

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

Autorzy opracowania: Zbigniew Giergiczny, Łukasz Machniak, Artur Golda, Sebastian Witczak, Grzegorz Adamski, Leszek Bukowski, Edyta Szewczyk, Milena Nowek, Wojciech Brykalski

Nowelizacja v2: marzec 2022

SPIS TREŚCI

WPROWADZENIE	2
1. ZAKRES ZASTOSOWANIA	6
1.1. DEFINICJE	7
1.2. ODNIESIENIA NORMATYWNE	9
2. ANALIZA ZAGROŻEŃ WYSTĄPIENIA REAKCJI ALKALIA-KRUSZYWO	11
2.1. INFORMACJE OGÓLNE	11
2.2. KLASYFIKACJA REAKTYWNOŚCI KRUSZYWA	12
2.2.1. REAKCJA ALKALIA-KRZEMIONKA (ASR)	12
2.2.2. REAKTYWNOŚĆ ALKALICZNA KRUSZYW WĘGLANOWYCH	13
2.3. KATEGORIA ODDZIAŁYWAŃ ŚRODOWISKOWYCH	14
2.4. KLASYFIKACJA OBIEKTÓW BUDOWLANYCH I INŻYNIERSKICH	15
3. DOBÓR ŚRODKÓW ZAPOBIEGAJĄCYCH WYSTĄPIENIU REAKCJI ASR	17
4. WYMAGANIA ODNOŚNIE DO SKŁADNIKÓW BETONU	22
4.1. WYMAGANIA OGÓLNE	22
4.2. DODATKOWE WARUNKI DOSTAW CEMENTU	23
5. WYMAGANIA DOTYCZĄCE SKŁADU BETONU	24
5.1. PROJEKTOWANIE MIESZANKI BETONOWEJ Z UWZGLĘDNIENIEM REAKCJI ALKALIA-KRZEMIONKA	24
5.2. OBLICZANIE ZAWARTOŚCI ALKALIÓW W RECEPTURZE BETONU	24
5.3. METODY OGRANICZENIA ZAWARTOŚCI ALKALIÓW W BETONIE	25
6. WYTYCZNE DOTYCZĄCE KONTROLI PRODUKCJI, OCENY REAKTYWNOŚCI KRUSZYW DO BETONU ORAZ EFEKTYWNOŚCI ZASTOSOWANYCH ŚRODKÓW ZAPOBIEGAWCZYCH	26
6.1. DEKLARACJA KRUSZYWA W ZAKRESIE REAKTYWNOŚCI ALKALICZNEJ	26
6.2. CZĘSTOTLIWOŚĆ BADAŃ REAKTYWNOŚCI ALKALICZNEJ KRUSZYW PRZEZ PRODUCENTA KRUSZYW	27
6.3. POBIERANIE PRÓBEK KRUSZYWA DO BADAŃ	27
6.4. KONTROLA KRUSZYWA PRZEZ WYKONAWCĘ ROBÓT ORAZ NADZÓR	28
7. LITERATURA	32
8. ZAŁĄCZNIKI	35

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 wykryzalizowanych postaci SiO_2 w cieczy porowej o wysokim odczynie 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, pęknięcie 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 rozwarości [1-2].

Widoczne objawy reakcji alkalia-krzemionka w konstrukcji betonowej mogą pojawić się po kilku miesiącach albo po kilku lub kilkunastu 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 zależy w szczególności od rodzaju i zawartości kruszywa podatnego na reakcję alkaliczną, zawartości (stężenia) jonów sodu, potasu i wapnia w cieczy porowej oraz warunków wilgotności i temperatury betonu. Inne czynniki determinujące postęp reakcji alkalia-kruszywo to: zawartość Ca(OH)_2 w porach betonu, uziarnienie kruszywa, porowatość betonu, zawartość cementu i współczynnik w/c w projektowanej mieszance betonowej, 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 ASR (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 naprężenia 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 typu II: 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 (ASR).

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 drogowych obiektów inżynierskich, nawierzchni dróg oraz drobnowymiarowych prefabrykowanych elementów nawierzchni dróg (klasa obiektu S) w zależności od ich znaczenia oraz ekonomicznych, społecznych i środowiskowych skutków ewentualnej reakcji alkalia-kruszywo.

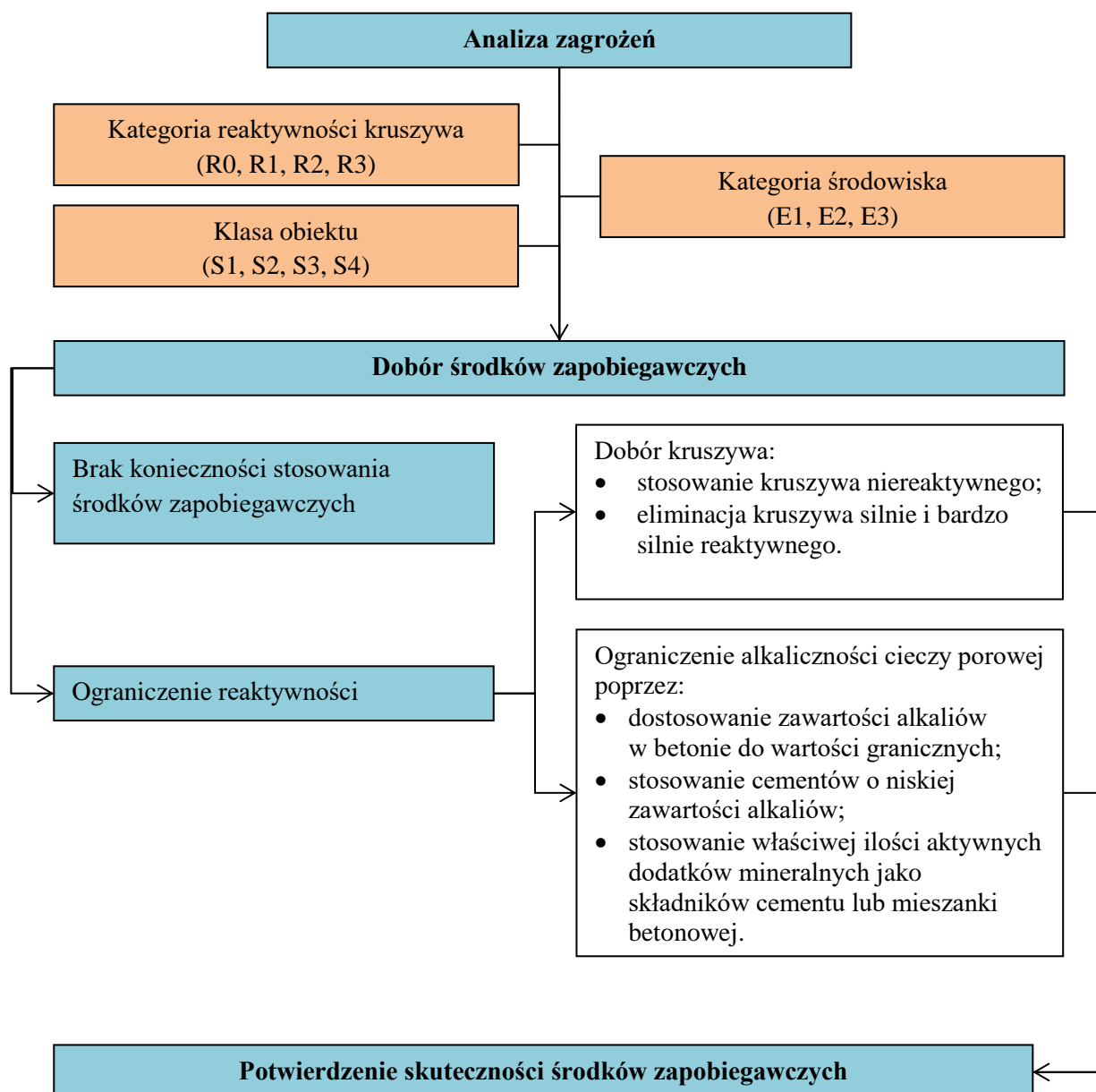
W niniejszych Wytycznych Technicznych podano rozwiązania zapobiegania przedwczesnemu zniszczeniu betonu w wyniku reakcji alkalia-krzemionka. Stosuje się rozwiązania podane poniżej:

- 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, 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 popiołu lotnego krzemionkowego lub zmielonego granulowanego żużla wielkopieczowego, wprowadzanych z cementem lub jako dodatek typu II.

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 wydobycia (typ petrograficzny), jak również lokalnie w danym obszarze eksploatacji.

W niniejszych wytycznych uwzględniono zapisy Ustawy o wyrobach budowlanych [13], Rozporządzenia Ministra Infrastruktury, zmieniającego rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie [14] i katalogu [15].



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

1. Zakres zastosowania

Wytyczne Techniczne GDDKiA mają zastosowanie do budowy dróg i obiektów inżynierskich, których Zarządcą lub Inwestorem jest GDDKiA. Określają przydatność kruszywa do zastosowania w betonowych elementach w kontekście możliwości wystąpienia reakcji alkalia-krzemionka i alkalia-węglany. 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.

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.

Przywołane procedury badawcze powinny być stosowane:

- przez laboratoria Producenta kruszywa w ramach Zakładowej Kontroli Produkcji do określenia kategorii reaktywności kruszywa i jej deklarowania poprzez podanie informacji uzupełniającej o wyrobie budowlanym;
- przez laboratoria badawcze zaangażowane w proces inwestycyjny celem weryfikacji danych deklarowanych przez Producenta kruszywa;
- przez laboratoria jednostek naukowowo-badawczych, badawczych i laboratoria akredytowane do określania kategorii reaktywności alkalicznej kruszywa i rozstrzygnięcia przypadków wątpliwych.

Podatność kruszywa na reakcję z alkaliami (kategoria reaktywności) musi być deklarowana przez Producenta kruszywa, produkowanego w systemie oceny zgodności 2+, dla kruszyw drobnych oraz kruszyw grubych frakcji 2/8 i 8/16, stosowanych do betonu zgodnie z PN-EN 12620. Stosowny dokument powinien określać kategorię reaktywności kruszywa oraz podawać średnie 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 Technicznych mają zastosowanie w systemie Zakładowej Kontroli Produkcji kruszyw.

Przestrzeganie zapisów niniejszych Wytycznych Technicznych nie wyklucza całkowicie możliwości wystąpienia reakcji alkalia-krzemionka w betonie, natomiast zapobiega powstawaniu istotnych uszkodzeń konstrukcji. Wytyczne Techniczne przedstawiają różne sposoby zmniejszenia zagrożenia wystąpieniem reakcji ASR do poziomu akceptowanego przez Właściciela lub Zarządcę konstrukcji betonowej.

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

- dobór kruszywa niereaktywnego (R0) oraz eliminację kruszywa silnie reaktywnego (R2) i bardzo silnie reaktywnego (R3);

- ograniczenie całkowitej zawartości alkaliów w składzie mieszanki betonowej do $3,5 \text{ kg/m}^3$, 3 kg/m^3 lub $2,4 \text{ kg/m}^3$ w zależności od kategorii reaktywności alkalicznej kruszywa przeznaczonego do betonu i od klasy obiektu oraz oddziaływania środowiska;
- zastosowanie cementów o niskiej zawartości alkaliów, co pozwala na dotrzymanie warunków granicznej zawartości alkaliów w składzie betonu;
- zastosowanie dodatków typu II: popiołu lotnego krzemionkowego i/lub zmielonego 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 wyniki badań krajowych przy wykorzystaniu wytycznych i norm dotyczących zapobiegania reakcji alkalicznej kruszywa w betonie, obowiązujących w USA, Austrii, Niemczech, Belgii, Czechach i w ogólnoeuropejskiej instrukcji RILEM [19-28].

1.1. Definicje

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;

Alkalia aktywne — alkalia wymywalne ze składników mieszanki betonowej (betonu);

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;

Elementy masywne — elementy o wymiarze przekroju porzecznego przekraczającym 1 m. Ryzyko wystąpienia negatywnych efektów reakcji ASR w takich elementach wzrasta z uwagi na fakt utrzymywania się wysokiej wilgotności we wnętrzu elementu;

Ekspert — jednostka naukowo-badawcza lub badawcza kompetentna w zakresie rozpoznania szkodliwości reakcji alkalia-kruszywo, o odpowiednim doświadczeniu i kompetencjach w zakresie badań ujętych w powołanych procedurach badawczych lub ekwiwalentnych;

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 alkaliami;

Kruszywo drobne — określenie kruszywa, o wymiarach ziaren D równych 4 mm lub mniejszych wg PN –EN 12620;

Kruszywo grube — oznaczenie kruszywa, o wymiarach ziaren 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 rzeczne** — skały okruchowe (piaski, żwiry) utworzone w wyniku wietrzenia ze skał wcześniej powstałych, nagromadzone w starych i aktualnie istniejących korytach rzek;
- 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 okruchowych 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;
- Zmielony granulowany żużel wielkopiecowy** — drobno zmielony materiał spełniający wymagania normy PN-EN 15167-1 w przypadku stosowania jako dodatek typu II do betonu lub spełniający wymagania PN-EN 197-1 w przypadku stosowania jako składnik główny do cementu;
- Popiół lotny krzemionkowy** — mialki materiał spełniający wymagania normy PN-EN 450-1 lub spełniający wymagania PN-EN 197-1 w przypadku stosowania jako składnik główny cementu;
- Przyspieszona metoda badania ekspansji zaprawy** — metoda badania reaktywności alkalicznej kruszywa, w której próbki zaprawy przechowywane są 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 użyteczności 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 odkształcony, 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 (norma wycofana 26.05.2020)*

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 odładzających, oddziaływanie wody morskiej, obciążenia o charakterze zmęczeniowym.

W kolejnym kroku uwzględnia się klasę obiektu w zależności od projektowanego okresu użytkowania 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 (ASR)

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 Technicznych wymaga przeprowadzenia pełnej analizy petrograficznej wg procedury badawczej PB/3/18 (p.2, 3 i 4). Dla każdej frakcji kruszywa pochodzącego ze złóż zwirowych o genezie rzecznej lub polodowcowej oraz jednej frakcji kruszywa pochodzącego z przekruszenia skały litej 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 procedur badawczych PB/2/18 lub PB/1/18 do czasu uzyskania wyników metody długoterminowej.

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 w składzie kruszyw. 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 określono w p.6.2.

Przyśpieszone badanie wydłużenia próbek zaprawy wg PB/1/18 przeprowadza się osobno dla kruszywa drobnego oraz frakcji 2/8 i 8/16 kruszywa grubego; 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).

Długoterminowe badanie wydłużenia próbek betonu należy stosować do oceny kruszyw (dla kruszywa drobnego oraz dla wszystkich frakcji kruszywa grubego łącznie). Jeżeli wydłużenie próbek betonu po 1 roku nie przekracza 0,04%, to kategoria reaktywności kruszywa wynosi R0 (patrz uwaga pod tablicą 1).

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) - do czasu otrzymania wyników wg metody PB/2/18	Wydlużenie próbek zaprawy po 14 dniach, %					
	≤ 0,15	≤ 0,10	> 0,15; ≤ 0,30	> 0,10; ≤ 0,30	> 0,30; ≤ 0,45	> 0,45
Procedura badawcza GDDKiA PB/2/18 (metoda długoterminowa)	Wydlużenie próbek betonu po 365 dniach, %					
	≤ 0,04		> 0,04; ≤ 0,12		> 0,12; ≤ 0,24	> 0,24

UWAGA:

Jeżeli kategoryzacja kruszywa na podstawie przyspieszonej metody pomiaru ekspansji zaprawy (wg PB/1/18) wskazuje R1, a na podstawie długoterminowej metody pomiaru ekspansji betonu (wg PB/2/18) R0, to kategorię reaktywności badanego kruszywa przyjmij według metody długoterminowej.

2.2.2. Reaktywność alkaliczna kruszyw węglanowych

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.

Jeżeli w kruszywach uzyskanych z przeróbki:

1. wapienia o zawartości $\text{CaCO}_3 > 95\%$ (obliczonej na podstawie zawartości CaO) nie stwierdza się występowania składników potencjalnie reaktywnych, tj. reaktywnych form krzemionki i minerałów ilastych, lub specyficznej tekstury, oraz jeżeli zawartości: $\text{SiO}_2 < 3,0\%$, $\text{MgO} < 1,0\%$ ($< 5\%$ dolomitu) oraz $\text{Al}_2\text{O}_3 < 1,2\%$, to kruszywo nie jest podatne na reakcję ACR.
2. dolomitu nie stwierdza się występowania składników potencjalnie reaktywnych, tj. reaktywnych form krzemionki i minerałów ilastych lub specyficznej tekstury, oraz jeżeli zawartości: $\text{SiO}_2 < 3,0\%$ i $\text{Al}_2\text{O}_3 < 1,2\%$, a zawartość dolomitu (obliczona na podstawie zawartości MgO) przekracza 95%, to kruszywo nie jest podatne na reakcję ACR.

W powyższych dwóch przypadkach **przyjmuje się, iż kruszywo jest niereaktywne** w kierunku ACR i nie wymaga się wykonywania badania wg PB/2/18 w wersji zmodyfikowanej W tych przypadkach

przyjmuje się, iż kruszywo jest niereaktywne również w kierunku ASR i nie wykonuje się badań wg procedur PB/1/18 oraz PB/2/18.

Jeżeli kruszywo uzyskane z przeróbki wapienia lub dolomitu nie spełnia wymagań opisanych w punktach 1 lub 2 powyżej to może wykazywać potencjał do wystąpienia reakcji ACR (wystąpieniu szkodliwej reakcji alkalia-węglany sprzyja m.in.: duża zawartość dolomitu (co najmniej 40%), minerałów ilastych (co najmniej 5%), lub charakterystyczna tekstura kruszywa: występowanie rombów krysztalów dolomitu o wielkości w zakresie od 20 do 50 μm w drobnoziarnistej matrycy zbudowanej z kalcytu mikrokrystalicznego i minerałów ilastych). W takim przypadku badanie wg PB/2/18 w wersji zmodyfikowanej jest konieczne. W celu wykluczenia reakcji ASR w kruszywie węglanowym i dolomitowym wystarczającym jest wykonanie badania wg metody PB/1/18. W przypadku przekroczenia ekspansji określonej dla kategorii R0 dla kruszyw drobnych i grubych podanych w tabelicy 1 należy wykonać także ocenę reaktywności ASR wg procedury PB/2/18.

Modyfikacja procedury PB/2/18 polega na obniżeniu zawartości alkaliów w mieszance betonowej z 5,25 kg/m^3 do 1,80 kg/m^3 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 drogowe obiekty inżynierskie.

W przypadkach wątpliwości, co do zawartości i tekstury składników, zwłaszcza gdy w kruszywie węglanowym mogą jednocześnie występować wtrącenia krzemionkowe (krystobalit, chalcedon, kwarc kryptokrystaliczny), niezbędna jest opinia eksperta wykluczająca możliwość powstania szkodliwej reakcji alkalia-węglany (rozpoznanie jednoczesnego występowania składników SiO_2 , CaO , MgO i Al_2O_3) wg PB/3/18.

2.3. Kategoria oddziaływań środowiskowych

Kategorie oddziaływania środowiska na beton, związane z zagrożeniem wystąpienia szkodliwej reakcji alkalia kruszywo, zestawiono w tabelicy 2. Kategorie oddziaływania środowiska nie mają bezpośredniego związku z klasami ekspozycji wg PN-EN 206, chociaż takie czynniki środowiskowe jak występowanie lub niewystępowanie oddziaływania soli odladzających, solnego oprysku lub zamarzania i rozmrażania występują w obu systemach klasyfikacji.

Tablica 2. Kategorie oddziaływań środowiskowych, związane z zagrożeniem wystąpienia szkodliwej reakcji alkalia kruszywo, zgodnie z CEN/TR 16349 [18] i RILEM AAR 7.1 [27]

Kategoria środowiska	Opis środowiska	Ekspozycja elementów obiektu z betonu – przykłady obiektów drogowych
E1*	Środowisko suche, chronione przed wilgocią zewnętrzną ¹⁾	<ul style="list-style-type: none">elementy wewnętrzne w budynkach w środowisku suchym.

E2	Środowisko wilgotne bez oddziaływania agresywnego czynników zewnętrznych ²⁾	<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 ³⁾.
E3	Środowisko wilgotne z agresywnym oddziaływaniem czynników zewnętrznych ⁴⁾	<ul style="list-style-type: none"> • elementy drogowych obiektów inżynierskich ⁵⁾ narażone bezpośrednio na odladzanie solami; • 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 dróg i parkingi narażone na oddziaływanie soli odladzających; • jezdnie drogowe poddane obciążeniom zmęczeniowym.
* Kategoria środowiska E1 nie ma zastosowania do betonowych nawierzchni drogowych i drogowych obiektów inżynierskich		

Objaśnienia:

¹⁾ 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;

²⁾ Powiązane klasy ekspozycji wg PN-EN 206 odpowiadają warunkom w elementach wilgotnych z wyłączeniem ekspozycji na czynniki środowiskowe wymienione w objaśnieniu 4).

³⁾ We wnętrzu betonowych elementów masywnych utrzymuje się wysoka wilgotność, nawet gdy znajdują się w środowisku suchym.

⁴⁾ Powiązane grupy klas ekspozycji wg PN-EN 206 odpowiadają warunkom w elementach wilgotnych, wystawionych na oddziaływanie środków odladzających zawierających alkalia (poprzez kontakt roztworów lub mgły solnej), na cykliczne ochlapywanie wodą morską, na cykliczne oddziaływanie mrozu.

⁵⁾ Zasięg strefy oddziaływania środków odladzających zgodnie z PN-EN 1992-2:2010 pkt. 4.2 i PN-EN 1992-2:2010/NA:2016-11.

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. Klasy obiektów odnoszące się do drogowych obiektów inżynierskich, nawierzchni dróg oraz drobnowymiarowych prefabrykowanych elementów nawierzchni dróg w zależności od konsekwencji wystąpienia szkodliwych efektów reakcji alkalia-kruszywo na podstawie AASHTO R80-17 [19], RILEM AAR-7.1 [27], po dostosowaniu do warunków krajowych według Rozporządzenia [14]

Klasa obiektu	Konsekwencje wystąpienia reakcji AAR	Akceptowalność szkodliwych efektów AAR	Przykłady
S1	Pomijalne.	Wobec krótkiego czasu użytkowania pewne ryzyko uszkodzenia wskutek AAR można tolerować.	<ul style="list-style-type: none"> • Elementy konstrukcji tymczasowych lub krótkożyciowych (projektowany okres użytkowania do 5 lat).

S2	Nieznaczne konsekwencje ekonomiczne, w zakresie bezpieczeństwa lub ochrony środowiska.	Niewielkie ryzyko uszkodzenia wskutek AAR w okresie użytkowania można tolerować z uwagi na łatwość wymiany i mniejsze znaczenie obiektu. Ryzyko obniżone przez warunki otoczenia- dotyczy technologii głębokiego fundamentowania.	<ul style="list-style-type: none"> • Prefabrykowane elementy nawierzchni dróg, które łatwo wymienić, np. chodniki, krawężniki oraz betonowe elementy odwodnieniowe • Nawierzchnie placów postojowych. • <i>Nawierzchnie dróg o kategorii ruchu KR0*</i>. • Beton w technologii głębokiego fundamentowania.
S3	Znaczące konsekwencje ekonomiczne, w zakresie bezpieczeństwa lub ochrony środowiska	Ryzyko uszkodzeń wskutek AAR jest pod kontrolą poprzez selekcję kruszywa, składu cementu. Akceptowalne minimalne uszkodzenia bez wpływu na trwałość eksploatacyjną.	<ul style="list-style-type: none"> • Elementy drogowych obiektów inżynierskich o projektowanym okresie użytkowania do 50 lat zgodnie z [14]; • Nawierzchnie dróg o kategorii ruchu KR1 – KR4; • Bariery autostradowe; • Elementy drogowych ekranów akustycznych.
S4	Bardzo poważne konsekwencje ekonomiczne, w zakresie bezpieczeństwa lub ochrony środowiska	Nietolerowane żadne ryzyko uszkodzenia wskutek AAR i najwyższy stopień zapobiegania takim uszkodzeniom.	<ul style="list-style-type: none"> • Elementy drogowych obiektów inżynierskich o projektowanym okresie użytkowania powyżej 50 lat zgodnie z [14]; • Elementy konstrukcji bardzo trudne do wymiany lub naprawy; • Nawierzchnie dróg o kategorii ruchu KR5 - KR7

*dotyczy nawierzchni dróg według projektu rozporządzenia Ministerstwa Infrastruktury

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.*”

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.*”

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 aktywnych ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$) w betonie do poziomu 3,5; 3,0 lub 2,4 kg/m^3 ;
- stosowanie dodatków typu II do betonu: popiołu lotnego krzemionkowego spełniającego wymagania normy PN-EN 450-1 lub zmielonego granulowanego żużla wielkopieczowego zgodnego z wymaganiami PN-EN 15167-1, zgodnie z zasadami stosowania wg normy PN-EN 206 wraz z krajowym uzupełnieniem PN-B-06265;
- stosowanie cementu powszechnego użytku niskoalkalicznego NA zgodnego z PN-B-19707 o odpowiedniej zawartości popiołu lotnego krzemionkowego i/lub zmielonego granulowanego żużla wielkopieczowego;
- jednoczesne ograniczenie zawartości alkaliów aktywnych w betonie i stosowanie dodatków typu II do betonu;

Dopuszczalne poziomy ekwiwalentu tlenu sodu w betonie (wyliczone zgodnie z p. 5.2), wymaganą zawartość dodatków typu II oraz dopuszczalne rodzaje cementów powszechnego użytku zgodnych z PN-EN 197-1 lub o właściwościach specjalnych zgodnych z PN-B-19707 podano w tablicy 4, tablicy 5, tablicy 6 i tablicy 7.

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 alkaliów aktywnych $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ w betonie w kg/m^3			
E2	maks. $3,0 \text{ kg/m}^3$	Kruszyw o takiej kategorii reaktywności nie dopuszcza się	Kruszyw o takiej kategorii reaktywności nie dopuszcza się.	
E3	1. dla nawierzchni dróg maks. $2,4 \text{ kg/m}^3$ 2. dla elementów drogowych obiektów inżynierskich oraz elementów konstrukcji bardzo trudnych do wymiany lub naprawy maks. $3,0 \text{ kg/m}^3$	Kruszyw o takiej kategorii reaktywności nie dopuszcza się		

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 alkaliów aktywnych $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ w betonie ; zawartość dodatków typu II lub rodzaj cementu			
E2	bez ograniczeń	maks. 2,4 kg/m ³ cement CEM I		Kruszyw o takiej kategorii reaktywności nie dopuszcza się
		min. 20% V albo 35% S jako dodatek typu II zgodnie z PN-EN 206 i krajowym uzupełnieniem PN-B-06265		
		maks. 2,4 kg/m ³ i cement wg PN-B-19707: CEM II/B-V-NA CEM II/B-M (S-V)-NA CEM III/A-NA CEM V/A (S-V)-NA		
E3	maks. 3,0 kg/m ³ *),	maks. 2,4 kg/m ³ cement CEM I i min. 25% V albo 50% S jako dodatek typu II zgodnie z PN-EN 206 i krajowym uzupełnieniem PN-B-06265		Kruszyw o takiej kategorii reaktywności nie dopuszcza się
		maks. 2,4 kg/m ³ i cement wg PN B-19707: CEM II/B-V-NA CEM II/B-M (S-V)-NA CEM III/A-NA CEM V/A (S-V)-NA		
V – popiół lotny krzemionkowy wg PN-EN 450-1 S – granulowany żużel wielkopiecowy wg PN-EN 15167-1 *) maks. 2,4 kg/m ³ oraz dwukrotnie zwiększona częstotliwość badań przez Wykonawcę, w stosunku do częstotliwości wskazanej w p.6.4, w przypadku stosowania kruszywa grubego ze złóż żwirowych o genezie rzecznej lub polodowcowej z uwagi na spodziewaną niejednorodność składu mineralnego				

Uwaga:

W kategorii reaktywności kruszywa R1 i kategorii oddziaływania środowiska E2, w której dopuszczone są trzy rozwiązania recepturowe, należy wybrać jedno z nich.

W kategorii reaktywności kruszywa R1 i kategorii oddziaływania środowiska E3, w której dopuszczone są dwa rozwiązania recepturowe, należy wybrać jedno z nich.

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 alkaliów aktywnych $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ w betonie; zawartość dodatków typu II lub rodzaj cementu			
E2	bez ograniczeń	maks. 3,0 kg/m ³ cement CEM I	Kruszyw o takiej kategorii reaktywności nie dopuszcza się	
		min. 20% V albo 35% S jako dodatek typu II zgodnie z PN-EN 206 i z krajowym uzupełnieniem PN-B-06265		
		cement wg PN-B-19707: CEM II/B-V-NA CEM II/B-M (S-V)-NA CEM III/A-NA CEM V/A (S-V)-NA		
E3	maks. 3,5 kg/m ³	maks. 2,4 kg/m ³ cement CEM I	Kruszyw o takiej kategorii reaktywności nie dopuszcza się	
		min. 20% V albo 35% S jako dodatek typu II zgodnie z PN-EN 206 i krajowym uzupełnieniem PN-B-06265		
		cement wg PN-B-19707: CEM II/B-V-NA CEM II/B-M (S-V)-NA CEM III/A-NA CEM V/A (S-V)-NA		
V – popiół lotny krzemionkowy wg PN-EN 450-1 S – granulowany żużel wielkopiecowy wg PN-EN 15167-1				

Uwaga:

W kategorii reaktywności kruszywa R1 i kategorii oddziaływania środowiska E2 lub E3, w których dopuszczone są trzy rozwiązania recepturowe, należy wybrać jedno z nich.

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 alkaliów aktywnych Na ₂ O _{eq} w betonie; zawartość dodatków typu II lub rodzaj cementu			
E2	bez ograniczeń	maks. 3,5 kg/m ³	Kruszyw o takiej kategorii reaktywności nie dopuszcza się	
E3	bez ograniczeń	maks. 3,0 kg/m ³ cement CEM I		
		min.15% V albo 25% S jako dodatek typu II zgodnie z PN-EN 206 i z krajowym uzupełnieniem PN-B-06265		
		cement wg PN-B-19707: CEM II/B-V-NA CEM II/B-S-NA CEM II/B-M (S-V)-NA CEM III/A-NA CEM V/A (S-V)-NA		
V – popiół lotny krzemionkowy wg PN-EN450-1 S – granulowany żużel wielkopiecowy wg PN-EN 15167-1				

Uwaga:

W kategorii reaktywności kruszywa R1 i kategorii oddziaływania środowiska E3, w której dopuszczone są trzy rozwiązania recepturowe, należy wybrać jedno z nich.

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 Technicznych GDDKiA. W tabelicy 1 Wytycznych Technicznych podano kategoryzację reaktywności alkalicznej kruszyw (R0, R1, R2, R3) i metody jej oznaczania.

Odpowiednio w tabelicy 4, tabelicy 5, tabelicy 6 i tabelicy 7 podano maksymalne, dopuszczalne zawartości alkaliów aktywnych 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.

Sposób wyliczenia zawartości alkaliów w betonie podano szczegółowo w p. 5.2 Wytycznych Technicznych. Dodatkowo Załącznik 6 do Wytycznych Technicznych zawiera przykłady obliczania dopuszczalnych zawartości alkaliów w betonie pochodzących ze składników mieszanki betonowej.

Składniki wymienionych cementów powinny spełniać wymagania norm PN-EN 197-1 i PN-B-19707.

Popiół lotny oraz zmielony granulowany żużel wielkopiecowy mogą być wprowadzone do mieszanki również jako dodatek typu II. Korzystniejsze jest stosowanie rozwiązania z wprowadzaniem żużla lub popiołu do betonu wraz z cementem. Przy zastosowaniu dodatków typu II do betonu przy określaniu zawartości cementu i w/c należy uwzględnić współczynnik k zgodnie z normą PN-EN 206. Popiół lotny krzemionkowy jako dodatek typu II do betonu powinien spełniać wymagania dla popiołu kategorii A i kategorii N wg normy PN-EN 450-1. Mielony granulowany żużel wielkopiecowy jako dodatek typu II do betonu 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 w przeliczeniu na $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ ($\text{Na}_2\text{O}+0,658\text{K}_2\text{O}$).

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 (tablica 3);
- kategorię środowiska E (tablica 2);
- kategorię reaktywności kruszywa R (tablica 1);
- dopuszczalną zawartość alkaliów aktywnych w betonie, dopuszczalne rodzaje cementu lub wymaganą zawartość dodatków typu II, które są podane w tablicy 4, tablicy 5, tablicy 6 i tablicy 7.

Projektowanie mieszanki betonowej wymaga uwzględnienia kategorii reaktywności alkalicznej kruszywa, wynikającej z badań wykonanych wg PB/1/18, PB/2/18 i PB/3/18 zawartych w Załącznikach niniejszych Wytycznych Technicznych.

Akceptacja receptury mieszanki betonowej przez Inżyniera/Inwestora wymaga:

- weryfikacji kategorii reaktywności kruszywa na podstawie wyniku badania wg PB/1/18;
- sprawdzenia czy zawartość alkaliów aktywnych w recepturze betonu wyznaczona zgodnie z p.5.2, jest mniejsza od granicznej zawartości alkaliów podanej w tablicy 4, tablicy 5, tablicy 6 lub tablicy 7;
- sprawdzenia dopuszczalności rodzaju cementu i wymaganej zawartości popiołu lub żużla.

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

Akceptacja receptury mieszanki betonowej, w przypadku kruszywa węglanowego, wymaga także weryfikacji składu mineralnego i chemicznego kruszywa na podstawie wyniku badania wg PB/3/18, przedstawionego przez Wykonawcę.

5.2. Obliczanie zawartości alkaliów w recepturze betonu

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

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

gdzie:

w_i – współczynnik uwzględniający udział alkaliów wymywanych dla składnika [%], x_i – zawartość Na_2O_{eq} dla składnika [%], z_i – zawartość składnika w betonie [kg/m^3].

Do obliczeń należy przyjąć następujące wielkości współczynników w_i :

- 85% całkowitej zawartości alkaliów w przeliczeniu na Na_2O_{eq} w cemencie portlandzkim CEM I lub cemencie portlandzkim wapiennym CEM II/A-LL-NA;

- 80 % całkowitej zawartości alkaliów w przeliczeniu na $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ w cemencie portlandzkim żużlowym CEM II/A-S-NA;
- 70% całkowitej zawartości alkaliów w przeliczeniu na $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ w cemencie portlandzkim popiołowym CEM II/A-V-NA, cemencie portlandzkim żużlowym CEM II/B-S-NA, cemencie portlandzkim wieloskładnikowym CEM II/A-M (S-V)-NA,
- 60% całkowitej zawartości alkaliów w przeliczeniu na $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ w cemencie portlandzkim popiołowym CEM II/B-V-NA, cemencie portlandzkim wieloskładnikowym CEM II/B-M (S-V)-NA, cemencie hutniczym CEM III/A-NA,
- 50% całkowitej zawartości alkaliów w przeliczeniu na $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ w cemencie wieloskładnikowym CEM V/A (S-V)-NA,
- 30% całkowitej zawartości alkaliów w przeliczeniu na $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ w zmielonym granulowanym żużlu wielkopieczowym, jako dodatku typu II do betonu;
- 10% całkowitej zawartości alkaliów w przeliczeniu na $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ w popiele lotnym krzemionkowym, jako dodatku typu II do betonu;
- 100% zawartość alkaliów w przeliczeniu na $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ w domieszkach do betonu;
- 100% zawartość alkaliów w przeliczeniu na $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ w wodzie zarobowej (nie dotyczy wody wodociągowej);
- 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.

5.3. Metody ograniczenia zawartości alkaliów w betonie

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

- zastosowanie cementów portlandzkich CEM I zgodnych z PN-EN 197-1, 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 powszechnego użytku niskoalkalicznych NA z udziałem popiołu lotnego krzemionkowego i/lub granulowanego żużla wielkopieczowego tj. cementów CEM II÷CEM V, zgodnych z PN-B-19707, 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 popiołu lotnego krzemionkowego lub granulowanego żużla wielkopieczowego, jako dodatku typu II do betonu, tj. jako zamiennika cementu zgodnie z PN-EN 206 wraz z krajowym uzupełnieniem PN-B-06265, gwarantujących dotrzymanie odpowiedniego poziomu alkaliów całkowitych $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ w betonie, zgodnie z tablicą 4, tablicą 5, tablicą 6 lub tablicą 7.

Wzór do obliczeń przedstawiono w pkt. 5.2., a przykłady obliczeń zawartości alkaliów w betonie dla różnych receptur przedstawiono w Załączniku 6 do Wytycznych Technicznych.

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

6.1. Deklaracja kruszywa w zakresie reaktywności alkalicznej

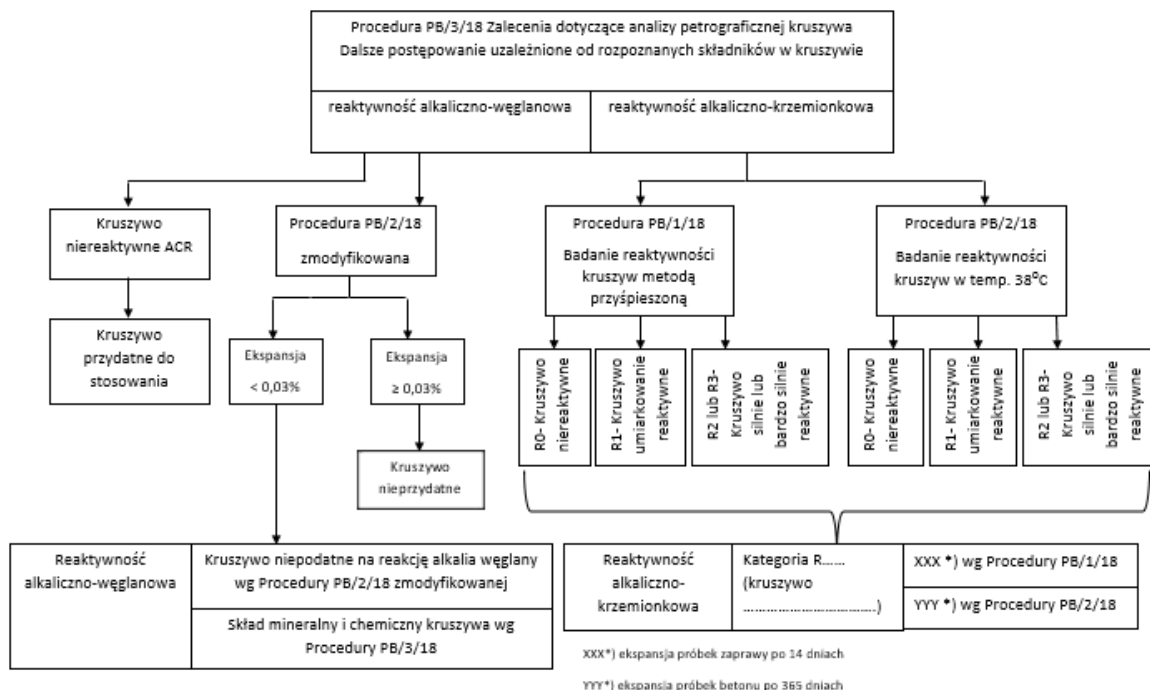
Właściwości kruszywa powinny zostać zadeklarowane w stosownym dokumencie, z podaniem metody badawczej oraz wyniku badania i kategorii reaktywności kruszyw. W odniesieniu do opisu petrograficznego zawierać powinien opis uproszczony wraz z identyfikacją składników potencjalnie reaktywnych, a dla reaktywności alkaliczno-węglanowej (ACR) dodatkowo skład chemiczny (SiO_2 , CaO , MgO i Al_2O_3).

Przykładowe wzory deklaracji znajdują się w Załącznikach informacyjnych nr 7 i 8.

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. Zalecenia 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 być potwierdzona uzyskanymi wynikami pomiarów wydłużenia próbek wg PB/1/18 lub PB/2/18.

Proces oceny reaktywności alkalicznej kruszyw dla sporządzenia przez Producenta stosownego dokumentu powinien być prowadzony zgodnie ze schematem na Rys.2.



Rysunek 2. Schemat wykorzystania Procedur Badawczych do klasyfikacji reaktywności alkalicznej kruszywa i jej deklarowania przez Producenta kruszywa.

6.2. Częstotliwość badań reaktywności alkalicznej kruszyw przez Producenta kruszywa

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, która mogłaby mieć wpływ na reaktywność z alkaliarni, przeprowadzi nowe badania wg niniejszych Wytycznych Technicznych.

Przyspieszone badanie wydłużenia próbek zaprawy wg PB/1/18 przeprowadza się osobno dla kruszywa grubego frakcji 2/8 i 8/16 i kruszywa drobnego.

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

Wymaga się, aby częstotliwość badań reaktywności alkalicznej kruszyw wykonywanych przez Producentów kruszyw była zgodna z poniższymi wymaganiami w tablicy 8.

Tablica 8. Częstotliwość badań kruszyw z uwagi na kategorię reaktywności alkaliczno-krzemionkowej i rozpoznanie reaktywności alkaliczno-węglanowej¹⁾

Procedura badawcza	Producent kruszywa
PB/3/18 Analiza petrograficzna (jako uzupełnienie do badań wykonywanych zgodnie z PN-EN 932-3)	Zgodnie z ZKP
PB/1/18 (2 tygodnie)	1 raz na rok*
PB/2/18 (roczna)	1 raz na rok*
PB/2/18 (roczna zmodyfikowana)	

Uwagi:

* zalecane jest zwiększenie częstotliwości badania, gdy mierzone wielkości wydłużenia próbek zaprawy lub betonu są bliskie w granicach błędów wartościom rozgraniczającym sąsiednie kategorie reaktywności (tzn. w obszarze niepewności pomiarowej). Wykonywanie badań wg PB/1/18 oraz PB/2/18 powinno być wykonywane z przesunięciem czasowym półrocznym względem siebie.

¹⁾ badanie dla kruszyw węglanowych należy prowadzić zgodnie z zapisami w pkt 2.2.2.

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 alkaliarni);
- 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 dla każdej badanej frakcji kruszywa);
- 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.

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

6.4. Kontrola kruszywa przez Wykonawcę Robót oraz Nadzór

Niezależnie od deklaracji kategorii reaktywności ASR wystawianej przez Producenta kruszywa, należy kontrolować podaną kategorię reaktywności kruszywa z ustaloną częstotliwością, wykorzystując przyspieszoną metodę badawczą PB/1/18. Badania należy prowadzić w laboratoriach Wykonawcy Robót, laboratoriach inwestora/nadzoru lub na ich zlecenie w akredytowanych laboratoriach zewnętrznych lub kompetentnych jednostkach naukowo-badawczych lub badawczych. Schemat postępowania przy weryfikacji reaktywności kruszywa i weryfikacji efektywności zastosowanych środków zapobiegawczych przedstawiono na rysunku 3.

Na etapie zatwierdzania receptury betonu przez Nadzór budowy wymaga się, aby przedstawione wyniki oznaczenia kategorii reaktywności były przeprowadzone zgodnie z tablicą 8.

Badania kontrolne kategorii reaktywności ASR kruszywa u Wykonawcy Robót należy prowadzić:

- a) w przypadku budowy drogowych obiektów inżynierskich
 - co 4 miesiące kalendarzowe - kruszywo grube frakcji referencyjnych z jednego złoża,
 - co 4 miesiące kalendarzowe - kruszywo drobne z jednego złoża,
- b) w przypadku budowy nawierzchni drogowych: 1 raz podczas budowy odcinka jezdni na każde rozpoczęte 50000 m².

Częstotliwość badań składu chemicznego pod kątem reaktywności ACR:

- a) w przypadku budowy drogowych obiektów inżynierskich
 - co 6 miesięcy kalendarzowych - kruszywo grube frakcji referencyjnych z jednego złoża,
 - co 6 miesięcy kalendarzowych - kruszywo drobne z jednego złoża,
- b) w przypadku budowy nawierzchni drogowych: 1 raz podczas budowy odcinka jezdni na każde rozpoczęte 50000 m².

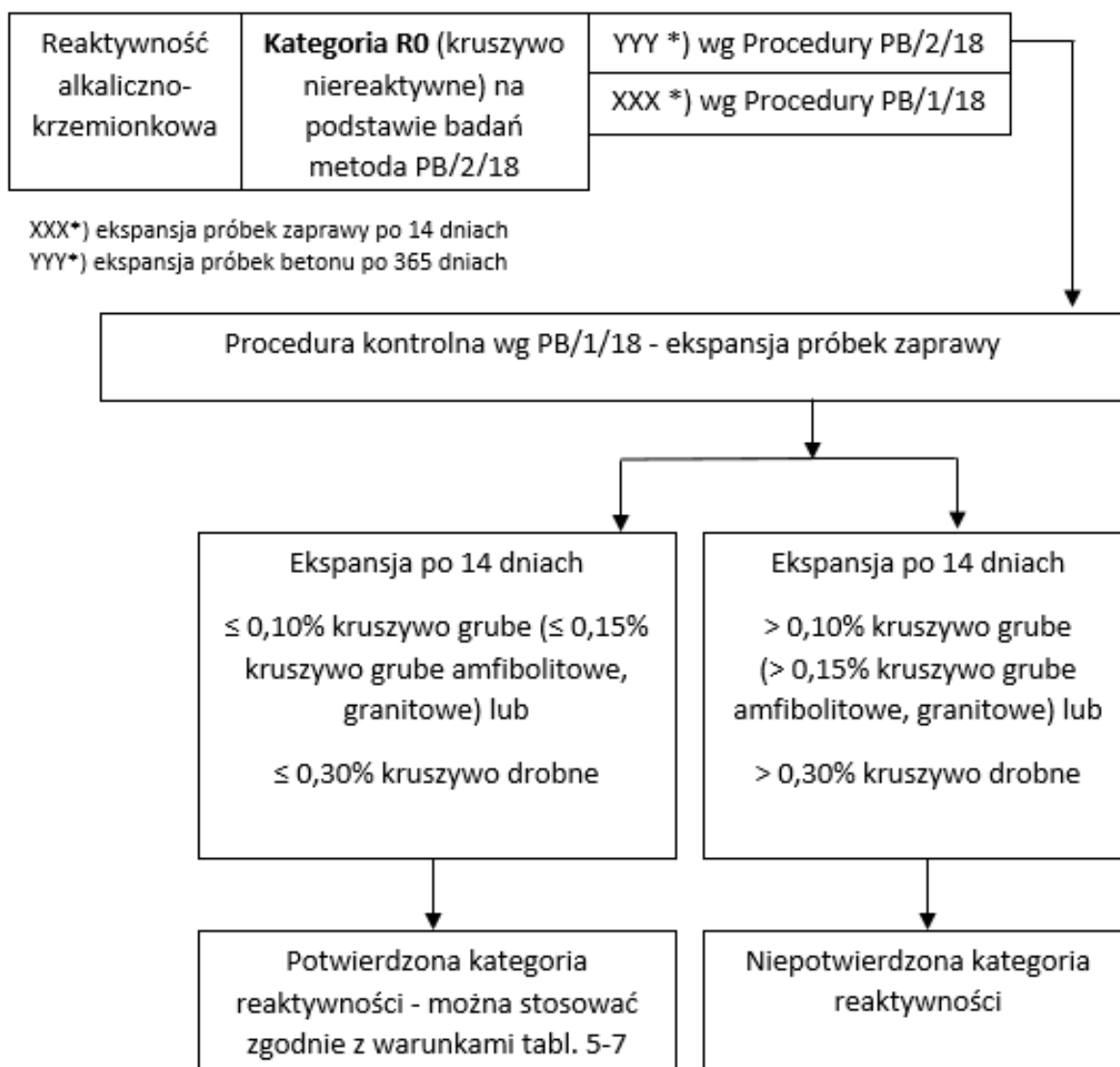
Procedura PB/5/18 może być stosowana do weryfikacji wyników badań kruszywa otrzymanych w trakcie badań kontrolnych, jeżeli zgodnie z procedurą PB/1/18 otrzymano wyniki wydłużenia powyżej 0,30% dla kruszyw drobnych lub powyżej 0,10% dla kruszyw grubych (0,15% dla kruszyw grubych amfibolitowych i granitowych) dla deklarowanej przez Producenta kategorii R0 wg PB/2/18 lub powyżej 0,30% dla deklarowanej przez Producenta kategorii R1 wg PB/2/18. Stosuje się wybrane przez Producenta składniki i konkretny skład mieszanki zaprojektowanej zgodnie ze specyfikacjami na nawierzchnie drogowe lub drogowe obiekty inżynierskie.

Schematy wykorzystania Procedur Badawczych przez Wykonawcę lub Nadzór do weryfikacji kategorii reaktywności alkalicznej kruszywa, do weryfikacji przydatności kruszywa z uwagi na ACR oraz weryfikacji efektywności zastosowanych środków zapobiegawczych z uwagi na ASR przedstawiono na Rysunku 3. Zilustrowano postępowanie w trzech przypadkach:

- a) reaktywność alkaliczno-krzemionkowa - kategoria reaktywności R0 według PB/2/18,
- b) reaktywność alkaliczno-krzemionkowa - kategoria reaktywności R1 według PB/2/18,
- c) reaktywność alkaliczno-węglanowa - weryfikacja odporności na jej wystąpienie.

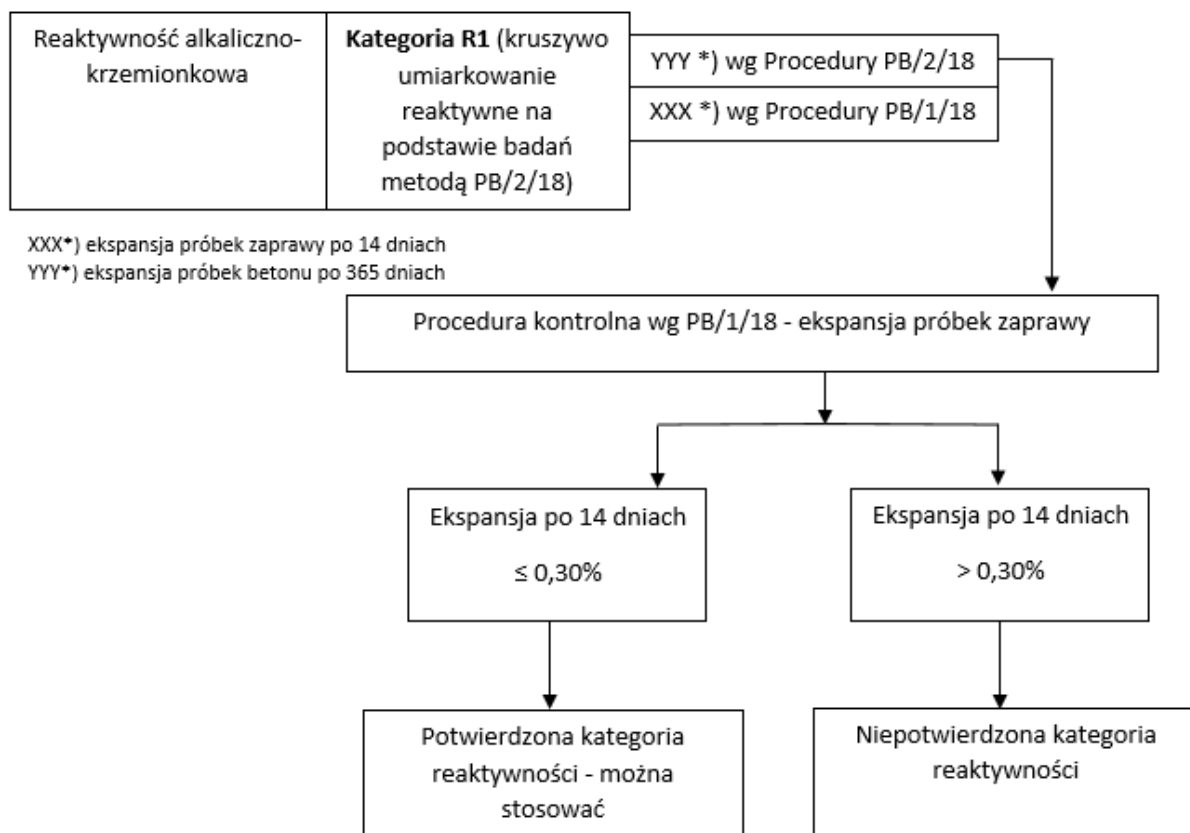
W każdym przypadku punktem wyjścia do porównań bieżących wyników badań Wykonawcy lub Nadzoru jest deklaracja Producenta kruszywa o treści zgodnej z Rysunkiem 2, zawierająca uzyskane przez niego wyniki pomiarów ekspansji zaprawy i betonu (a, b) lub wyniki oznaczenia składu kruszywa (c).

schemat a)



Objaśnienie: Jeżeli bieżący wynik badania kruszywa dostarczonego na budowę, uzyskany przez Wykonawcę lub Nadzór, wskazuje na przekroczenie granicznej ekspansji 0,30% dla kruszywa drobnego lub 0,10% dla kruszyw grubych (0,15% dla kruszyw amfibolitowych i granitowych), to kruszywo kwalifikuje się do kategorii co najmniej R2. W takim przypadku zastosowanie kruszywa w betonie jest możliwe pod warunkiem wykluczenia reaktywności kruszywa w badaniu dla konkretnej recepty betonu na podstawie procedury PB/5/18.

schemat b)



Objaśnienie: Jeżeli bieżący wynik badania kruszywa dostarczonego na budowę, uzyskany przez Wykonawcę lub Nadzór, wskazuje na przekroczenie granicznej ekspansji 0,30% to kruszywo kwalifikuje się do kategorii co najmniej R2. W takim przypadku zastosowanie kruszywa w betonie jest możliwe pod warunkiem wykluczenia reaktywności kruszywa w badaniu dla konkretnej recepty betonu na podstawie procedury PB/5/18.

7. 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., Grek, 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] Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych, Dz. U. 2004 Nr 92 poz. 881
- [14] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 1 sierpnia 2019, zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie (Dz.U. z 2019, poz.1642 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 (norma wycofana 30.01.2020)
- [37] PN-B-06714-34:1991 Kruszywa mineralne - Badania - Oznaczenie reaktywności alkalicznej (norma wycofana 27.11.2012)
- [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] DS/EN 206 DK NA:2020 Concrete – Specification, performance, production and conformity – Rules for application of EN 206 in Denmark
- [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
- [49] TP B-StB - Technische Prüfvorschriften für Verkehrsflächenbefestigungen - Betonbauweisen: Teil 1.1.09 AKR-Potenzial und Dauerhaftigkeit von Beton (60°C-Betonversuch mit Alkalizufuhr). Köln: FGSV-Verl., 2018
- [50] Recommendation of RILEM TC 258-AAA: RILEM AAR-12: determination of binder combinations for non-reactive mix design or the resistance to alkali-silica reaction of concrete mixes using concrete prisms – 60°C test method with alkali supply (Materials and Structures (2021) 54:202)

8. 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 – Przykładowy wzór informacji uzupełniającej dla kruszyw (ASR)

Załącznik 8 - Przykładowy wzór informacji uzupełniającej dla kruszyw (ACR)

(Koniec)