

Wytyczne techniczne klasyfikacji kruszyw krajowych i zapobiegania reakcji alkalicznej w betonie stosowanym w nawierzchniach dróg i drogowych obiektach inżynierskich

Dokument ten jest zgodny z zatwierdzoną wersją. Dokument stanowi uzupełnienie zapisów norm PN-EN 206 Beton: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność, PN-EN 12620 Kruszywa do betonu oraz Ogólnej Specyfikacji Technicznej OST D-05.03.04 Nawierzchnia z betonu cementowego, w zakresie reaktywności kruszywa do betonu.

czerwiec 2019



Projekt realizowany w ramach Wspólnego Przedsięwzięcia RID,
finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju
oraz Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad



Wytyczne techniczne klasyfikacji kruszyw krajowych i zapobiegania reakcji alkalicznej w betonie stosowanym w nawierzchniach dróg i drogowych obiektach inżynierskich

Końcowy wynik prac nad Projektem będącym przedmiotem umowy pn:
REAKTYWNOŚĆ ALKALICZNA KRAJOWYCH KRUSZYW



Akronim Projektu	OT1-1C/ICMB-IPPT
Numer umowy:	DZP/RID-I-37/6/NCBR/2016
Beneficjenci:	INSTYTUT CERAMIKI I MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH INSTYTUT PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI PAN
Kierownik Projektu:	Albin Garbacik
Autorzy:	Albin Garbacik, Michał A. Glinicki, Daria Józwiak-Niedźwiedzka, Grzegorz Adamski, Karolina Gibas
Data rozpoczęcia:	01.01.2016
Data zakończenia:	31.03.2019

SPIS TREŚCI

WPROWADZENIE.....	5
1. ZAKRES ZASTOSOWANIA	9
1.1. DEFINICJE	11
1.2. ODNIESIENIA NORMATYWNE	13
2. ANALIZA ZAGROŻEŃ WYSTĄPIENIA REAKCJI ALKALIA-KRUSZYWO	15
2.1. INFORMACJE OGÓLNE	15
2.2. KLASYFIKACJA REAKTYWNOŚCI KRUSZYWA	16
2.2.1. REAKCJA ALKALIA-KRZEMIONKA	16
2.2.2. REAKCJA ALKALIA-WĘGLANY	18
2.3. KATEGORIA ODDZIAŁYWAŃ ŚRODOWISKOWYCH	19
2.4. KLASYFIKACJA OBIEKTÓW BUDOWLANYCH I INŻYNIERSKICH	20
3. DOBÓR ŚRODKÓW ZAPOBIEGAJĄCYCH WYSTĄPIENIU REAKCJI ASR	22
4. WYMAGANIA ODNOŚNIE DO SKŁADNIKÓW BETONU	25
4.1. WYMAGANIA OGÓLNE	25
4.2. DODATKOWE WARUNKI DOSTAW CEMENTU	26
5. WYMAGANIA DOTYCZĄCE SKŁADU BETONU	27
5.1. PROJEKTOWANIE MIESZANKI BETONOWEJ Z UWZGLĘDNIENIEM REAKCJI ALKALIA-KRZEMIONKA	27
5.2. OBLICZANIE ZAWARTOŚCI ALKALIÓW W RECEPTURZE BETONU	27
5.3. METODY OGRANICZENIA ZAWARTOŚCI ALKALIÓW W BETONIE	28
6. WYTYCZNE DOTYCZĄCE KONTROLI PRODUKCJI, OCENY REAKTYWNOŚCI KRUSZYW DO BETONU ORAZ EFEKTYWNOŚCI ZASTOSOWANYCH ŚRODKÓW ZAPOBIEGAWCZYCH	29
6.1. ZAKRES DEKLARACJI WŁAŚCIWOŚCI UŻYTKOWYCH KRUSZYWA	29
6.2. CZĘSTOTLIWOŚĆ BADAŃ REAKTYWNOŚCI ALKALICZNEJ KRUSZYW PRZEZ PRODUCENTA KRUSZYW	29
6.3. POBIERANIE PRÓBEK KRUSZYWA DO BADAŃ	30
6.4. KONTROLA KRUSZYWA U PRODUCENTA BETONU	31
7. OCENA KATEGORII REAKTYWNOŚCI ALKALICZNEJ KRUSZYW	33
7.1. ANALIZA PETROGRAFICZNA	33
7.2. METODY BEZPOŚREDNIE BADANIA WYDŁUŻENIA PRÓBEK ZAPRAW I BETONÓW	33
8. ZALECENIA DO MONITOROWANIA TRWAŁOŚCI OBIEKTÓW	34
9. LITERATURA	35
10. ZAŁĄCZNIKI	38

WPROWADZENIE

Reakcja zachodząca pomiędzy jonami Na^+ , K^+ i OH^- , obecnymi w cieczy porowej betonu, a reaktywnymi formami krzemionki, występującymi w niektórych kruszywach, nazywana jest reakcją alkalia-krzemionka (z ang. *Alkali-Silica Reaction, ASR*). Głównym źródłem jonów sodu i potasu w betonie jest cement. Alkalia mogą pochodzić również z domieszek do betonu, dodatków mineralnych, kruszywa, wody zarobowej oraz być wprowadzane z zewnątrz wraz ze środkami odladzającymi. W wyniku zwiększonej rozpuszczalności amorficznych, nieuporządkowanych lub słabo wykryształizowanych postaci SiO_2 w cieczy porowej o wysokim pH, w betonie powstaje żel krzemianu sodowo-potasowo-wapniowego o zmiennym składzie, który wykazuje tendencję do absorpcji wody.

Absorpcja wody przez żel i związane z tym zwiększenie objętości produktów reakcji alkalia-krzemionka wywołuje powstawanie naprężeń wewnętrznych w betonie, pękanie ziaren kruszywa i otaczającej matrycy cementowej. Zewnętrznymi objawami szkodliwej reakcji może być nadmierna ekspansja elementów konstrukcji, pojawianie się odprysków i przebarwień, wysięki żelu, powstawanie rys o dużej rozwartości [1-2].

Widoczne objawy reakcji alkalia-krzemionka w konstrukcji betonowej mogą pojawić się po kilku miesiącach albo po kilku lub wielu latach eksploatacji w postaci wykwitów, odspojen warstwy wierzchniej betonu, odprysków ziaren kruszywa podatnego na reakcję, znajdujących się blisko powierzchni. Mogą ujawniać się także w postaci sieci spękań lub spękań przebiegających promieniowo. Skala uszkodzeń z upływem czasu powiększa się aż po utratę wymaganych parametrów technicznych konstrukcji, szczególnie jeśli wystąpi jednocześnie kilka niekorzystnych warunków na raz.

Przebieg i intensywność reakcji zależą w szczególności od rodzaju i zawartości kruszywa podatnego na reakcję alkaliczną, zawartości jonów sodu, potasu i wapnia w cieczy porowej oraz warunków wilgotności i temperatury betonu. Inne czynniki determinujące postęp reakcji alkalia-kruszywo to: zawartość $\text{Ca}(\text{OH})_2$ w betonie, uziarnienie kruszywa, porowatość betonu, zawartość cementu i współczynnik w/c w betonie itd. [3].

Do wystąpienia uszkodzeń betonu w wyniku reakcji ASR muszą być spełnione równocześnie następujące warunki:

- wystarczająca ilość składników reaktywnych w kruszywie,
- wystarczająco wysokie stężenie alkaliów w cieczy porowej betonu,
- wysoka wilgotność betonu w środowisku eksploatacji obiektu.

W celu skutecznego zapobiegania uszkodzeniom betonu w wyniku reakcji alkalia-krzemionka należy wyeliminować przynajmniej jeden z wyżej wymienionych czynników, z zastrzeżeniem, że zmniejszenie wilgotności betonu ma ograniczone znaczenie praktyczne, zwłaszcza w przypadku elementów masywnych, nawierzchni drogowych lub drogowych obiektów inżynierskich. Wyniki badań [4] dowodzą, że ekspansja wywołana reakcją alkalia-krzemionka zmniejsza się lub nie występuje, jeżeli wilgotność względna w otoczeniu betonu spada poniżej 80%. Zasady odwodnienia konstrukcji regulują odrębne przepisy.

Innym typem reakcji pomiędzy reaktywnymi składnikami kruszywa, a jonami Na^+ , K^+ i OH^- jest reakcja alkalia-węglany (z ang. *Alkali-Carbonate Reaction, ACR*). Reakcja występuje jedynie

sporadycznie, znacznie rzadziej niż reakcja alkalia-krzemionka. Niektóre zdolomityzowane wapienie lub dolomity zanieczyszczone minerałami ilastymi wykazują podatność na reakcję z ww. jonami. Mechanizm reakcji odpowiedzialnej za ekspansję w przypadku kruszyw węglanowych nie został jednoznacznie ustalony. Doniesienia literaturowe o ekspansji betonu wskutek reakcji alkalia-węglany dotyczą nielicznych kruszyw, głównie z terenów Ameryki Północnej i Chin, ale również S. Góralczyk zaleca z tego powodu ostrożność przy stosowaniu pewnych krajowych kruszyw węglanowych i żwirowych zawierających węglany [5]. W literaturze przedmiotu można znaleźć następujące hipotezy wyjaśniające szkodliwą ekspansję kruszyw węglanowych:

- reakcja reaktywnej (trudno wykrywalnej) formy krzemionki [6-7];
- reakcja dedolomityzacji kruszywa [8], z wytrąceniem brucytu i kalcytu;
- dedolomityzacja kruszywa, rozluźnienie tekstury i adsorpcja wody przez minerały ilaste odsłaniane w jej wyniku; pęcznienie minerałów ilastych wywołuje powstawanie naprężeń w kruszywie i betonie [9-10];
- reakcja, w której jony Na^+ , K^+ , OH^- dyfundują do wnętrza kruszywa i powodują wzrost ciśnienia w ograniczonej przestrzeni ziarna kruszywa, a w konsekwencji jego pękanie i ekspansję betonu [11].

Niezależnie od mechanizmu lub mechanizmów odpowiedzialnych za szkodliwą ekspansję betonu kilka cech odróżnia reakcję alkalia-węglany od reakcji alkalia-krzemionka [1], m.in.:

- a. krótszy czas wystąpienia negatywnych efektów reakcji węglanowej kruszywa z alkaliami;
- b. występowanie negatywnych efektów reakcji alkalia-węglany nawet w betonach o bardzo niskiej całkowitej zawartości alkaliów w składnikach ($1,8 \text{ kg/m}^3$);
- c. typowe dodatki mineralne: popiół lotny krzemionkowy lub granulowany żużel wielkopiecowy są nieefektywne w zapobieganiu występowania negatywnych efektów reakcji ACR, [12].

Ponadto metody badania reakcji ACR są mniej rozwinięte niż metody rozpoznawania kruszyw ulegających reakcji alkalia-krzemionka.

Należy wykluczyć stosowanie kruszyw podatnych na ten rodzaj reakcji z alkaliami w betonie do wykonawstwa nawierzchni betonowych i drogowych obiektów inżynierskich z powodu nieefektywności środków zapobiegawczych oraz postępu reakcji pomimo radykalnego ograniczenia zawartości alkaliów w betonie.

Zrównoważone wykorzystanie dostępnych kruszyw naturalnych do produkcji betonu, a jednocześnie wyeliminowanie lub ograniczenie skutków szkodliwej reakcji ASR, wymaga podjęcia określonych środków zapobiegawczych. Środki te są dobierane odpowiednio do wyników analizy zagrożeń wystąpienia reakcji alkalia-krzemionka. Na analizę zagrożeń wystąpienia reakcji alkalia-krzemionka składają się:

- kategoryzacja reaktywności kruszywa (kategoria reaktywności R);
- kategoryzacja oddziaływań środowiska na beton (kategoria oddziaływań środowiska E), z uwzględnieniem wielkości i przeznaczenia elementów betonowych oraz projektowanego czasu eksploatacji, a także innych czynników i oddziaływań, które mogą wpływać na ryzyko wystąpienia szkodliwej reakcji alkalia-krzemionka;
- klasyfikacja obiektów budowlanych i inżynierskich (klasa obiektu S) w zależności od ich znaczenia oraz ekonomicznych, społecznych i środowiskowych skutków ewentualnej reakcji alkalia-kruszywo.

W niniejszych Wytycznych Technicznych podano rozwiązania zapobiegania przedwczesnemu zniszczeniu betonu w wyniku reakcji alkalia-krzemionka. Stosuje się rozwiązania podane poniżej:

- zasadnicze rozwiązanie polega na doborze kruszywa mineralnego o kategorii reaktywności R0 (kruszywo niereaktywne - tj. o pomijalnie małej zawartości składników podatnych na reakcję alkalia-krzemionka) oraz ograniczeniu stosowania kruszyw reaktywnych;
- kruszywa silnie i bardzo silnie reaktywne (kategoria reaktywności R2 i R3) są wykluczone z zastosowań w betonie przeznaczonym na drogowe obiekty inżynierskie i nawierzchnie dróg;
- w przypadku obiektów o dużym znaczeniu ekonomicznym, społecznym lub środowiskowym, zwłaszcza obiektów o projektowanym okresie użyteczności od 50 do 100 lat, oprócz selekcji kruszywa o kategorii reaktywności R0 stosuje się ograniczenie zawartości alkaliów w składnikach betonu;
- w przypadku umiarkowanej reaktywności kruszywa (kategoria reaktywności R1) ograniczenie jego szkodliwości polega na zastosowaniu ograniczeń recepturowych w składzie betonu; ograniczenie dotyczy zmniejszenia stężenia alkaliów w cieczy porowej betonu poprzez stosowanie cementów o niskiej zawartości alkaliów i/lub stosowanie dodatków mineralnych: popiołu lotnego krzemionkowego lub granulowanego żużla wielkopieczowego, wprowadzanych z cementem lub jako dodatek typu II.

Zastosowanie kruszywa o kategorii reaktywności R1 jest dopuszczalne wyłącznie za zgodą Zarządcy/Inwestora obiektu (drogi), który w uzgodnieniu z Projektantem może zaakceptować ryzyko wystąpienia uszkodzeń powstałych w konsekwencji reakcji alkalia-krzemionka w obiekcie.

Schemat analizy zagrożeń wystąpienia negatywnych skutków reakcji alkalia-krzemionka, identyfikacji i doboru środków zapobiegawczych oraz potwierdzenia skuteczności przyjętych rozwiązań materiałowych przedstawiono na rysunku 1.

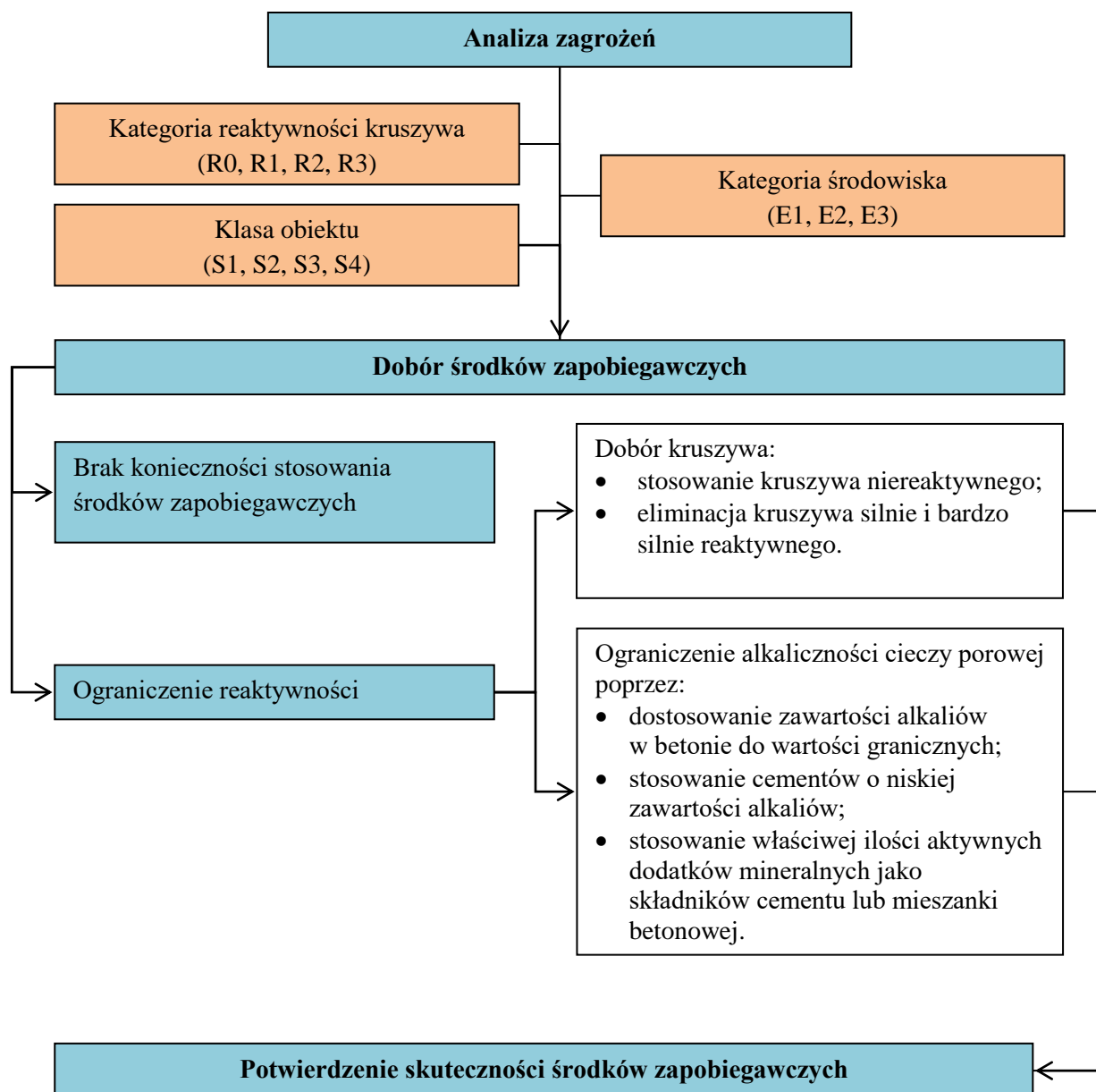
Określając przydatność kruszywa do betonowych elementów konstrukcji należy uwzględniać warunki eksploatacyjne środowiska, takie jak: zmiany wilgotności i temperatury, stosowanie środków odladzających i zmienne obciążenia mechaniczne. Należy mieć na uwadze, że ze względu na zawartość szkodliwych składników w kruszywie, reaktywność kruszywa może się zmieniać z uwagi na różne obszary wydobywania (typ petrograficzny), jak również lokalnie w danym obszarze eksploatacji, w tym poszczególnych frakcjach przekruszonych kruszyw.

W niniejszych wytycznych uwzględniono zapisy Ogólnej Specyfikacji Technicznej D-05.03.04 Nawierzchnia z betonu cementowego [13], wprowadzając modyfikacje zgodne z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury, zmieniającego rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowie obiekty inżynierskie i ich usytuowanie [14] i katalogu [15].

Wytyczne zostały opracowane jako wynik Projektu *Reaktywność alkaliczna krajowych kruszyw*, DZP/RID-I-37/6/NCBR/2016 współfinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz Generalną Dyрекcyję Dróg Krajowych i Autostrad, w ramach wspólnego przedsięwzięcia RID (Rozwój Innowacji Drogowych), realizowanego przez Konsorcjum w składzie Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych i Instytut Podstawowych Problemów Techniki, Polskiej Akademii Nauk, w latach 2016-2019.

Autorzy Wytycznych Technicznych przygotowali je zgodnie z dostępną im aktualnie wiedzą w zakresie reaktywności alkalicznej krajowych kruszyw. Zapisy WT powinny podlegać cyklicznej aktualizacji wraz z postępem wiedzy odnośnie do reakcji alkalia-krzemionka i alkalia-węglany

w kruszywach krajowych i postępem w zakresie weryfikacji efektywności zastosowanych środków zapobiegawczych, zgodnych z niniejszymi WT.



Rysunek 1. Schemat analizy zagrożeń wystąpienia reakcji ASR, doboru środków zapobiegawczych i potwierdzenia skuteczności przyjętych rozwiązań

1. Zakres zastosowania

Wytyczne Techniczne GDDKiA stanowią dokument „Przepisy w miejscu stosowania” w rozumieniu normy PN-EN 206 [16] w odniesieniu do reakcji alkalia-krzemionka, i jako takie mają zastosowanie do budowy wszystkich dróg, w tym dróg szybkiego ruchu i autostrad oraz infrastruktury drogowej, których Zarządcą lub Inwestorem jest GDDKiA. Wytyczne obejmują wyłącznie kruszywa naturalne do betonu. Wytyczne uwzględniają zapisy Katalogu Ministerstwa Infrastruktury [15] oraz normy PN-EN 206 [16].

Bezpośrednie metody badań ekspansji zapraw i betonów, opisane w Procedurach Badawczych GDDKiA PB/1/18 i PB/2/18 załączonych do niniejszych Wytycznych, mają zastosowanie do klasyfikacji kruszywa na podstawie kategorii reaktywności w zależności od jego podatności na reakcję alkalia-krzemionka. W odniesieniu do betonu w drogowych obiektach inżynierskich i nawierzchniach drogowych stanowią podstawę krajowego systemu klasyfikacji reaktywności alkalicznej kruszywa, o którym mowa w PN-EN 12620 [17].

Analiza petrograficzna kruszywa wg Procedury Badawczej GDDKiA PB/3/18, załączonej do niniejszych Wytycznych Technicznych, dostarcza niezbędnych informacji wyjaśniających przyczyny kwalifikacji kruszywa do danej kategorii reaktywności.

Bezpośrednie metody badań ekspansji zapraw i betonów, wg Procedur Badawczych GDDKiA PB/4/18 i PB/5/18 załączone do niniejszych Wytycznych, stosuje się do weryfikacji zastosowanych środków zapobiegających wystąpieniu negatywnych skutków reakcji alkalia-krzemionka w betonie oraz do weryfikacji odporności betonu na szkodliwą ekspansję wskutek reakcji alkalia-krzemionka w warunkach eksploatacji nawierzchni betonowych.

Przywołane procedury badawcze powinny być stosowane:

- przez laboratoria producenta kruszywa w ramach Zakładowej Kontroli Produkcji do określenia kategorii reaktywności danej frakcji kruszywa i jej deklarowania w Deklaracji Właściwości Użytkowych (DWU) (PB/1/18, PB/2/18 i PB/3/18);
- przez laboratoria producenta betonu oraz laboratoria Inwestora lub organu nadzorującego budowę obiektu do weryfikacji danych deklarowanych w DWU przez producenta kruszywa (PB/1/18 i PB/3/18, PB/4/18);
- przez laboratoria jednostek naukowych i laboratoria akredytowane do określania kategorii reaktywności alkalicznej kruszywa i rozstrzygania przypadków wątpliwych (wszystkie Procedury Badawcze GDDKiA przedstawione w załącznikach).

Podatność kruszywa na reakcję z alkaliami (kategoria reaktywności) musi być deklarowana przez Producenta kruszywa, produkowanego w systemie oceny zgodności 2+, osobno dla każdej frakcji kruszywa stosowanego do betonu zgodnie z PN-EN 12620. Deklaracja Właściwości Użytkowych powinna określać kategorię reaktywności kruszywa oraz podawać wartości wydłużenia próbek zapraw (wg PB/1/18) i betonu (wg PB/2/18), tak aby laboratorium Inwestora lub laboratorium przez niego wskazane mogło zweryfikować deklarowaną przez Producenta kategorię reaktywności kruszywa. Procedury PB/1/18, PB/2/18 oraz PB/3/18 podane w załącznikach do niniejszych Wytycznych mają zastosowanie w systemie Zakładowej Kontroli Produkcji kruszyw.

Przestrzeganie zapisów niniejszych Wytycznych nie wyklucza całkowicie możliwości wystąpienia reakcji alkalia-krzemionka w betonie, natomiast zapobiega powstawaniu istotnych uszkodzeń

konstrukcji. Wytyczne przedstawiają różne sposoby zmniejszenia zagrożenia wystąpieniem reakcji ASR do poziomu akceptowanego przez Właściciela lub Zarządcę konstrukcji betonowej.

W przypadku drogowych obiektów inżynierskich i nawierzchni narażonych na oddziaływania środowiskowe reakcja alkalia-kruszywo jest jednym z kilku czynników zagrażających trwałości konstrukcji z betonu. Sprzężenia istniejące pomiędzy oddziaływaniami mechanicznymi, fizycznymi i chemicznymi, na jakie narażony jest beton w konstrukcji, mogą doprowadzić do sytuacji wzmagania postępu reakcji ASR, a w konsekwencji do wystąpienia uszkodzeń z nią związanych. Zagadnienie to częściowo ujmuje procedura PB/5/18, odnosząca się do niemieckich doświadczeń w zakresie budowy nawierzchni drogowych, a systematyczne ujęcie zagadnienia wykracza poza zakres niniejszych Wytycznych Technicznych.

Zapobieganie skutkom uszkodzeń konstrukcji wskutek występowania reakcji alkalia-kruszywo polega na sformułowaniu ograniczeń recepturowych składu betonu. Środki zapobiegające wystąpieniu negatywnych skutków reakcji ASR w betonie dobierane są w zależności od wielokryterialnej analizy zagrożeń związanych z kategorią reaktywności stosowanego kruszywa: R0 (kruszywo niereaktywne), R1 (kruszywo umiarkowanie reaktywne), R2 (kruszywo silnie reaktywne), R3 (kruszywo bardzo silnie reaktywne); kategoryzacją oddziaływania środowiska wg Raportu Technicznego CEN/TR 16349 [18] dla kategorii E1, E2 i E3: odpowiednio dla betonu w środowisku suchym, dla betonu w środowisku wilgotnym bez oddziaływania agresywnego z zewnątrz oraz dla betonu w środowisku wilgotnym z oddziaływaniem środowiska agresywnego, wysokich mechanicznych obciążeń eksploatacyjnych; oraz kategoryzacji konstrukcji budowlanych i inżynierskich wg AASHTO R 80 [19] z uwzględnieniem Rozporządzenia MI [14] dla klasy obiektu S1, S2, S3 i S4: odpowiednio od nienośnych elementów konstrukcji lub konstrukcji tymczasowych (S1) do newralgicznych elementów obiektów o najdłuższym projektowanym okresie eksploatacji, w przypadku których zniszczenia wskutek reakcji alkalia-krzemionka nie są dopuszczane (S4).

Wytyczne uwzględniają następujące rozwiązania technologiczne zapobiegające wystąpieniu negatywnych skutków reakcji alkalia-krzemionka, ASR:

- dobór kruszywa niereaktywnego (R0) oraz eliminację kruszywa silnie (R2) i bardzo silnie reaktywnego (R3);
- ograniczenie całkowitej zawartości alkaliów w składzie mieszanki betonowej do 3 kg/m³, 2,4 kg/m³ lub nawet 1,8 kg/m³, zależne od kategorii reaktywności alkalicznej kruszywa przeznaczonego do betonu;
- zastosowanie cementów o niskiej całkowitej zawartości alkaliów, co pozwala na dotrzymanie warunków granicznej zawartości alkaliów w betonie;
- zastosowanie aktywnych dodatków mineralnych: popiołu lotnego krzemionkowego i/lub granulowanego żużla wielkopieczowego w mieszance betonowej.

Zapobieganie wystąpieniu negatywnych skutków reakcji alkalia-węglany, ACR, polega na eliminacji kruszywa podatnego na tą reakcję z przedmiotowego obszaru zastosowań w betonie.

Podstawą opracowania niniejszych wytycznych były wytyczne i normy dotyczące zapobiegania reakcji alkalicznej kruszywa w betonie, obowiązujące w USA, Austrii, Niemczech, Belgii, Czechach i w ogólnoeuropejskiej instrukcji RILEM [19-28].

1.1. Definicje

- Aktywny dodatek typu II do betonu** — rozdrobniony materiał o właściwościach pucolanowych lub utajonych właściwościach hydraulicznych, dodawany do betonu celem poprawy pewnych właściwości lub uzyskania specjalnych cech użytkowych;
- Alkalia** – metale alkaliczne, głównie sód i potas; w cieczy porowej betonu występujące w postaci jonowej, zwykle wyrażane w analizie chemicznej jako tlenki lub ekwiwalent tlenku sodu wyliczony jako suma zawartości procentowej Na_2O i zawartości procentowej K_2O pomnożonej przez 0,658;
- Analiza zagrożeń** — analiza czynników ryzyka: kategorii reaktywności kruszywa, kategorii oddziaływań środowiska, klasy obiektu, determinujących możliwość wystąpienia negatywnych skutków reakcji ASR w betonie, niezbędna do doboru właściwych środków zapobiegawczych;
- Ekspert** – jednostka naukowa kompetentna w zakresie rozpoznania szkodliwości reakcji alkalia-kruszywo, o odpowiednim doświadczeniu i kompetencjach w zakresie badań ujętych w powołanych procedurach badawczych lub ekwiwalentnych, zgodnych z aktualną metodyką RILEM lub ASTM, a także o kompetencjach w zakresie diagnostyki betonu w konstrukcjach;
- Kategoria oddziaływania środowiska** — klasyfikacja środowiska w odniesieniu do możliwości wystąpienia w betonie zagrożenia destrukcyjną reakcją alkalia-kruszywo;
- Kategoria reaktywności kruszywa** — sklasyfikowana podatność kruszywa na reakcję z wodorotlenkami sodu i potasu w betonie cementowym, ASR;
- Klasa obiektu** — klasyfikacja konstrukcji budowlanych i inżynierskich w odniesieniu do wagi konsekwencji wystąpienia reakcji alkalia-kruszywo w betonie, uzależniona od znaczenia danego obiektu budowlanego, projektowanego czasu użytkowania i oczekiwanego poziomu niezawodności; klasa obiektu jest związana z konsekwencjami ekonomicznymi, społecznymi i środowiskowymi wystąpienia uszkodzeń z powodu reakcji kruszywa z alkalią;
- Kruszywo drobne** – określenie drobniejszego kruszywa, o wymiarach ziarn D równych 4 mm lub mniejszych wg PN –EN 12620;
- Kruszywo grube** - oznaczenie kruszywa grubszego, o wymiarach ziarn D równych 4 mm lub większych oraz d równych 2 mm lub większych wg PN –EN 12620;
- Kruszywo naturalne** — stosowany w budownictwie ziarnisty materiał pochodzenia mineralnego, który poza obróbką mechaniczną nie został poddany żadnej innej obróbce, wg PN–EN 12620;
- Kruszywo ze skał litych** — kruszywo naturalne otrzymane w wyniku rozdrobnienia/przekruszenia skały litej, w której minerały są silnie zespolone;
- Kruszywo ze skał polodowcowych** — kruszywo naturalne ze skał osadowych okrucowych naniesionych przez lodowiec;
- Metoda badania ekspansji betonu** — długotrwała metoda badania reaktywności alkalicznej kruszywa grubego lub drobnego, w której próbki betonowe przechowywane są w warunkach podwyższonej temperatury (38°C) i warunkach wysokiej wilgotności przez co najmniej 365 dni. Metoda potwierdzająca reaktywność alkaliczną kruszywa, oparta o zalecenia ASTM C1293 i RILEM AAR-3;
- Mielony granulowany żużel wielkopiecowy** — drobno zmielony materiał spełniający wymagania normy PN-EN 15167-1;
- Popiół lotny krzemionkowy** — mialki materiał spełniający wymagania normy PN-EN 450-1;

Przyspieszona metoda badania ekspansji zaprawy — metoda badania reaktywności alkalicznej kruszywa, w której próbki zaprawy przechowywane są w przez 14 dni w 1 M roztworze NaOH o temperaturze 80°C. Metoda przyspieszonej oceny reaktywności kruszywa, która służy też do weryfikacji kategorii reaktywności deklarowanej przez producenta kruszywa; zgodna z ASTM C1260 i RILEM AAR-2;

Negatywne efekty wystąpienia reakcji alkalia-kruszywo — szkodliwe skutki reakcji zachodzącej w betonie w postaci: (i) spękań umożliwiających penetrację czynników agresywnych w głąb betonu, (ii) nadmiernej ekspansji elementu konstrukcji, zagrażające użytkowości konstrukcji, (iii) odprysków i odspojen powierzchniowych, (iv) wycieków i przebarwień powierzchni betonu;

Reakcja alkalia-kruszywo, AAR (z ang. *Alkali-Aggregate Reaction*) — reakcja chemiczna zachodząca w betonie pomiędzy alkaliami (sodem i potasem występującymi w postaci kationów) pochodzącymi z cementu lub innych źródeł, jonami wodorotlenowymi oraz reaktywnymi składnikami niektórych kruszyw;

Reakcja alkalia-krzemionka, ASR (z ang. *Alkali-Silica Reaction*) — reakcja chemiczna zachodząca w betonie pomiędzy alkaliami (sodem i potasem występującymi w postaci kationów) pochodzącymi z cementu lub innych źródeł, jonami wodorotlenowymi oraz reaktywnymi składnikami krzemionkowymi (np. opal, trydymit, chalcedon, kwarc w stanie naprężeń, szkło wulkaniczne itd.) obecnymi w niektórych kruszywach;

Reakcja alkalia-węglany, ACR (z ang. *Alkali-Carbonate Reaction*) — reakcja chemiczna zachodząca w betonie pomiędzy alkaliami (sodem i potasem występującymi w postaci kationów) pochodzącymi z cementu lub innych źródeł, jonami wodorotlenowymi oraz tylko niektórymi kruszywami węglanowymi, w szczególności wapieniem dolomitycznym i dolomitem wapnistym;

Reaktywność alkaliczna kruszywa — podatność kruszywa na reakcję z alkaliami.

1.2. Odniesienia normatywne

Normy PN

PN-EN 197-1:2012 *Cement – Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku*

PN-EN 206+A1:2016 *Beton: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność*

PN-EN 450-1:2012 *Popiół lotny do betonu – Część 1: Definicje, specyfikacje i kryteria zgodności*

PN-EN 932-1:1999 *Metody badań ogólnych właściwości kruszyw – Część 1: Metody pobierania próbek*

PN-EN 932-2:2001 *Metody badań ogólnych właściwości kruszyw – Część 2: Metody zawężania prób laboratoryjnych*

PN-EN 932-3:1999 *Metody badań ogólnych właściwości kruszyw – Część 3: Przeprowadzanie i terminologia uproszczonego opisu petrograficznego (zawiera zmianę A1:2003)*

PN-EN 933-9+A1:2013 *Badania geometrycznych właściwości kruszyw - Część 9: Ocena zawartości drobnych cząstek -- Badanie błękitem metylenowym*

PN-EN 934-2:2010 *Domieszki do betonu, zapraw i zapraw wciskanych - Część 2: Domieszki do betonu, definicje, wymogi, zgodność, oznaczenie i opis*

PN-EN 1008:2004 *Woda zarobowa do betonu - Specyfikacja pobierania próbek, badanie i ocena przydatności wody zarobowej do betonu, w tym wody odzyskanej z procesów produkcji betonu*

PN-EN 1990:2004 Eurokod - Podstawy projektowania konstrukcji

PN-EN 12620+A1:2010 *Kruszywa do betonu*

PN-EN 15167-1:2007 *Mielony granulowany żużel wielkopiecowy do stosowania w betonie, zaprawie i zaczynie -- Część 1: Definicje, specyfikacje i kryteria zgodności*

PN-EN 16236:2018 *Ocena i weryfikacja stałości właściwości użytkowych (AVCP) kruszyw -- Badanie typu i zakładowa kontrola produkcji*

PN- B 19707:2013 *Cement, Cement specjalny: Skład, wymagania i kryteria zgodności*

Zagraniczne dokumenty normalizacyjne

AASHTO R 80, *Standard Practice for Determining the Reactivity of Concrete Aggregates and Selecting Appropriate Measures for Preventing Deleterious Expansion in New Concrete Construction*, 2017

ASTM C295 *Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete*, 2018

ASTM C1105, *Standard Test Method for Length Change of Concrete Due to Alkali-Carbonate Rock Reaction*, 2016

ASTM C1260 *Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)*, 2014

ASTM C1293 *Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction*, 2018

ASTM C1567 *Standard Test Method for Determining the Potential Alkali-Silica Reactivity of Combinations of Cementitious Materials and Aggregate (Accelerated Mortar-Bar Method)*, 2013

ASTM C1778 *Standard Guide for Reducing the Risk of Deleterious Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*, 2016

CEN/TR 16349 *Framework for a specification on the avoidance of a damaging Alkali-Silica Reaction in concrete*, CEN 2012

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 Vol. 17, Eds. Philip J. Nixon and Ian Sims, Springer Netherlands, 2016

RILEM Recommended Test Method: AAR-1.1—Detection of Potential Alkali-Reactivity—Part 1: Petrographic Examination Method, 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 Vol. 17, Eds. Philip J. Nixon and Ian Sims, Springer, 2016

RILEM Recommended Test Method: AAR-2—Detection of Potential Alkali-Reactivity—Accelerated Mortar-Bar Test Method for Aggregates, 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 Vol. 17, Eds. Philip J. Nixon and Ian Sims, Springer, 2016

RILEM Recommended Test Method: AAR-3—Detection of Potential Alkali-Reactivity—38 °C Test Method for Aggregate Combinations Using Concrete Prisms, 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 Vol. 17, Eds. Philip J. Nixon and Ian Sims, Springer, 2016

2. Analiza zagrożeń wystąpienia reakcji alkalia-kruszywo

2.1. Informacje ogólne

Wylimitowanie lub ograniczenie szkodliwych skutków reakcji alkalia-kruszywo w betonie wymaga analizy zagrożeń jej wystąpienia oraz uwzględnienia właściwych środków zapobiegawczych już na etapie projektowania betonu.

Analiza zagrożeń wystąpienia reakcji alkalia-kruszywo, właściwa dla danej konstrukcji betonowej lub jej elementów pozostaje w gestii Inwestora lub Zarządcy obiektu (drogi) w uzgodnieniu z Projektantem. Należy wziąć pod uwagę, że analiza zagrożeń wystąpienia reakcji alkalia-kruszywo w konstrukcji betonowej lub jej elementach będzie miała wpływ na ekonomiczne skutki każdej awarii lub pogorszenia funkcjonalności konstrukcji, a także na względy bezpieczeństwa konstrukcji. Inne czynniki, które należy wziąć pod uwagę w trakcie analizy zagrożeń to możliwość rozpoznania, monitorowania i przeciwdziałania negatywnym efektom reakcji alkalia-kruszywo oraz postrzeganie przez opinię publiczną/użytkowników wyglądu i komfortu użytkowania obiektu z betonu, w którym zachodzi reakcja.

Zrównoważone wykorzystanie dostępnych materiałów do produkcji betonu, a jednocześnie wylimitowanie lub ograniczenie skutków szkodliwej reakcji alkalia-kruszywo, może wymagać podjęcia określonych środków zapobiegawczych w postaci ograniczenia zawartości alkaliów w betonie i/lub stosowania dodatków mineralnych. W wyniku analizy zagrożeń może się okazać, że wykorzystanie materiałów lokalnych jest obciążone zbyt dużym ryzykiem wystąpienia poważnych konsekwencji ekonomicznych, w zakresie bezpieczeństwa lub ochrony środowiska. Waga tych konsekwencji może wykluczać zastosowanie lokalnych materiałów.

Analiza zagrożeń wystąpienia reakcji alkalia-krzemionka, ASR, rozpoczyna się od określenia reaktywności kruszywa w formie kategorii od R0 – kruszywo „niereaktywne” do R3 – kruszywo „bardzo silnie reaktywne”. Następnie rozpatruje się środowiskowe warunki ekspozycji obiektu oraz uwzględnia się inne czynniki i oddziaływania, które mogą wpływać na poziom zagrożenia wystąpieniem reakcji ASR. Do takich czynników należą m.in.: narażenie betonu na cykliczne działanie mrozu, stosowanie środków odladzających, oddziaływanie wody morskiej, obciążenia o charakterze zmęczeniowym.

W kolejnym kroku uwzględnia się klasę obiektu w zależności od projektowanego czasu eksploatacji konstrukcji, wielkości elementów betonowych, dopuszczalności i ewentualnych skutków reakcji ASR (ekonomicznych, w zakresie bezpieczeństwa lub ochrony środowiska). W zależności od klasy obiektu Wytyczne Techniczne podają możliwe sposoby zabezpieczenia przed wystąpieniem negatywnych skutków reakcji alkalia-krzemionka.

Przedstawiony sposób wylimitowania lub ograniczania szkodliwych skutków reakcji alkalia-krzemionka w betonie opracowano na podstawie podejścia recepturowego (ang. *prescriptive approach*) opisanego w AASHTO R 80 [19] oraz w zaleceniach RILEM [27].

2.2. Klasyfikacja reaktywności kruszywa

2.2.1. Reakcja alkalia-krzemionka

Oznaczenie kategorii reaktywności alkalicznej kruszywa jest warunkiem koniecznym jego zastosowania w betonie nawierzchni drogowych i drogowych obiektów inżynierskich. Stosowanie kruszywa o nieznannej kategorii reaktywności alkalicznej jest wykluczone.

Klasyfikacja reaktywności alkalicznej kruszywa po raz pierwszy wg zasad niniejszych Wytycznych wymaga przeprowadzenia pełnej analizy petrograficznej wg PB/3/18 (p.2, 3 i 4). Dla każdej frakcji kruszywa należy przeprowadzić identyfikację potencjalnie reaktywnych składników mineralnych kruszywa, tj. reaktywnych form krzemionki.

Kategorię reaktywności alkalicznej kruszyw należy wyznaczać na podstawie wyników pomiarów wydłużenia próbek zaprawy i betonu (metody bezpośrednie), wykonanych odpowiednio wg PB/1/18 oraz PB/2/18. Kryteria klasyfikacji podatności kruszyw na reakcję z Na^+ , K^+ i OH^- obecnymi w cieczy porowej w betonie przedstawia tablica 1. Kategoryzacja reaktywności jest związana z potencjałem wystąpienia reakcji alkalia-krzemionka, związanej z obecnością reaktywnych minerałów krzemionkowych. Obejmuje m.in. kruszywa węglanowe zawierające reaktywne formy krzemionki, ale nie dotyczy kruszyw węglanowych podatnych na reakcję alkalia-węglany (patrz p.2.2.2).

Rodzaj i częstotliwość badań kruszyw potwierdzających kategorię reaktywności, prowadzonych u producenta kruszywa i u producenta betonu, określono w p.6.2.

Przyspieszone badanie wydłużenia próbek zaprawy wg PB/1/18 przeprowadza się osobno dla każdej frakcji kruszywa grubego i drobnego; nie stosuje się do klasyfikacji kombinacji kruszyw przeznaczonych do produkcji betonu.

Kategorię reaktywności R0 przypisuje się do kruszywa, jeżeli wydłużenie próbek po 14 dniach zanurzenia beleczek zaprawy w 1M roztworze NaOH w 80°C jest nie większe niż 0,10% (kruszywo grube) lub 0,15% (kruszywo drobne). Nadzór lub zarządca obiektu może zalecić badania kruszywa metodą długoterminową wg PB/2/18 w przypadku, gdy średnia z wyników badania wydłużenia próbek zaprawy jest bliska granicznej ekspansji, rozdzielającej sąsiednie kategorie reaktywności.

Długoterminowe badanie wydłużenia próbek betonu może być stosowane do oceny wszystkich rodzajów kruszyw (kruszywo drobnego i grubego osobno). Jeżeli wydłużenie próbek betonu po 1 roku nie przekracza 0,04%, to kategoria reaktywności kruszywa wynosi R0 (patrz objaśnienie 1 do tablicy 1).

Inwestor, Zarządca lub Projektant obiektu może zdecydować o konieczności przedstawienia wyniku długoterminowego badania wydłużenia próbek betonu przez dostawcę lub producenta kruszywa lub dopuścić kruszywo do stosowania po zasięgnięciu opinii eksperta. Opinia eksperta powinna być oparta m.in. o szczegółową analizę składu mineralogicznego kruszywa i jednorodność surowca do produkcji kruszywa a także rozpoznanie produktów reakcji za pomocą odpowiednich metod mikroskopowych i analizy wydłużenia próbek betonu lub zaprawy. Ocena jednorodności surowca mineralnego jest szczególnie ważna w przypadku kruszyw ze skał okruchowych pochodzenia rzeczno- i lodowcowego.

Jeżeli poszczególne frakcje kruszywa składające się na stos okruchowy w betonie różnią się kategorią reaktywności, to analizę zagrożeń wystąpienia negatywnych skutków reakcji alkalia-kruszywo i dobór

środków zapobiegawczych należy wykonać przyjmując najwyższą (najbardziej niekorzystną) stwierdzoną kategorię reaktywności.

Tablica 1. Kategoryzacja reaktywności kruszyw do betonu

Metoda badawcza	Kategoria reaktywności kruszywa					
	Niereaktywne R0		Umiarkowanie reaktywne R1		Silnie reaktywne R2	Bardzo silnie reaktywne R3
	kruszywo drobne	kruszywo grube	kruszywo drobne	kruszywo grube	kruszywo drobne; kruszywo grube	kruszywo drobne; kruszywo grube
Procedura badawcza GDDKiA PB/1/18 (metoda przyspieszona)	Wydłużenie próbek zaprawy po 14 dniach, %					
	$\leq 0,15$	$\leq 0,10$	$> 0,15;$ $\leq 0,30$	$> 0,10;$ $\leq 0,30$	$> 0,30;$ $\leq 0,45$	$> 0,45$
Procedura badawcza GDDKiA PB/2/18 (metoda długoterminowa)	Wydłużenie próbek betonu po 365 dniach, %					
	$\leq 0,04$		$> 0,04;$ $\leq 0,12$		$> 0,12;$ $\leq 0,24$	$> 0,24$

UWAGA:

1) Jeżeli wyniki klasyfikacji na podstawie wyników przyspieszonej metody pomiaru ekspansji zaprawy (wg PB/1/18) oraz długoterminowej metody pomiaru ekspansji betonu (wg PB/2/18) są niezgodne, to kategorię reaktywności badanego kruszywa przyjąć po zasięgnięciu opinii eksperta. Opinia eksperta powinna być oparta m.in. o szczegółową analizę składu mineralogicznego kruszywa, w tym obecności składników reaktywnych wg PB/3/18, analizę jednorodności surowca do produkcji i produkowanego kruszywa, analizę metodyki i wyników wydłużenia próbek betonu i zaprawy, a także rozpoznanie produktów reakcji za pomocą odpowiednich metod mikroskopowych. W szczególnym przypadku kruszywa przeznaczonego do nawierzchni dróg o wysokiej jakości przy ocenie eksperckiej stosuje się procedurę PB/5/18.

2) W przypadku, gdy ekspansja próbek zaprawy oznaczona wg PB/1/18 po 14-dniach przekracza wartość 0,30%, to bez względu na wyniki innych metod, kruszywo uważa się za silnie lub bardzo silnie reaktywne (kategoria reaktywności odpowiednio R2 i R3), co wyklucza stosowanie do wykonawstwa betonów przeznaczonych na nawierzchnie dróg i drogowe obiekty inżynierskie.

3) W przypadku, gdy ekspansja próbek betonu oznaczona wg PB/2/18 po 365 dniach przekracza wartość 0,12%, to bez względu na wyniki innych metod, kruszywo uważa się za silnie lub bardzo silnie reaktywne R2 i R3, co wyklucza stosowanie do wykonawstwa betonów przeznaczonych na nawierzchnie dróg i drogowe obiekty inżynierskie.

W przypadku wyjątkowo odpowiedzialnych zastosowań kruszyw, np. do betonu w newralgicznych elementach obiektu mostowego o znaczeniu strategicznym, do których dostęp jest utrudniony, a wymiana lub naprawa jest niemożliwa, Inwestor lub Zarządca obiektu może zdecydować o przyjęciu bardziej rygorystycznych kryteriów klasyfikacji reaktywności alkalicznej. Zaostrzone kryteria klasyfikacji stosują się do klasyfikacji kruszywa niereaktywnego R0 i mogą zostać przyjęte jako wydłużenie czasu pomiaru i/lub ograniczenie wydłużenia próbek zaprawy, np. do 0,10% po 28 dniach w 1 M roztworze NaOH, zgodnie z [28]. Dostawy takiego kruszywa muszą być realizowane na warunkach ustalonych z producentem, określających szczególne wymagania odnośnie kryteriów klasyfikacji reaktywności alkalicznej.

W szczególnych przypadkach wymaga się rozszerzenia badań reaktywności alkalicznej kruszywa:

Przypadek 1. Ekspansja próbek zaprawy spełnia wymagania granicznej ekspansji w kategorii R0 z marginesem mniejszym niż 0,01% (czyli porównywalnym z niepewnością pomiaru).

Przypadek braku wyników klasyfikacji metodą długoterminową. Należy wydłużyć badanie wg PB/1/18 do 28 dni, prowadząc dodatkowe pomiary wydłużenia nie rzadziej niż co 3 dni. Wydłużenie średnie próbek zaprawy po 28 dniach należy porównać z wydłużeniem po 14 dniach. Jeżeli wzrost długości między 14 a 28 dniem jest mniejszy niż 0,05%, należy przyjąć kategorię reaktywności R0. Jeżeli nie, badania należy powtórzyć; jednocześnie zaleca się zwiększenie częstości badań kontrolnych.

Przypadek 2. Skład mineralny kruszywa wskazuje na możliwość wystąpienia reakcji alkalia-węglany.

Do rozpoznania reaktywności kruszywa stosuje się wyłącznie metody długoterminowe, zgodne z PB/2/18 w wersji podstawowej oraz zmodyfikowanej, opisanej w 2.2.2 poniżej. Do klasyfikacji kruszywa z uwagi na reakcję ASR stosuje się kryteria w tabelicy 1 dotyczące wydłużenia próbek betonu. Do rozpoznania reakcji ACR stosuje się kryteria opisane w 2.2.2 poniżej.

2.2.2. Reakcja alkalia-węglany

Kategorie reaktywności kruszywa nie mają zastosowania w odniesieniu do jego podatności na reakcję alkalia-węglany. Z uwagi na podwyższoną szybkość przebiegu reakcji ACR w betonie i brak efektywnych sposobów zapobiegania jej negatywnym skutkom, rozpoznanie potencjału reaktywności węglanowej kruszywa skutkuje niedopuszczeniem do jego zastosowania w betonie przeznaczonym na nawierzchnie drogowe lub drogowie obiekty inżynierskie.

W przypadku kruszyw węglanowych, zwłaszcza wapieni dolomitycznych, dolomitów i dolomitów wapnistych, należy przeprowadzić analizę petrograficzną zgodnie z zaleceniami podanymi w PB/3/18, p.4.

W przypadku kruszywa, w którym stwierdzono występowanie składników potencjalnie podatnych na ACR, należy wykonać badania ekspansji próbek betonu z kruszywem wg PB/2/18 w wersji zmodyfikowanej. Modyfikacja procedury PB/2/18 polega na obniżeniu zawartości alkaliów w mieszance betonowej z 5,25 kg/m³ do 1,80 kg/m³ w sposób objaśniony w p.14.3 procedury PB/2/18. Analizowane kruszywo należy zastosować jako frakcję kruszywa grubego. Sprawdzenie podatności kruszywa na reakcję alkalia-węglany dokonuje się na podstawie wydłużenia próbek betonu po 12 miesiącach przechowywania. Jeżeli średnie wydłużenie próbek betonu wynosi co najmniej 0,03%, to kruszywo jest podatne na reakcję ACR i jako takie nie może być wykorzystywane do produkcji betonu przeznaczonego na nawierzchnie dróg lub na obiekty infrastruktury drogowej.

Jeżeli w kruszywie węglanowym nie stwierdza się występowania składników ani charakterystycznej tekstury wskazujących na podatność na reakcję alkalia-węglany, to kategorię jego reaktywności należy określić w odniesieniu do reakcji alkalia-krzemionka zgodnie z zapisami p.2.2 i tabelicą 1. W przypadkach wątpliwości, co do zawartości i tekstury składników, zwłaszcza gdy mogą w kruszywie węglanowym mogą jednocześnie występować wtrącenia krzemionkowe (cristobalit, chalcedon, kwarc krypto krystaliczny), niezbędna jest opinia eksperta wykluczająca możliwość powstania szkodliwej reakcji alkalia-węglany. Opinia powinna opierać się na wynikach powyższych badań oraz wieloletnich obserwacjach skutków stosowania danego kruszywa w betonie (min. 10-letnich, połączonych z monitoringiem trwałości zgodnie z p.8); może odwoływać się do wyników badań składu chemicznego wskazanych w normie CAN/CSA A23.2-26A [29].

2.3. Kategoria oddziaływań środowiskowych

Kategorie oddziaływania środowiska na beton, związane z zagrożeniem wystąpienia szkodliwej reakcji alkalia kruszywo, zestawiono w tablicy 2. W przypadku jezdni nawierzchni drogowych uwzględnia się także obciążenia mechaniczne o charakterze zmęczeniowym.

Tablica 2. Kategorie oddziaływań środowiskowych zgodnie z CEN/TR 16349 [18] i RILEM AAR 7.1 [27]

Kategoria środowiska	Opis środowiska	Ekspozycja elementów obiektu z betonu
E1*	Środowisko suche, chronione przed wilgocią zewnętrzną [#]	<ul style="list-style-type: none"> • elementy wewnętrzne w budynkach w środowisku suchym.
E2	Środowisko wilgotne bez oddziaływania agresywnego czynników zewnętrznych ^{##}	<ul style="list-style-type: none"> • 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 ^{###}	<ul style="list-style-type: none"> • 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		

Objaśnienia:

Suche środowisko odpowiada otoczeniu o średniej wilgotności względnej, niższej niż 75% (warunki panujące zazwyczaj wewnątrz budynków), gdzie nie dochodzi do ekspozycji na wilgoć z zewnątrz;

We wnętrzu betonowych elementów masywnych utrzymuje się wysoka wilgotność, nawet gdy znajdują się w środowisku suchym.

Wystąpienie reakcji alkalia-kruszywo jest promowane w elementach wilgotnych, wystawionych na naprzemienne działanie mrozu z oddziaływaniem soli rozmrażających i równocześnie poddanych cyklicznym obciążeniom dynamicznym.

2.4. Klasyfikacja obiektów budowlanych i inżynierskich

W zależności od ważności obiektu i konsekwencji wystąpienia ewentualnych uszkodzeń wskutek reakcji alkalia-kruszywo przyjmuje się cztery klasy obiektu betonowego. Klasy obiektu zestawiono w tablicy 3. Zgodnie z założeniem, że nie dopuszcza się do stosowania w betonie kruszyw podatnych na reakcję alkalia-węglany pojęcie akceptowalności szkodliwych efektów reakcji alkalia-kruszywo jest ograniczone wyłącznie do efektów reakcji alkalia-krzemionka.

Tablica 3. Klasyfikacja obiektów budowlanych i inżynierskich w zależności od konsekwencji wystąpienia szkodliwych efektów reakcji alkalia-kruszywo na podstawie AASHTO R80-17 [19] po dostosowaniu do warunków krajowych według Rozporządzenia [14] ¹

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"> nawierzchnie dróg lokalnych i o mniejszym znaczeniu; ściany oporowe, fundamenty, bariery autostradowe; drogowe obiekty o trwałości <50 lat *.
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"> nawierzchnie dróg o wysokiej jakości**, dróg klasy A, S, GP; drogowe obiekty mostowe i tunele *, ***; obiekty energetyki jądrowej; zapory wodne; newralgiczne elementy konstrukcji bardzo trudne do wymiany lub naprawy.

* zgodnie z Rozporządzeniem w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowie obiekty inżynierskie i ich usytuowanie [14]
** 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

¹ Zmiana w stosunku do OST D-05.03.04

Określenia klasy obiektu dokonuje Projektant obiektu (drogi) w uzgodnieniu z jego Zarządcą, biorąc pod uwagę m.in.:

- a. zapisy Rozporządzenia Ministra Infrastruktury, zmieniającego rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie [14]:
 - „Przy doborze kruszywa należy uwzględnić: (...)
 - 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. (Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej, 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.

3. Dobór środków zapobiegających wystąpieniu reakcji ASR

Analiza zagrożeń wystąpienia negatywnych skutków reakcji alkalia-krzemionka jest konieczna do dokonania wyboru adekwatnych środków zapobiegawczych, dobieranych dla obiektu danej klasy (S) w zależności od kategorii reaktywności alkalicznej kruszywa (R) i kategorii oddziaływania środowiska (E). Zastosowanie środków zapobiegawczych zapewnia ochronę betonu przed wystąpieniem negatywnych skutków reakcji ASR poprzez postępowanie zgodne ze schematem na rysunku 1.

Warunki zastosowania naturalnego kruszywa do betonu wg PN-EN 12620 dla obiektów klasy S4, S3, S2 i S1, w kategoriach środowiska E2 i E3, oraz dla kategorii reaktywności kruszywa naturalnego R0, R1, R2, R3 podano w tablicy 4, tablicy 5, tablicy 6 i tablicy 7. W przypadku nawierzchni betonowych i drogowych obiektów inżynierskich kategoria oddziaływań środowiska E1 nie ma zastosowania.

Niniejsze Wytyczne Techniczne całkowicie wykluczają użycie kruszyw o kategorii reaktywności R2 i R3 w betonie nawierzchniowym i do budowy drogowych obiektów inżynierskich, z uwagi na brak w tym zakresie doświadczeń krajowych.

Środki zapobiegające negatywnym skutkom reakcji alkalia-krzemionka dobierane są dla danej klasy obiektu w zależności od kategorii reaktywności kruszywa i kategorii oddziaływania środowiska. Przyjęto następujące rozwiązania zapobiegawcze:

- ograniczenie zawartości alkaliów ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$) w betonie do poziomu 3,0; 2,4 lub 1,8 kg/m^3 . Dopuszczalne poziomy ekwiwalentu tlenu sodu w betonie podano w tablicy 4, tablicy 5, tablicy 6 i tablicy 7;
- stosowanie odpowiedniej ilości dodatków mineralnych do betonu: popiołu lotnego krzemionkowego lub mielonego granulowanego żużla wielkopieczowego wprowadzanych do mieszanki betonowej z cementem lub jako aktywny dodatek typu II;
- jednoczesne ograniczenie zawartości alkaliów w betonie i stosowanie dodatków mineralnych.

Osiągnięcie wymaganego poziomu zabezpieczenia przed wystąpieniem negatywnych efektów reakcji ASR jest możliwe poprzez zastosowanie w składzie betonu dodatków mineralnych: popiołu lotnego krzemionkowego spełniającego wymagania normy PN-EN 450-1 lub granulowanego żużla wielkopieczowego zgodnego z wymaganiami PN-EN 15167-1.

Tablica 4. Warunki zastosowania naturalnego kruszywa do betonu w obiekcie klasy S4 w zależności od kategorii oddziaływania środowiska E oraz kategorii reaktywności kruszywa R

Kategoria oddziaływania środowiska	Kategoria reaktywności kruszywa			
	Niereaktywne R0	Umiarkowanie reaktywne R1	Silnie reaktywne R2	Bardzo silnie reaktywne R3
	zawartość Na ₂ O _{eq} w 1 m ³ betonu			
E2	maks. 3,0 kg/m ³	Kruszyw o takiej kategorii reaktywności nie dopuszcza się		
E3	maks. 2,4 kg/m ³			

Uwaga:

Kruszyw grubych ze złóż zwirowych o genezie rzecznej lub polodowcowej nie dopuszcza się do stosowania w obiektach klasy S4, z uwagi na brak doświadczeń krajowych w tym zakresie oraz duże zróżnicowanie ich składu mineralogicznego. W obszarze obowiązywania „Katalogu typowych konstrukcji drogowych obiektów mostowych i przepustów” (Ministerstwo Infrastruktury, 13.06.2019), jako kruszywo grube powinny być zastosowane kruszywa naturalne, uzyskane z mechanicznego rozdrobnienia surowca skalnego litego.

Tablica 5. Warunki zastosowania naturalnego kruszywa do betonu w obiekcie klasy S3 w zależności od kategorii oddziaływania środowiska E oraz kategorii reaktywności kruszywa R

Kategoria oddziaływania środowiska	Kategoria reaktywności kruszywa			
	Niereaktywne R0	Umiarkowanie reaktywne R1	Silnie reaktywne R2	Bardzo silnie reaktywne R3
	zawartość Na ₂ O _{eq} na 1 m ³ betonu			
E2	bez ograniczeń	(i) maks. 2,4 kg/m ³ i (ii) min. 20%FA albo min. 35%GGBS	Kruszyw o takiej kategorii reaktywności nie dopuszcza się	
E3	3,0 kg/m ³	(i) maks. 1,8 kg/m ³ i (ii) min. 20%FA albo min. 35%GGBS, wymagane potwierdzenie eksperta*		

FA – popiół lotny krzemionkowy wg PN-EN450-1:2012
GGBS – granulowany żużel wielkopiecowy wg PN-EN 15167-1:2007
* Potwierdzenie eksperta powinno być oparte m.in. o analizę wydłużenia próbek zapraw lub betonów wg PB/1/18 – PB/5/18, a także rozpoznanie produktów reakcji alkalia-krzemionka w betonie wg PB/3/18.

Tablica 6. Warunki zastosowania naturalnego kruszywa do betonu w obiekcie klasy S2 w zależności od kategorii środowiska E oraz kategorii reaktywności kruszywa R

Kategoria oddziaływania środowiska	Kategoria reaktywności kruszywa			
	Niereaktywne R0	Umiarkowanie reaktywne R1	Silnie reaktywne R2	Bardzo silnie reaktywne R3
	zawartość $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ na 1 m ³ betonu			
E2	bez ograniczeń	(i) maks. 3,0 kg/m ³ lub (ii) min. 20%FA lub 35%GGBS	Kruszyw o takiej kategorii reaktywności nie dopuszcza się	
E3	3,0 kg/m ³	(i) maks. 2,4 kg/m ³ lub (ii) min. 20%FA lub 35%GGBS		
FA – popiół lotny krzemionkowy wg PN-EN450-1:2012 GGBS – granulowany żużel wielkopiecowy wg PN-EN 15167-1:2007				

Tablica 7. Warunki zastosowania naturalnego kruszywa do betonu obiekcie klasy S1 w zależności od kategorii środowiska E oraz kategorii reaktywności kruszywa R

Kategoria oddziaływania środowiska	Kategoria reaktywności kruszywa			
	Niereaktywne R0	Umiarkowanie reaktywne R1	Silnie reaktywne R2	Bardzo silnie reaktywne R3
	zawartość $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ na 1 m ³ betonu			
E2	bez ograniczeń	(i) maks. 3,0 kg/m ³	Kruszyw o takiej kategorii reaktywności nie dopuszcza się	
E3	bez ograniczeń			

4. Wymagania odnośnie do składników betonu

4.1. Wymagania ogólne

Ogólne wymagania dotyczące cementu, dodatków, domieszek i wody do projektowania składu betonu podaje norma PN-EN 206 [16] z powołaniem norm przedmiotowych:

- PN-EN 197-1:2012 *Cement - Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku* [30]
- PN-B-19707:2013 *Cement, Cement specjalny: Skład, wymagania i kryteria zgodności* [31]
- PN-EN 934-2+A1:2012, *Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu - Część 2: Domieszki do betonu - Definicje, wymagania, zgodność, oznakowanie i etykietowanie* [32]
- PN-EN 1008:2004 *Woda zarobowa do betonu - Specyfikacja pobierania próbek, badanie i ocena przydatności wody zarobowej do betonu, w tym wody odzyskanej z procesów produkcji betonu* [33]
- PN-EN 450-1:2012 *Popiół lotny do betonu - Część 1: Definicje, specyfikacje i kryteria zgodności* [34]
- PN-EN 15167-1:2007 *Mielony granulowany żużel wielkopiecowy do stosowania w betonie, zaprawie i zaczynie - Część 1: Definicje, specyfikacje i kryteria zgodności* [35]

Dobór kruszywa oraz cementu do projektowania i wykonawstwa drogowych obiektów inżynierskich z betonu i betonowych nawierzchni drogowych, w tym dróg szybkiego ruchu i autostrad, powinien uwzględniać zapisy niniejszych Wytycznych GDDKiA. W tablicy 1 Wytycznych podano kategoryzację reaktywności alkalicznej kruszyw (R0, R1, R2, R3) i metody jej oznaczania.

Odpowiednio w tablicy 4, tablicy 5, tablicy 6 i tablicy 7 podano maksymalne, dopuszczalne zawartości alkaliów w betonie i/lub zawartości dodatków mineralnych, które dla danych klas obiektu, kategorii środowiska i kategorii reaktywności kruszywa powinny zapobiegać uszkodzeniom konstrukcji wskutek reakcji alkalia-kruszywo w betonie w jej oczekiwanym okresie eksploatacji.

Z ograniczeń recepturowych na skład betonu wynika, że przy maksymalnej, dopuszczalnej zawartości cementu w mieszance betonowej 450 kg/m^3 oraz typowym współczynnikiem zmienności ekwiwalentu tlenku sodu w cemencie $V_c = 0,06$, wymaganą zawartość alkaliów można uzyskać:

- poniżej $3,0 \text{ kg}$ w 1 m^3 betonu - przez zastosowanie cementu portlandzkiego niskoalkalicznego NA wg normy PN-B-19707 o zawartości alkaliów $< 0,6 \%$ $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$;
- poniżej $2,4 \text{ kg}$ w 1 m^3 betonu - przez zastosowanie cementu portlandzkiego niskoalkalicznego NA wg normy PN-B-19707 o zawartości alkaliów $< 0,5 \%$ $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$;
- poniżej $1,8 \text{ kg}$ w 1 m^3 betonu - przez zastosowanie cementu portlandzkiego niskoalkalicznego NA wg normy PN-B-19707 o zawartości alkaliów $\leq 0,35 \%$ $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$.

Sposób wyliczenia zawartości alkaliów w betonie podano w p. 5.2 Wytycznych. Dodatkowo Załącznik 5 do Wytycznych zawiera przykłady obliczania dopuszczalnych zawartości alkaliów w betonie pochodzących ze składników mieszanki betonowej.

Wymaganą zawartość dodatków mineralnych: popiołu lotnego krzemionkowego lub mielonego granulowanego żużla wielkopiecowego, wprowadzanych do mieszanki wraz z cementem, zapewnia stosowanie niskoalkalicznych cementów portlandzkich popiołowych CEM II/AB-V NA, popiołowo-żuźlowych CEM II/B-SV NA, żuźlowych CEM II/B-S NA lub cementów hutniczych CEM III/AB NA

spełniających wymagania normy PN-B-19707. Składniki wymienionych cementów powinny spełniać wymagania norm PN-EN 450-1 i PN-EN 15167-1, odpowiednio dla popiołu i żużla.

Wymienione dodatki mineralne do betonu mogą być wprowadzone do mieszanki również jako dodatek aktywny typu II. Korzystniejsze jest stosowanie technologii wprowadzania składnika mineralnego (żużla lub popiołu) do betonu z cementem. Przy zastosowaniu dodatków typu II do betonu przy określaniu w/c należy uwzględnić współczynnik k zgodnie z normą PN-EN 206. Popiół lotny krzemionkowy jako dodatek aktywny do mieszanki betonowej powinien spełniać wymagania dla popiołu kategorii A i kategorii N wg normy PN-EN 450-1. Mielony granulowany żużel wielkopieczowy jako dodatek aktywny do mieszanki betonowej powinien spełniać wymagania normy PN-EN 15167-1.

4.2. Dodatkowe warunki dostaw cementu

Dodatkowe warunki dostaw cementu powinny być przedmiotem umowy pomiędzy jego dostawcą a odbiorcą i powinny zawierać informacje dotyczące:

- zawartości składników głównych cementu;
- całkowitej zawartości alkaliów w cemencie;
- całkowitej zawartości alkaliów w składnikach cementu;
- współczynników zmienności dla wyżej wymienionych właściwości z okresu ostatnich 3 miesięcy produkcji. Wartości współczynników zmienności nie powinny przekraczać wartości 0,06.

Należy także udokumentować brak składników drugorzędnych cementu: wapienia i innych dopuszczonych normą PN-EN 197-1.

5. Wymagania dotyczące składu betonu

5.1. Projektowanie mieszanki betonowej z uwzględnieniem reakcji alkalia-krzemionka

Projektowanie mieszanki betonowej z uwzględnieniem reakcji alkalia-krzemionka powinno uwzględniać:

- klasę obiektu betonowego S i projektowany okres eksploatacji obiektu (tablica 3);
- kategorię środowiska E (tablica 2);
- kategorię reaktywności kruszywa R (tablica 1)
- sposoby zapobiegania wystąpieniu negatywnych efektów reakcji ASR podane w tablicy 4, tablicy 5, tablicy 6 i tablicy 7, w tym dopuszczalną zawartość alkaliów w betonie.

Projektowanie mieszanki betonowej wymaga uwzględnienia kategorii reaktywności alkalicznej kruszywa, wynikającego z badań wykonanych przez jego Producenta/Wykonawcę obiektu (drogi) wg PB/1/18, PB/2/18 i PB/3/18 zawartych w Załącznikach niniejszych Wytycznych.

Akceptacja receptury mieszanki betonowej przez Inżyniera/Inwestora wymaga:

- weryfikacji kategorii reaktywności kruszywa wynikającego z badań, przeprowadzonych przez Producenta/Wykonawcę obiektu (drogi) na podstawie porównania wyniku badania wg PB/1/18, przedstawionego przez Wykonawcę oraz wyniku uzyskanego przez laboratorium Inwestora lub laboratorium zewnętrzne;
- weryfikacji zastosowanych rozwiązań recepturowych zapobiegających wystąpieniu negatywnych skutków reakcji ASR (patrz tablica 4, tablica 5, tablica 6 lub tablica 7) poprzez przyśpieszone metody badania ekspansji zaprawy wg PB/1/18 lub PB/4/18 lub długotrwałe metody badania betonu wg PB/2/18 w wersji z dodatkiem mineralnym albo PB/5/18.

Przykłady receptur mieszanki betonowej i wyliczenie zawartości alkaliów w betonie, udział dodatków mineralnych podano w Załączniku 6 do niniejszych Wytycznych.

5.2. Obliczanie zawartości alkaliów w recepturze betonu

Zawartość alkaliów czynnych w betonie jako Na_2O_{eq} określa się jako sumę zawartości alkaliów z poszczególnych składników.

$$Na_2O_{eq} = \sum_i \frac{w_i}{100\%} x_i z_i \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

gdzie: w_i – współczynnik uwzględniający udział alkaliów wymywanych dla i-tego składnika, x_i – zawartość Na_2O_{eq} dla i-tego składnika, z_i – zawartość i-tego składnika w betonie.

Do obliczeń należy przyjąć następujące wartości współczynników w_i :

- 100 % całkowitej zawartości alkaliów w cemencie portlandzkim CEM I lub klinkierze portlandzkim;
- 10 % całkowitej zawartości alkaliów w granulowanym żużlu wielkopieczowym i 10 % całkowitej zawartości alkaliów w popiele lotnym krzemionkowym, jako składników

cementów wieloskładnikowych niskoalkalicznych NA oraz jako aktywnych dodatków mineralnych typu II do betonu;

- 100 % zawartość alkaliów w domieszkach do betonu;
- 100 % zawartość alkaliów w wodzie zarobowej;
- w przypadku kruszyw naturalnych ze złóż krajowych ze skał litych i okruchowych nie stwierdza się znaczącego wymywania alkaliów, a co za tym idzie, alkalia wymywalne z kruszywa pomija się w bilansie $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ w betonie.

Jeśli nie jest znany masowy udział składników cementu oraz zawartość alkaliów w składnikach, zawsze należy przyjąć 100 % zawartość alkaliów określonych dla produktu handlowego - zastosowanego do produkcji betonu.

5.3. Metody ograniczenia zawartości alkaliów w betonie

Rozwiązania recepturowe, uwzględniające ograniczenie zawartości alkaliów czynnych w betonie, powinny uwzględniać:

- zastosowanie cementów portlandzkich CEM I niskoalkalicznych NA, opisanych w p.4. Wytycznych Technicznych, gwarantujących dotrzymanie poziomu $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ w betonie wymaganego zgodnie z tablicą 4, tablicą 5, tablicą 6 lub tablicą 7;
- zastosowanie cementów specjalnych wieloskładnikowych niskoalkalicznych NA z dodatkiem popiołu lotnego krzemionkowego i/lub mielonego granulowanego żużla wielkopieczowego o niskiej zawartości alkaliów całkowitych, cementów opisanych w p.4 Wytycznych, gwarantujących dotrzymanie odpowiedniego poziomu $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ w betonie wymaganego zgodnie z tablicą 4, tablicą 5, tablicą 6 lub tablicą 7;
- zastosowanie dodatku popiołu lotnego krzemionkowego, do mieszanki betonowej jako zamiennika cementu, gwarantujących dotrzymanie odpowiedniego poziomu alkaliów całkowitych $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ w betonie oraz udział dodatków mineralnych wymaganych zgodnie z tablicą 4, tablicą 5, tablicą 6 lub tablicą 7.

Przykłady obliczeń zawartości alkaliów w betonie dla różnych receptur przedstawiono w Załączniku 6 do Wytycznych.

6. Wytyczne dotyczące kontroli produkcji, oceny reaktywności kruszyw do betonu oraz efektywności zastosowanych środków zapobiegawczych

6.1. Zakres deklaracji właściwości użytkowych kruszywa

Producent kruszywa do wykonawstwa nawierzchni betonowych i infrastruktury drogowej powinien stosować system oceny i weryfikacji właściwości użytkowych 2+, który uwzględnia europejska norma przedmiotowa PN-EN 12620 [17].

Niniejsze Wytyczne Techniczne GDDKiA stanowią dokument „Przepisy w miejscu stosowania” w rozumieniu normy PN-EN 206 [16] w odniesieniu do reakcji alkalia-kruszywo.

Nieaktualność norm krajowych do oceny kategorii reaktywności alkalicznej kruszyw (PN-B-06714-46 [36] i PN-B-06714-34 [37]) uzasadnia wprowadzenie nowych bezpośrednich metod pomiaru zmian długości próbek zapraw i betonu opartych na sprawdzonych metodach: ASTM C1260 [38], ASTM C1293 [39] i zaleceniach RILEM [27], [40-41], w postaci Procedur Badawczych GDDKiA PB/1/18 i PB/2/18.

Deklaracja Właściwości Użytkowych (DWU) kruszywa ze znakiem CE przeznaczonego do wykonawstwa nawierzchni betonowych i infrastruktury drogowej powinna powoływać wymienione Procedury Badawcze GDDKiA badania reaktywności alkalicznej kruszywa. DWU powinna zawierać:

- kategorię reaktywności kruszywa R, określoną według tablicy 1 niniejszych Wytycznych oraz,
- uzyskane dla danego kruszywa średnie wartości wydłużenia próbek zaprawy i betonu.

Deklarowana przez Producenta kategoria reaktywności kruszywa powinna być kontrolowana w dostawach przez laboratorium Inwestora, laboratorium zewnętrzne o uznanych kompetencjach w ramach obowiązującego systemu kontroli dostaw lub jednostkę naukowo-badawczą kompetentną w zakresie rozpoznania szkodliwości reakcji alkalia-kruszywo.

Deklaracja Producenta w zakresie opisu petrograficznego zgodnego z PN-EN 932-3 powinna być uzupełniona wynikami analizy petrograficznej wg PB/3/18. Zlecenia podają metody identyfikacji szkodliwych składników kruszyw, których występowanie wiąże się z podatnością kruszywa na reakcję alkalia-krzemionka i alkalia-węglany. Identyfikacja petrograficzna takich składników w kruszywie powinna uzasadnić uzyskane wyniki pomiarów wydłużenia próbek wg PB/1/18 lub PB/2/18.

Do oceny efektywności zastosowanych środków zapobiegających wystąpieniu negatywnych skutków reakcji ASR należy stosować procedury badawcze bezpośrednie, tj. przyspieszona PB/4/18 lub długoterminowa PB/2/18 w wersji z dodatkiem mineralnym albo PB/5/18 w wersji z cementem o obniżonej zawartości alkaliów.

6.2. Częstotliwość badań reaktywności alkalicznej kruszyw przez Producenta kruszyw

Metody i częstotliwość badań kruszyw w systemie 2+ i stosowanych do wykonawstwa nawierzchni betonowych, obiektów inżynierskich i infrastruktury drogowej określa tablica 8.

Producent kruszywa musi zagwarantować, że w przypadku jakiegokolwiek zmiany geologicznej złoża (np. rodzaj skały) lub zmiany technologii produkcji kruszywa do betonu, a która mogłaby mieć wpływ na reaktywność z alkaliami, przeprowadzi nowe badania wg niniejszych Wytycznych Technicznych.

Przyspieszone badanie wydłużenia próbek zaprawy wg PB/1/18 przeprowadza się osobno dla każdej frakcji kruszywa grubego i drobnego.

Długoterminowe badanie wydłużenia belek betonu wg PB/2/18 wykonuje się dla kruszywa drobnego i grubego osobno.

Tablica 8. Częstotliwość badań kruszyw z uwagi na kategorię reaktywności

Metoda badania	Kategoria reaktywności kruszywa naturalnego			
	Niereaktywne R0	Umiarkowanie reaktywne R1	Silnie reaktywne R2	Bardzo silnie reaktywne R3
	Minimalna częstotliwość badań			
Procedura Badawcza GDDKiA PB/1/18 (metoda przyspieszona)	1 raz co 6 miesięcy*			
Procedura Badawcza GDDKiA PB/2/18 (metoda długoterminowa)	1 raz co 12 miesięcy*			
Procedura Badawcza GDDKiA PB/3/18 (analiza petrograficzna)	1 raz co 12 miesięcy*			

Uwagi:

* zalecane jest zwiększenie częstotliwości badania, gdy mierzone wielkości wydłużenia próbek zaprawy lub betonu są bliskie wartościom rozgraniczającym sąsiednie kategorie reaktywności

6.3. Pobieranie próbek kruszywa do badań

Pobieranie próbek kruszywa u Producenta należy wykonywać zgodnie z normą PN-EN 932-1 [42]. Z pobrania próbki należy przygotować raport, zawierający co najmniej poniższe dane:

- cel pobrania (np. badanie reaktywności kruszywa z alkaliami);
- dane producenta i oświadczenie producenta kruszywa, że pobrana próbka reprezentuje wydobywaną skałę;
- dane laboratorium badawczego;
- sposób pobrania próbki;
- orientacyjną petrograficzną nazwę pobranej skały;
- masę pobranej próbki (minimalna zalecana masa wynosi 15 kg);
- dokładne określenie miejsca pobrania, wraz z lokalizacją miejsca pobrania (poziom, pozycję, współrzędne), szkic sytuacyjny z zaznaczeniem miejsca pobrania, fotodokumentację;
- datę i miejsce pobrania próbki;
- wykaz i podpisy osób obecnych podczas pobierania próbki;
- zgodę uczestników próbkowania na sposób pobrania próbki.

Próbki gotowej frakcji kruszywa do badań reaktywności pobiera się ze składowiska, zasobnika, lub z przenośnika taśmowego gotowego wyrobu.

6.4. Kontrola kruszywa u Producenta betonu

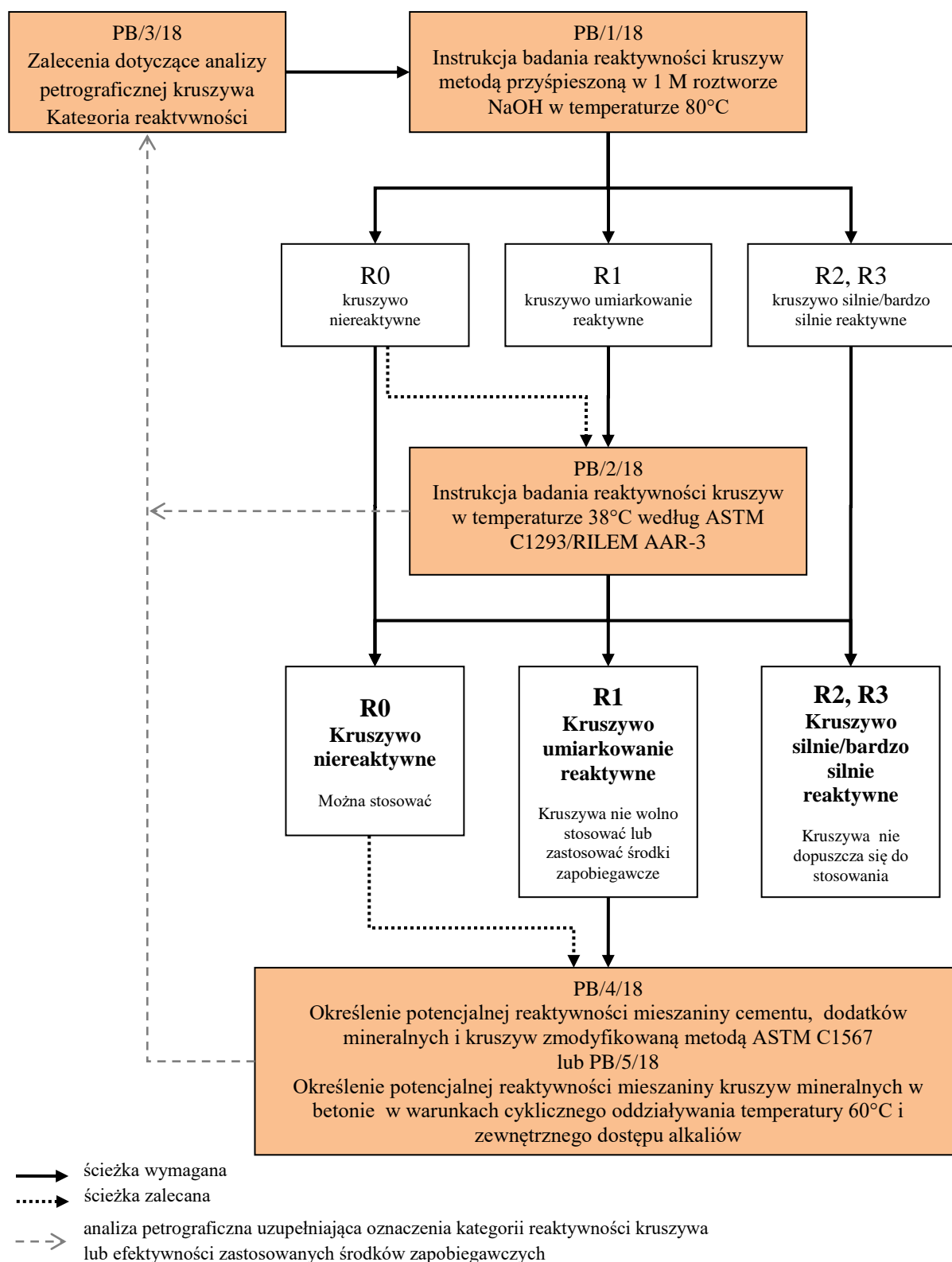
Niezależnie od deklaracji kategorii reaktywności danej frakcji wystawianej przez Producenta kruszywa, należy kontrolować podaną kategorię reaktywności dla ustalonych wielkości partii kruszywa, wykorzystując przyspieszoną metodę badawczą według PB/1/18. Badania należy prowadzić w laboratoriach producentów betonu, laboratoriach inwestora/nadzoru lub na ich zlecenie w akredytowanych laboratoriach zewnętrznych lub kompetentnych jednostkach naukowych. Schemat postępowania przy klasyfikacji reaktywności i weryfikacji efektywności zastosowanych środków zapobiegawczych przedstawiono na rysunku 2.

Na etapie zatwierdzania receptury betonu przez nadzór budowy wymaga się, aby przedstawione wyniki oznaczenia kategorii reaktywności były przeprowadzone nie wcześniej niż przed 4 miesiącami.

Badania kontrolne kategorii reaktywności kruszywa u Producenta betonu należy prowadzić dla każdej dostarczonej partii kruszywa, tj.:

- a) w przypadku budowy drogowych obiektów inżynierskich (na podstawie PN-86 B-06712 [43]):
 - co 1500 ton – partia kruszywa grubego jednej frakcji,
 - co 1500 ton – partia kruszywa drobnego.
- b) w przypadku budowy nawierzchni drogowych: 1 raz podczas budowy odcinka jezdni o powierzchni nie większej niż 50000 m², ale nie mniej niż 2 razy na całym budowanym odcinku jezdni.

W przypadku stosowania kruszyw o kategorii reaktywności R1 efektywność rozwiązań zapobiegania reakcji alkalia-krzemionka powinna być sprawdzana przez laboratoria o uznanych kompetencjach w zakresie prowadzenia badań wg PB/4/18 lub PB/2/18 w wersji z dodatkiem mineralnym. W szczególnym przypadku betonowych nawierzchni dróg w środowisku kategorii E3 do potwierdzenia odporności betonu na szkodliwą ekspansję wskutek reakcji alkalia-krzemionka w warunkach eksploatacji stosuje się procedurę PB/5/18 przy odpowiednich kompetencjach laboratorium w tym zakresie. Badania kontrolne efektywności zapobiegania szkodliwości reakcji ASR należy przeprowadzić 1 raz podczas budowy drogowego obiektu inżynierskiego lub podczas budowy nawierzchni drogowej na odcinku o długości do 15 km.



Rysunek 2. Schemat Procedur Badawczych składających się na system klasyfikacji reaktywności alkalicznej kruszywa i weryfikacji efektywności zastosowanych środków zapobiegawczych

7. Ocena kategorii reaktywności alkalicznej kruszyw

7.1. Analiza petrograficzna

Zalecenia odnoszące się do analizy petrograficznej kruszywa wg PB/3/18 dotyczą:

- opisu i analizy makroskopowej fragmentów skał z określeniem składu petrograficznego. Deklaracja właściwości użytkowych kruszywa CE uwzględnia procedurę uproszczonego opisu petrograficznego wg PN-EN 932-3 [44];
- identyfikacji potencjalnie reaktywnych składników kruszywa wykonywanej wg normy ASTM C295/C 295M [45] oraz zaleceń RILEM AAR-1 [46], [27] na cienkich szlifach. Badania te umożliwiają stwierdzenie obecności składników potencjalnie reaktywnych, jak np. zdeformowanych form kwarcu, opalu, trydymitu, cristobalitu, szkliwa wulkanicznego, i innych składników, których obecność może wyjaśniać obserwowaną podatność kruszywa na reakcję ASR lub ACR;
- identyfikacji produktów reakcji ASR wg ASTM C856 [47]. Rozpoznanie produktów reakcji umożliwia potwierdzenie, że przyczyną mierzonego wydłużenia próbek zapraw i betonów jest reakcja ASR lub potwierdzenie występowania reakcji ASR w przypadku betonu w istniejącej konstrukcji.

7.2. Metody bezpośrednie badania wydłużenia próbek zapraw i betonów

Badania kategorii reaktywności kruszyw metodami pomiarów ekspansji uwzględniają komplementarne Procedury Badawcze GDDKiA PB/1/18 i PB/2/18:

- PB/1/18 - przyspieszona metoda pomiaru ekspansji zaprawy opracowana na podstawie normy ASTM C1260 [38] oraz RILEM AAR-2 [40] (Załącznik 1),
- PB/2/18 - długoterminowa metoda pomiaru ekspansji betonu opracowana na podstawie normy ASTM C1293 [39] oraz RILEM AAR-3 [41] (Załącznik 2).

Podstawą klasyfikacji reaktywności kruszywa PB/1/18 jest wartość wydłużenia próbek zaprawy po 14 dniach przechowywania w roztworze 1 M NaOH w temperaturze 80°C. Podstawą klasyfikacji reaktywności kruszywa wg PB/2/18 jest wydłużenie próbek betonu po 1 roku przechowywania w warunkach wysokiej wilgotności i temperaturze 38°C. Badania zgodnie z procedurami PB/1/18 i PB/2/18 należy wykonywać w akredytowanych laboratoriach lub kompetentnych jednostkach naukowo-badawczych.

Badania efektywności zastosowanych środków zapobiegawczych prowadzone są wg Procedur Badawczych GDDKiA PB/4/18, PB/2/18 lub PB/5/18:

- PB/4/18 - przyspieszona metoda badania wydłużenia próbek zaprawy wykonanej z mieszaniny materiałów: cementu, dodatków mineralnych i badanego kruszywa, opracowana na podstawie normy ASTM C1567 [48] (Załącznik 4),
- PB/2/18 w wersji z dodatkiem mineralnym (Załącznik 2),
- PB/5/18 – trwająca 6 miesięcy metoda badania wydłużenia próbek betonu i zmiany modułu sprężystości betonu w cyklicznego zmiennych warunkach cieplno-wilgotnościowych t i zewnętrznego dostępu alkaliów, opracowana na podstawie projektu RILEM AAR-12 (Załącznik 5).

Procedura PB/4/18 pozwala na ustalenie warunków zapobiegania reakcji ASR dla kruszyw potencjalnie reaktywnych. Procedura PB/5/18 umożliwia ocenę reaktywności kombinacji kruszywa drobnego i grubego oraz weryfikację sposobu zapobiegania wystąpieniu negatywnych skutków reakcji ASR w symulowanych warunkach eksploatacyjnych nawierzchni drogowych.

8. Zalecenia do monitorowania trwałości obiektów

Wnioski dotyczące reaktywności kruszyw krajowych i sposobów zapobiegania negatywnym skutkom reakcji alkalia-krzemionka zawarto w Raportach Okresowych i w Raporcie Końcowym z realizacji Projektu *Reaktywność alkaliczna krajowych kruszyw*, DZP/RID-I-37/6/NCBR/2016. Poniżej wskazano zagadnienia, które, zdaniem autorów WT, powinny być rozwijane w przyszłości i przyczynią się do lepszego zabezpieczenia konstrukcji betonowych przed wystąpieniem negatywnych skutków reakcji alkalia-kruszywo.

Stan techniczny drogowych obiektów inżynierskich i nawierzchni powinien być monitorowany w trakcie ich eksploatacji z uwagi na występowanie reakcji alkalia-kruszywo w betonie, ze szczególnym uwzględnieniem obiektów mostowych i nawierzchni dróg na strategicznie ważnych odcinkach europejskiej sieci transportowej. W ramach monitoringu należy prowadzić inwentaryzację uszkodzeń w postaci spękań powierzchni i odprysków, nadmiernych wydłużeń lub wypiętrzeń elementów, wycieków i przebarwień. Należy prowadzić szczegółowe badania betonu w konstrukcji stosując następujące metody: skaningową mikroskopię elektronową z analizą pierwiastkową w mikroobszarach (SEM/EDS), mikroskopową identyfikację produktów reakcji alkalia-krzemionka, pomiary rozwarcia rys i zmian wymiarów liniowych elementów, pomiary zmian właściwości sprężystych betonu oraz jego przepuszczalności dla mediów agresywnych.

Na podstawie doświadczeń zgromadzonych w trakcie realizacji Projektu wnioskuje się o wprowadzenie monitoringu trwałości konstrukcji betonowych, stanowiącego uzupełnienie przeglądów podstawowych i rozszerzonych, jakim okresowo podlegają drogowe obiekty inżynierskie. W systemie monitoringu powinny być gromadzone dane i obserwacje dotyczące danej konstrukcji betonowej:

- informacje dotyczące składu mieszanki betonowej i właściwościach składników;
- daty wbudowania mieszanki, sposoby pielęgnacji itp.;
- lokalizacja geograficzna obiektu i rodzaje stosowanych środków odladzających oraz intensywność ich aplikacji;
- wyniki okresowej inspekcji i wizualnych obserwacji zmian konstrukcji (spękania, odpryski, wycieki żeli i inne), polowych pomiarów zmian liniowych elementów betonowych, obserwacje rozwoju spękań;
- wyniki laboratoryjnych badań postępu reakcji alkalia-kruszywo w próbkach pobranych z konstrukcji: identyfikacja produktów reakcji i minerałów reaktywnych w kruszywie, potencjał dalszej ekspansji próbek pobranych z konstrukcji, stopień spękania betonu i degradacji właściwości sprężystych oraz wytrzymałości.

W efekcie prowadzenia monitoringu konstrukcji z uwagi na reaktywność kruszywa w betonie można będzie:

- potwierdzić kategorię reaktywności kruszyw stosowanych do betonu i potwierdzić skuteczność sposobów zapobiegania wystąpieniu negatywnych skutków reakcji ASR,
- przewidywać rozwój zniszczeń wywołanych reakcją alkalia-krzemionka i prognozować czas eksploatacji konstrukcji,
- przewidywać konieczność i zakres ewentualnych napraw.

9. Literatura

- [1] Thomas, M.D.A., Fournier, B., Folliard, K.J., Alkali-Aggregate Reactivity (AAR) Facts Book, Report FHWA-HIF-13-019, Federal Highway Administration, Washington, 2013
- [2] Wigum, B.J., Alkali-aggregate reactions in concrete; Properties, classification and testing of Norwegian cataclastic rocks, Dr.ing theses, The Norwegian Institute of Technology, Trondheim, 1995
- [3] Wigum, B.J., Pedersen, L.T., Grell, B., Lindgard, J., State-of-the-art report: Key parameters influencing the alkali aggregate reaction, Report 2.1, PARTNER-project-GRD1-CT-2001-40103, 2001
- [4] Larive C., Laplaud A., Coussy O., The role of water in alkali-silica reaction, w: M.-A. Bérubé, B. Fournier, B. Durand (Eds.), 11th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, Québec, Canada, 2000, 61–69
- [5] Góralczyk S., Reaktywność alkaliczna kruszyw węglanowych, Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa 2018
- [6] Grattan-Bellew P.E., Mitchell L.D., Margeson J., Min D., Is alkali-carbonate reaction just a variant of alkali-silica reaction $ACR = ASR$, Cem. Concr. Res. 40 (2010) 556–562
- [7] Beyene, M., Snyder, A., Lee, R.J., Blaszkiewicz, M., Alkali Silica Reaction (ASR) as a root cause of distress in a concrete made from Alkali Carbonate Reaction (ACR) potentially susceptible aggregates, Cem. Concr. Res. 51 (2013) 85-95
- [8] Ozol M.A., Alkali carbonate rock reaction, w: P. Klieger, J.F. Lamond (Eds.), Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-making Materials, ASTM STP 169C, West Conshohocken, Pennsylvania, 1994, 372–387
- [9] Grattan-Bellew P.E., Katayama T., So-Called Alkali-Carbonate Reaction (ACR), w: I. Sims, A.B. Poole, Alkali-Aggregate Reaction in Concrete: A World Review, CRC Press, London, 2017, 63-88
- [10] Katayama T., The so-called Alkali-Carbonate Reaction (ACR) – Its Mineralogical and Geochemical details, with special reference to ASR, Cem. Concr. Res. 40 (2010) 643–675
- [11] Tang M.S., Liu Z., Han S.F., Mechanism of alkali-carbonate reaction, w: P.E. Grattan-Bellew (Ed.), Proceedings of the 7th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Ottawa, 1986, Noyes Publications, Park Ridge, 1987, 275–279
- [12] Fecteau P., Fournier B., Duchesne J., Use of SCMs on ACR-affected concrete: expansion and damage evaluation through the damage rating index, 15th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Sao Paulo, Brazil, 2016
- [13] Zarządzenie Nr 23 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 7 czerwca 2018r. w sprawie stosowania Ogólnych Specyfikacji Technicznych w Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad, Załącznik 1 Ogólna Specyfikacja Techniczna D-05.03.04 Nawierzchnia z betonu cementowego
- [14] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury, zmieniającego rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie (projekt z dnia 5 kwietnia 2019 r) oraz Dz. U. 2000 nr 63 poz. 735
- [15] Katalog typowych konstrukcji drogowych obiektów mostowych i przepustów, Ministerstwo Infrastruktury, 13.06.2019

Normy przedmiotowe, wytyczne i procedury badawcze

- [16] PN-EN 206+A1:2016 Beton: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- [17] PN-EN 12620+A1:2010 Kruszywa do betonu
- [18] CEN/TR 16349:2012 (E) Framework for a specification on the avoidance of a damaging Alkali-Silica Reaction (ASR) in concrete
- [19] AASHTO R 80-17 Standard Practice for Determining the Reactivity of Concrete Aggregates and Selecting Appropriate Measures for Preventing Deleterious Expansion in New Concrete Construction, 2017
- [20] Vyloučení alkalické reakce kameniva v betonu na stavbách pozemních komunikací, Technické podmínky Ministerstvo dopravy (Republika Czeska), TP 137, 2015
- [21] Report CEN/TC 104 - CR 1901:1995 Regional Specifications and Recommendations for the avoidance of damaging alkali silica reactions in concrete
- [22] DAfStb – Richtlinie: Vorbeugende Massnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton (Alkali – Richtlinie). Ausgabe Oktober 2013
- [23] ÖNORM B 3100:2008 Beurteilung der Alkali-Kieselsäure-Reaktivität im Beton
- [24] RILEM TC 106 - AAR: Alkali - Aggregate Reaction – metoda B-TC 106-3 – Detection of potential alkali-reactivity of aggregates – Method for aggregate combinations using concrete prisms (Materials and Structures, Vol. 33, June 2000, 283–293)
- [25] RILEM Recommended Test Method: AAR-4.1 – Detection of potential alkali-reactivity – 60°C test method for aggregate combinations using concrete prisms, RILEM TC 219-ACS, 2016
- [26] CUR Recommendation 89, Measurements to prevent damage to concrete by alkali-silica reaction (ASR), CUR, Gouda, 2002
- [27] RILEM Recommendations for the Prevention of Damage by Alkali-Aggregate Reactions in New Concrete Structures, Nixon, P.J., Sims, I. (eds.), Springer, Dordrecht, 2016
- [28] AC No:150/5370-10G Standards for Specifying Construction of Airports, Federal Aviation Administration, U.S. Department of Transportation, 2014
- [29] CAN/CSA A23.2-26A Determination of potential alkali-carbonate reactivity of quarried carbonate rocks by chemical composition, 2014
- [30] PN-EN 197-1:2012 Cement – Część 1: Skład, specyfikacja i kryteria zgodności cementów powszechnego stosowania
- [31] PN-B-19707:2013 Cement, Cement specjalny. Skład, wymagania i kryteria zgodności
- [32] PN-EN 934-2:2009+A1:2012 Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu -- Część 2: Domieszki do betonu -- Definicje, wymagania, zgodność, znakowanie i etykietowanie
- [33] PN-EN 1008: 2004 Woda zarobowa do betonu -- Specyfikacja pobierania próbek, badanie i ocena przydatności wody zarobowej do betonu, w tym wody odzyskanej z procesów produkcji betonu
- [34] PN-EN 450-1:2012 Popiół lotny do betonu - Część 1: Definicje, specyfikacje i kryteria zgodności

- [35] PN-EN 15167-1:2007 Mielony granulowany żużel wielkopiecowy do stosowania w betonie, zaprawie i zaczynie - Część 1: Definicje, specyfikacje i kryteria zgodności
- [36] PN-B-06714-46:1992 Kruszywa mineralne - Badania - Oznaczenie potencjalnej reaktywności alkalicznej metoda szybką
- [37] PN-B-06714-34:1991 Kruszywa mineralne - Badania - Oznaczenie reaktywności alkalicznej (wycofana ze zbioru norm aktualnych PKN)
- [38] ASTM C1260 Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method), 2014
- [39] ASTM C1293 Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction, 2018
- [40] RILEM Recommended Test Method: AAR-2—Detection of Potential Alkali-Reactivity—Accelerated Mortar-Bar Test Method for Aggregates, 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 Vol. 17, Eds. P. J. Nixon and I.Sims, Springer, 2016
- [41] RILEM Recommended Test Method: AAR-3— Detection of Potential Alkali-Reactivity—38 °C Test Method for Aggregate Combinations Using Concrete Prisms, 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 Vol. 17, Eds. Philip J. Nixon and Ian Sims, Springer, 2016
- [42] PN-EN 932-1:1999 Badania podstawowych właściwości kruszyw - Metody pobierania próbek
- [43] PN-86 B-06712 Kruszywa mineralne do betonu (norma wycofana)
- [44] PN-EN 932-3:1999/A1:2004 Badania podstawowych właściwości kruszyw -- Procedura i terminologia uproszczonego opisu petrograficznego
- [45] ASTM C295/C295M Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete, 2018
- [46] RILEM Recommended Test Method AAR-1: Detection of potential alkali-reactivity of aggregates – Petrographic method
- [47] ASTM C856 Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete, 2018
- [48] ASTM C1567 Standard Test Method for Determining the Potential Alkali-Silica Reactivity of Combinations of Cementitious Materials and Aggregate (Accelerated Mortar-Bar Method), 2013

10. Załączniki

Załącznik 1 – Procedura Badawcza GDDKiA PB/1/18, Instrukcja badania reaktywności kruszyw metodą przyspieszoną w 1 M roztworze NaOH w temperaturze 80°C

Załącznik 2 – Procedura Badawcza GDDKiA PB/2/18, Instrukcja badania reaktywności kruszyw w temperaturze 38°C według ASTM C1293/RILEM AAR-3

Załącznik 3 – Procedura Badawcza GDDKiA PB/3/18, Zalecenia dotyczące analizy petrograficznej kruszywa

Załącznik 4 – Procedura Badawcza GDDKiA PB/4/18, Określenie potencjalnej reaktywności mieszaniny cementu, dodatków mineralnych i kruszyw według zmodyfikowanej metody ASTM C1567

Załącznik 5 – Procedura Badawcza GDDKiA PB/5/18, Określenie potencjalnej reaktywności mieszaniny kruszyw mineralnych w betonie w warunkach cyklicznego oddziaływania temperatury 60°C i zewnętrznego dostępu alkaliów

Załącznik 6 – Obliczenie zawartości alkaliów w betonie

Załącznik 7 – Informacje z przeprowadzonych badań i dotychczasowych doświadczeń

(Koniec)