bloki wymagały wzmocnienia za pomocą opasek metalowych. Znaczenie ekonomiczne niewielkie, ale efekt estetyczny pomnika mocno popsuty i to jest, moim zdaniem, kompromitacja technologów betonu.

Warto w tym miejscu wspomnieć, że pewien konserwatywizm stosowanych od wielu lat krajowych przepisów w zakresie jakości materiałów do budowy dróg, mostów i lotnisk z betonu mógł też przyczynić się pozytywnie do redukcji występowania reakcji alkalia-kruszywo. Na nawierzchnie lotniskowe tradycyjnie stosowano kruszywa granitowe

z wyselekcjonowanej kopalni, o ustalonej przydatności do wykonania trwałego betonu nawierzchniowego. Preferowanymi kruszywami do betonu na drogowe obiekty inżynierskie były tradycyjnie kruszywa z bazaltu i granitu o ustalonej przydatności, natomiast stosowanie innych kruszyw było obwarowane koniecznością przeprowadzenia dodatkowych badań sprawdzających. Równie powszechne w specyfikacjach technicznych było wymaganie stosowania cementu NA albo cementu specjalnego „drogowego” lub „mostowego”. Można powiedzieć, że dostęp do rynku betonu na nawierzchnie drogowe i obiekty inżynierskie był mocno ograniczony. W związku ze wspomnianą w pierwszym akapicie ideą wolnego handlu europejskiego niemożliwe jest formułowanie specyfikacji materiałowych w sposób tradycyjny.

Działający od roku 2014 Komitet Techniczny RILEM TC-258 AAA zrzesza ekspertów związanych z przemysłem cementowym lub z producentami kruszyw, a także z niezależnych ośrodków naukowych; wielu z nich aktywnie uczestniczy w pracach normalizacyjnych CEN. Debaty na tym forum dotyczą sedna sprawy, a celem spotkań i wspólnej pracy jest poprawa naszkicowanego powyżej stanu normalizacji przez opracowanie bardziej doskonałych metod rozpoznania i przeciwdziałania szkodliwym skutkom reakcji alkalia-kruszywo, zwłaszcza w warunkach eksploatacyjnych. Jak stwierdza prof. Børge Wigum (przewodniczący), mandat Komisji Europejskiej dla CEN ewidentnie nie obejmuje tych zagadnień – w perspektywie najbliższych lat nie należy liczyć na normę EN dotyczącą reaktywności kruszyw do betonu. Pojawi się natomiast norma dotycząca określania zawartości alkaliów w betonie. Co najwyżej raport techniczny CEN/TR 16349 z roku 2012 może zyskać większą rangę przez przekształcenie w specyfikację techniczną CEN/TS. W tym raporcie przedstawione są ogólne, ramowe zalecenia do unikania szkodliwej reakcji alkalia-krzemionka w betonie. Zaproponowano stosowanie metod RILEM do rozpoznania kruszyw niereaktywnych po ich weryfikacji w miejscu stosowania. Właśnie takie działania podjęte zostały przez konsorcjum ICIMB-Oddział Kraków i IPPT PAN-Warszawa w ramach projektu „Reaktywność alkaliczna kruszyw krajowych” współfinansowanego przez NCBiR i GDDKiA. Kolejna część artykułu będzie poświęcona omówieniu opracowanych procedur badawczych i rezultatów uzyskanych w trakcie realizacji projektu.

prof. Michał A. Glinicki
IPPT PAN Warszawa

Fot. 5. Widok betonowych bloków tworzących Pomnik Pomordowanych Żydów Europy w Berlinie z symptomami prawdopodobnej reakcji alkalia-kruszywo (wysięki żelu, spękania) i wzmocnieniem obejmami z blachy

