

**Sieć Badawcza Łukasiewicz  
Instytut Ceramiki i Materiałów  
Budowlanych**

**Instytut Podstawowych  
Problemów Techniki  
Polskiej Akademii Nauk**

**WYTYCZNE TECHNICZNE  
KLASYFIKACJI KRUSZYW KRAJOWYCH  
I ZAPOBIEGANIA REAKCJI ALKALICZNEJ  
W BETONIE STOSOWANYM  
W NAWIERZCHNIACH DRÓG  
I DROGOWYCH OBIEKTACH INŻYNIERSKICH**

Autorzy wersji oryginalnej 2019:

Albin Garbacik, Michał A. Glinicki, Daria Józwiak-Niedźwiedzka, Grzegorz Adamski,  
Karolina Gibas

Autorzy wersji zaktualizowanej 2021:

Michał A. Glinicki, Daria Józwiak-Niedźwiedzka, Grzegorz Adamski

**Kraków – Warszawa  
Aktualizacja - listopad 2021**

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

Dokument stanowi uzupełnienie zapisów norm PN-EN 206 Beton: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność, PN-EN 12620 Kruszywa do betonu oraz Wzorcowych Warunków Wykonania i Odbioru Robót Budowlanych (WWiORB) D-05.03.04 Nawierzchnia z betonu cementowego oraz M-13.01.00 Beton konstrukcyjny w drogowych obiektach inżynierskich, w zakresie reaktywności kruszywa do betonu.

aktualizacja - listopad 2021

**DOI: 10.24423/WT2021**

**ISBN: 9788365550-33-0**



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 pt:  
**REAKTYWNOŚĆ ALKALICZNA KRAJOWYCH KRUSZYW**



Akronim Projektu	<b>OT1-1C/ICMB-IPPT</b>
Numer umowy:	<b>DZP/RID-I-37/6/NCBR/2016</b>
Beneficjenci:	<b>INSTYTUT CERAMIKI I MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH INSTYTUT PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI PAN</b>
Kierownik Projektu:	<b>Albin Garbacik</b>
Autorzy wersji oryginalnej 2019:	<b>Albin Garbacik, Michał A. Glinicki, Daria Józwiak-Niedźwiedzka, Grzegorz Adamski, Karolina Gibas</b>
Data rozpoczęcia:	<b>01.01.2016</b>
Data zakończenia:	<b>31.03.2019</b>
Autorzy wersji zaktualizowanej 2021:	<b>Michał A. Glinicki, Daria Józwiak-Niedźwiedzka, Grzegorz Adamski</b>
Data aktualizacji:	<b>listopad 2021</b>

## SPIS TREŚCI

WPROWADZENIE	5
1. ZAKRES ZASTOSOWANIA	9
1.1. DEFINICJE	11
1.2. ODNIESIENIA NORMATYWNE	12
2. ANALIZA ZAGROŻEŃ WYSTĄPIENIA REAKCJI ALKALIA-KRUSZYWO	14
2.1. INFORMACJE OGÓLNE	14
2.2. KLASYFIKACJA REAKTYWNOŚCI KRUSZYWA	15
2.2.1. REAKCJA ALKALIA-KRZEMIONKA	15
2.2.2. REAKCJA ALKALIA-WĘGLANY	17
2.3. KATEGORIA ODDZIAŁYWAŃ ŚRODOWISKOWYCH	17
2.4. KLASYFIKACJA OBIEKTÓW BUDOWLANYCH I INŻYNIERSKICH	18
3. DOBÓR ŚRODKÓW ZAPOBIEGAJĄCYCH WYSTĄPIENIU REAKCJI ASR	21
4. WYMAGANIA ODNOŚNIE DO SKŁADNIKÓW BETONU	26
4.1. WYMAGANIA OGÓLNE	26
4.2. DODATKOWE WARUNKI DOSTAW CEMENTU	27
5. WYMAGANIA DOTYCZĄCE SKŁADU BETONU	28
5.1. PROJEKTOWANIE MIESZANKI BETONOWEJ Z UWZGLĘDNIENIEM REAKCJI ALKALIA-KRZEMIONKA	28
5.2. OBLICZANIE ZAWARTOŚCI ALKALIÓW W RECEPTURZE BETONU	29
5.3. METODY OGRANICZENIA ZAWARTOŚCI ALKALIÓW W BETONIE	30
6. WYTYCZNE DOTYCZĄCE KONTROLI PRODUKCJI, OCENY REAKTYWNOŚCI KRUSZYW DO BETONU ORAZ EFEKTYWNOŚCI ZASTOSOWANYCH ŚRODKÓW ZAPOBIEGAWCZYCH	31
6.1. ZAKRES DEKLARACJI WŁAŚCIWOŚCI UŻYTKOWYCH KRUSZYWA	31
6.2. CZĘSTOTLIWOŚĆ BADAŃ REAKTYWNOŚCI ALKALICZNEJ KRUSZYW PRZEZ PRODUCENTA KRUSZYW	33
6.3. POBIERANIE PRÓBEK KRUSZYWA DO BADAŃ	33
6.4. KONTROLA KRUSZYWA U PRODUCENTA BETONU	34
7. OCENA KATEGORII REAKTYWNOŚCI ALKALICZNEJ KRUSZYW	35
7.1. ANALIZA PETROGRAFICZNA	37
7.2. METODY BEZPOŚREDNIE BADANIA WYDŁUŻENIA PRÓBEK ZAPRAW I BETONÓW	37
8. ZALECENIA DO MONITOROWANIA TRWAŁOŚCI OBIEKTÓW	39
9. LITERATURA	40
10. ZAŁĄCZNIKI	43

## **WPROWADZENIE**

Reakcja zachodząca pomiędzy jonami  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  i  $\text{OH}^-$ , 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 wykrystalizowanych postaci  $\text{SiO}_2$  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 naprężenia wewnętrznego w betonie, pękanie ziaren kruszywa i otaczającej matrycy cementowej. Zewnętrzными objawami szkodliwej reakcji może być nadmierna ekspansja elementów konstrukcji, pojawianie się odprysków i przebarwień, wysięki żelu, powstawanie rys o dużej rozwarłości [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, odspojeń 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  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  i  $\text{OH}^-$  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 naprężenia w kruszywie i betonie [9-10];
- reakcja, w której jony  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{OH}^-$  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 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 stosowanie dodatków mineralnych: popiołu lotnego krzemionkowego lub 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.

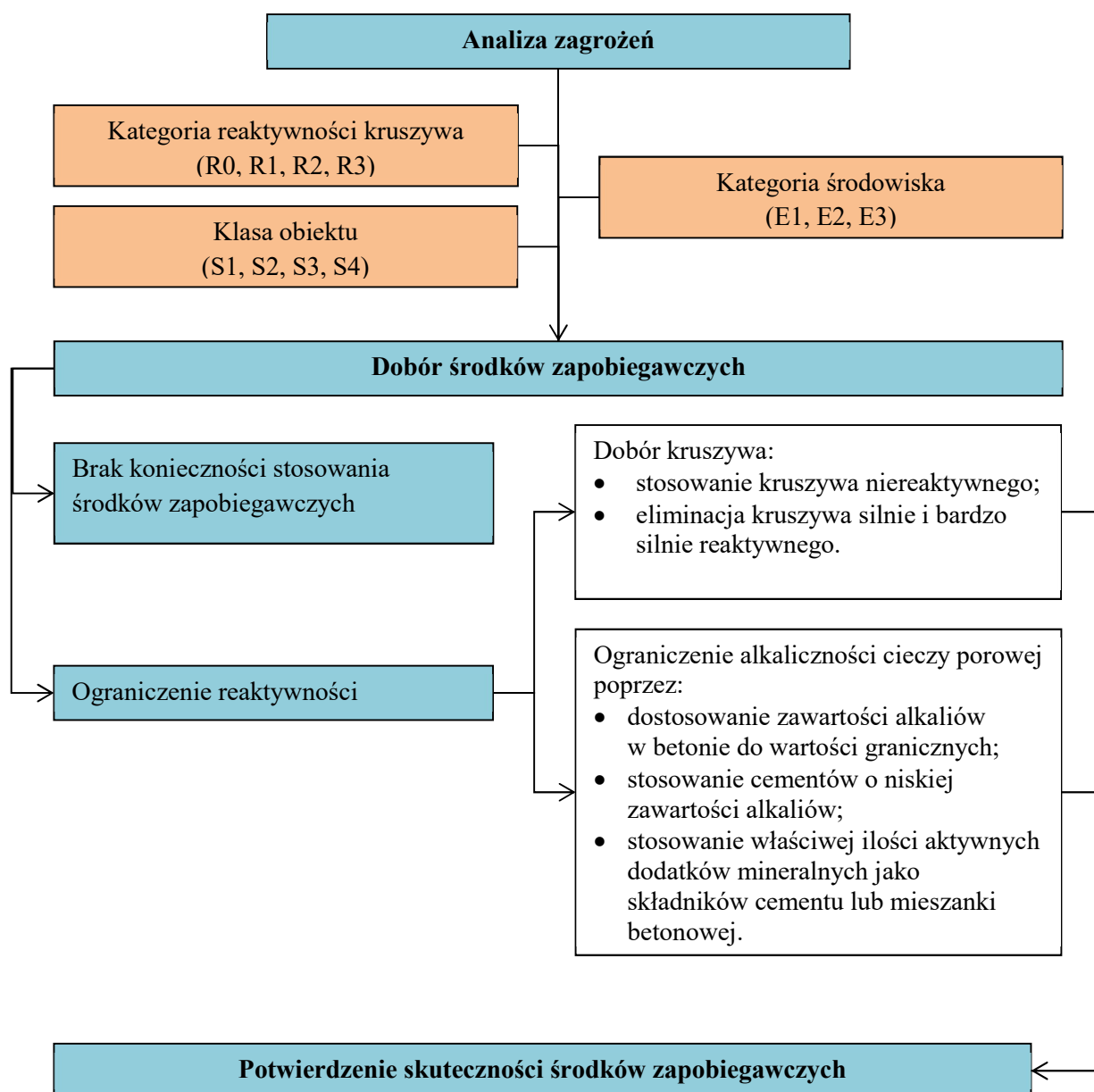
Określając przydatność kruszywa do betonowych elementów konstrukcji należy uwzględniać warunki eksploatacyjne środowiska, takie jak: zmiany wilgotności i temperatury, stosowanie środków odladzających i zmienne obciążenia mechaniczne. Należy mieć na uwadze, że ze względu na zawartość szkodliwych składników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

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].

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 Dyрекcję 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 drogowych obiektów inżynierskich i 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, PB/5/18);
- 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 alkalią (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 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 mają zastosowanie w systemie Zakładowej Kontroli Produkcji kruszyw.

Przestrzeżenie 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 ujmuje procedura PB/5/18, odnosząca się do niemieckich doświadczeń w zakresie budowy i eksploatacji silnie obciążonych nawierzchni drogowych w środowisku oddziaływania mrozu i środków odladzających.

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 [14] dla klasy obiektu S1, S2, S3 i S4: odpowiednio od nienośnych elementów konstrukcji lub konstrukcji tymczasowych (S1) do elementów obiektów o najdłuższym projektowanym okresie eksploatacji, w przypadku których zniszczenia wskutek reakcji alkalia-krzemionka nie są dopuszczalne (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  $3,5 \text{ kg/m}^3$ ,  $3 \text{ kg/m}^3$ ,  $2,4 \text{ kg/m}^3$  lub nawet  $1,8 \text{ kg/m}^3$ , zależne od kategorii reaktywności alkalicznej kruszywa przeznaczonego do betonu w zależności od klasy obiektu i oddziaływania środowiska;
- 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 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

**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  $\text{Na}_2\text{O}$  i zawartości procentowej  $\text{K}_2\text{O}$  pomnożonej przez 0,658;

**Alkalia aktywne** – alkalia wymywalne;

**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 rozmiarze przekraczającym 1 m. Ryzyko wystąpienia negatywnych efektów reakcji ASR w takich elementach wzrasta z uwagi na fakt utrzymywania się wysokiej wilgotności we wnętrzu elementu;

**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 alkaliom;

**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 rzeczne** - nies cementowane 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 ( $38^\circ\text{C}$ ) 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 w przypadku stosowania jako dodatek typu II do betonu lub spełniający wymagania PN-EN 197-1 w przypadku stosowania jako dodatek do cementu ;

**Popiół lotny krzemionkowy** — miazgi materiał spełniający wymagania normy PN-EN 450-1;

**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 odspojień 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. opał, 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

Wyeliminowanie 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 efektem 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 wyeliminowanie 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 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 wyeliminowania 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 pochodzącego ze złóż żwirowych 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 PB/1/18 oraz PB/2/18. Kryteria klasyfikacji podatności kruszyw na reakcję z  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  i  $\text{OH}^-$  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).

Długoterminowe badanie wydłużenia próbek betonu należy stosować do oceny wszystkich rodzajów kruszyw (kruszywa 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).

Jeżeli poszczególne frakcje kruszywa składające się na stos okruczowy 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)	<b>Wydłużenie próbek zaprawy po 14 dniach, %</b>					
	≤ 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)	<b>Wydłużenie próbek betonu po 365 dniach, %</b>					
	≤ 0,04		> 0,04; ≤ 0,12		> 0,12; ≤ 0,24	> 0,24

**UWAGA:**

- 1) 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 przyjąć według metody długoterminowej.
- 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 drogowie 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 drogowie obiekty inżynierskie.

W przypadku:

- silnych oddziaływań eksploatacyjnych na nawierzchnie, wynikających z zastosowania środków odładzających na bazie mrówczanów lub octanów sodu lub potasu albo
- wyjątkowo odpowiedzialnych zastosowań kruszyw, np. do betonu w obiekcie mostowym o znaczeniu strategicznym (np. do celów obronnych), 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. Zaostrome kryteria klasyfikacji mają zastosowanie 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. Skład mineralny kruszywa wskazuje na możliwość wystąpienia reakcji alkalia-węglany.

Do rozpoznania reaktywności kruszywa stosuje się wyłącznie metodę długoterminową, zgodną z PB/2/18 w wersji zmodyfikowanej, opisaną w 2.2.2 poniżej. Do klasyfikacji kruszywa z uwagi na

reakcję ASR stosuje się kryteria w tablicy 1 dotyczące wydłużenia próbek zapraw i 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/m<sup>3</sup> do 1,80 kg/m<sup>3</sup> 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 drogowie obiekty inżynierskie.

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.2.2.1 i tablicą 1.

Wskazane jest jednoczesne wykonywanie badania wykluczającego możliwość wystąpienia reakcji ACR w kruszywie wg zmodyfikowanej PB/2/18 oraz badań służących oznaczeniu kategorii reaktywności kruszywa (odpowiednio wg PB/1/18 i PB/2/18).

W przypadkach wątpliwości, co do zawartości i tekstury składników, zwłaszcza gdy w kruszywie węglanowym mogą jednocześnie występować wtrącenia krzemionkowe (cristobalit, chalcedon, kwarc krypto krystaliczny), niezbędna jest opinia eksperta wykluczająca możliwość powstania szkodliwej reakcji alkalia-węglany (rozpoznanie jednoczesnego występowania składników SiO<sub>2</sub>, CaO, MgO i Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) wg PB/3/18. Opinia powinna opierać się na wynikach powyższych badań oraz obserwacjach wieloletnich skutków stosowania danego kruszywa w betonie przy eksploatacji obiektów w określonych warunkach środowiskowych ( wraz 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. 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, słonego oprysku lub zamarzania i rozmrażania występują w obu systemach klasyfikacji. Uznaje się, że warunki oddziaływania środowiska kategorii E3 na beton, związane z oddziaływaniem soli odladzających oraz zmian temperatury i wilgotności otoczenia, są właściwie odwzorowane w badaniach według procedury PB/5/18.

**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]**

<b>Kategoria środowiska</b>	<b>Opis środowiska</b>	<b>Ekspozycja elementów obiektu z betonu – przykłady obiektów drogowych</b>
<b>E1*</b>	Środowisko suche, chronione przed wilgocią zewnętrzną <sup>1)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• elementy wewnętrzne w budynkach w środowisku suchym.</li> </ul>
<b>E2</b>	Środowisko wilgotne bez oddziaływania agresywnego czynników zewnętrznych <sup>2)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• elementy wewnętrzne w budynkach o wysokiej wilgotności;</li> <li>• elementy wystawione na działanie wilgoci z powietrza, nieagresywnych wód podziemnych, zanurzone w wodzie słodkiej lub stale zanurzone w wodzie morskiej;</li> <li>• wewnętrzne elementy masywne <sup>3)</sup>.</li> </ul>
<b>E3</b>	Środowisko wilgotne z agresywnym oddziaływaniem czynników zewnętrznych <sup>4)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• elementy drogowych obiektów inżynierskich <sup>5)</sup> narażone bezpośrednio na odladzanie solami;</li> <li>• elementy wystawione na cykliczne działanie wody morskiej (zanurzanie i suszenie) lub słony oprysk (strefy rozbryzgu);</li> <li>• wilgotne elementy wystawione na naprzemienne działanie zamarzania i rozmrażania;</li> <li>• wilgotne elementy wystawione na długotrwałe działanie wysokiej temperatury;</li> <li>• jezdnie dróg i parkingi narażone na oddziaływanie soli odladzających;</li> <li>• jezdnie drogowe poddane obciążeniom zmęczeniowym.</li> </ul>
* Kategoria środowiska E1 nie ma zastosowania do betonowych nawierzchni drogowych i drogowych obiektów inżynierskich		

**Objaśnienia:**

<sup>1)</sup> 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;

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

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

<sup>4)</sup> 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.

<sup>5)</sup> 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"> <li>Elementy konstrukcji tymczasowych lub krótkożyciowych (projektowany okres użytkowania do 5 lat).</li> </ul>
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"> <li>Prefabrykowane elementy nawierzchni dróg, które łatwo wymienić, np. chodniki, krawężniki oraz betonowe elementy odwodnieniowe</li> <li>Nawierzchnie dróg o kategorii ruchu KR4 i niższej.</li> <li>Nawierzchnie placów postojowych.</li> <li>Beton w technologii głębokiego fundamentowania.</li> </ul>
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"> <li>Elementy drogowych obiektów inżynierskich o projektowanym okresie użytkowania do 50 lat zgodnie z [14];</li> <li>Nawierzchnie dróg o kategorii ruchu KR5 -KR6;</li> <li>Bariery autostradowe;</li> <li>Elementy drogowych ekranów akustycznych.</li> </ul>
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"> <li>Elementy drogowych obiektów inżynierskich o projektowanym okresie użytkowania powyżej 50 lat zgodnie z [14];</li> <li>Elementy konstrukcji bardzo trudne do wymiany lub naprawy;</li> <li>Nawierzchnie dróg o kategorii ruchu KR7*)</li> </ul>
<p>* dopuszcza się zaliczenie do klasy obiektu S3 pod warunkiem dodatkowym, redukującym ryzyko uszkodzeń wskutek reakcji alkalia-kruszywo, tj. pod warunkiem pozytywnej weryfikacji receptury mieszanki betonowej na podstawie badań zgodnie z procedurą PB/5/18.</p>			

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 drogowie 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.*”

### 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.

W przypadku betonowych nawierzchni dróg kategorii KR7 dopuszcza się stosowanie wymagań jak dla klasy obiektu S3 pod warunkiem pozytywnej weryfikacji receptury mieszanki betonowej na podstawie badań zgodnie z procedurą PB/5/18. Wyniki badania według procedury PB/5/18 bierze się pod uwagę przy akceptacji receptury mieszanki betonowej, opisanej w p.5.1.

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; 2,4 lub 1,8  $\text{kg/m}^3$ ;
- stosowanie dodatków typu II do betonu: popiołu lotnego krzemionkowego spełniającego wymagania normy PN-EN 450-1 lub mielonego granulowanego żużla wielkopiecowego 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 specjalnego NA zgodnego z PN-B-19707 o odpowiedniej zawartości popiołu lotnego krzemionkowego lub mielonego granulowanego żużla wielkopiecowego;
- jednoczesne ograniczenie zawartości alkaliów aktywnych w betonie i stosowanie dodatków typu II do betonu;
- ograniczenie zawartości alkaliów aktywnych w betonie przy zastosowaniu cementu NA zgodnego z PN-B-19707.

Dopuszczalne poziomy ekwiwalentu tlenku sodu w betonie (wyliczone zgodnie z p. 5.2), wymaganą zawartość dodatków typu II oraz dopuszczalne rodzaje cementów powszechnego użytku lub 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 $\text{kg/m}^3$			
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	maks. 2,4 $\text{kg/m}^3$	Kruszyw o takiej kategorii reaktywności nie dopuszcza się		

**Uwaga:**

Kruszyw grubych ze złóż żwirowych 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 <sup>3</sup> 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 <sup>3</sup> 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 <sup>3</sup> *), **)	maks. 1,8 kg/m <sup>3</sup> 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		
		maks. 1,8 kg/m <sup>3</sup> 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. 1,8 kg/m<sup>3</sup> oraz dwukrotnie zwiększona częstotliwość badań przez Wykonawcę/Producenta betonu, w stosunku do częstotliwości wskazanej w p.6.4, w przypadku stosowania kruszywa grubego ze złóż zwirowych o genezie rzecznej lub polodowcowej z uwagi na spodziewaną niejednorodność składu mineralnego.  
\*\*) dopuszcza się stosowanie mieszaniny kruszywa grubego kategorii R0 wraz z kruszywem drobnym kategorii R1 przy całkowitej zawartości alkaliów aktywnych maks 2,4 kg/m<sup>3</sup> pod warunkiem pozytywnej weryfikacji receptury mieszanki betonowej na podstawie badań zgodnie z procedurą PB/5/18.

**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 Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> w betonie; zawartość dodatków typu II lub rodzaj cementu			
E2	bez ograniczeń	maks. 3,0 kg/m <sup>3</sup> 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 <sup>3</sup>	maks. 2,4 kg/m <sup>3</sup> 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 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ w betonie; zawartość dodatków typu II lub rodzaj cementu			
E2	bez ograniczeń	maks. 3,5 kg/m <sup>3</sup>	Kruszyw o takiej kategorii reaktywności nie dopuszcza się	
E3	bez ograniczeń	maks. 3,0 kg/m <sup>3</sup> 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 GDDKiA. W tabelicy 1 Wytycznych 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. Dodatkowo Załącznik 6 do Wytycznych 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 granulowany żużel wielkopiecowy mogą być wprowadzone do mieszanki również jako dodatek typu II. Korzystniejsze jest stosowanie technologii wprowadzania żużla lub popiołu do betonu wraz 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 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  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ .

## 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, wynikającego z badań wykonanych wg PB/1/18, PB/2/18 i PB/3/18 zawartych w Załącznikach niniejszych Wytycznych. Jeżeli beton na nawierzchnie dróg o kategorii ruchu KR7 jest projektowany jak dla klasy obiektu S3, niezbędnym potwierdzeniem przydatności receptury jest pozytywny wynik badania jego odporności na uszkodzenia wskutek reakcji alkalia-kruszywo w warunkach eksploatacyjnych, zgodnie z procedurą PB/5/18 wraz z identyfikacją produktów reakcji w betonie.

Akceptacja receptury mieszanki betonowej przez Inżyniera/Inwestora wymaga:

- weryfikacji kategorii reaktywności kruszywa wynikającego z badań, przeprowadzonych na podstawie porównania wyniku badania wg PB/1/18, przedstawionego przez Wykonawcę oraz wyniku uzyskanego przez laboratorium Inwestora lub laboratorium zewnętrzne;
- 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;
- sprawdzenia rodzaju i wymaganej zawartości dodatku typu II w recepturze;
- pozytywnego wyniku badania betonu zgodnie z PB/5/18, jeżeli badanie to jest wymagane.

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

Akceptacja receptury mieszanki betonowej przez Inżyniera/Inwestora w przypadku kruszywa węglanowego wymaga także weryfikacji składu mineralnego i chemicznego kruszywa na podstawie porównania wyniku badania wg PB/3/18, przedstawionego przez Wykonawcę oraz wyniku uzyskanego przez laboratorium Inwestora lub laboratorium zewnętrzne.

## 5.2. Obliczanie zawartości alkaliów w recepturze betonu

Zawartość alkaliów aktywnych w betonie jako  $\text{Na}_2\text{O}_{eq}$  określa się jako sumę zawartości alkaliów z poszczególnych składników mieszanki betonowej.

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

gdzie:

$w_i$  – współczynnik uwzględniający udział alkaliów wymywanych dla składnika [%],  $x_i$  – zawartość  $\text{Na}_2\text{O}_{eq}$  dla składnika [%],  $z_i$  – zawartość składnika w betonie [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ].

Do obliczeń należy przyjąć następujące wartości współczynników  $w_i$ :

- 85% całkowitej zawartości alkaliów w przeliczeniu na  $\text{Na}_2\text{O}_{eq}$  w cemencie portlandzkim CEM I lub cemencie portlandzkim wapiennym CEM II/A-LL-NA;
- 80 % całkowitej zawartości alkaliów w przeliczeniu na  $\text{Na}_2\text{O}_{eq}$  w cemencie portlandzkim żuźlowym CEM II/A-S-NA;
- 70% całkowitej zawartości alkaliów w przeliczeniu na  $\text{Na}_2\text{O}_{eq}$  w cemencie portlandzkim popiołowym CEM II/A-V-NA, cemencie portlandzkim żuźlowym CEM II/B-S-NA, cemencie portlandzkim wieloskładnikowym CEM II/A-M (S-V)-NA,
- 60% całkowitej zawartości alkaliów w przeliczeniu na  $\text{Na}_2\text{O}_{eq}$  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  $\text{Na}_2\text{O}_{eq}$  w cemencie wieloskładnikowym CEM V/A (S-V)-NA,
- 30% całkowitej zawartości alkaliów w przeliczeniu na  $\text{Na}_2\text{O}_e$  w granulowanym żuźlu wielkopieczowym, jako dodatku typu II do betonu;
- 10% całkowitej zawartości alkaliów w przeliczeniu na  $\text{Na}_2\text{O}_e$  w popiele lotnym krzemionkowym, jako dodatku typu II do betonu;
- 100% zawartość alkaliów w przeliczeniu na  $\text{Na}_2\text{O}_{eq}$  w domieszkach do betonu;
- 100% zawartość alkaliów w przeliczeniu na  $\text{Na}_2\text{O}_{eq}$  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  $\text{Na}_2\text{O}_{eq}$  w betonie.

W przypadku cementu wieloskładnikowego, 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 aktywnych w betonie, powinny uwzględniać:

- zastosowanie cementów portlandzkich CEM I m.in. niskoalkalicznych NA, zgodnych z PN-B-19707, 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 niskoalkalicznych NA z dodatkiem popiołu lotnego krzemionkowego i/lub mielonego granulowanego żużla wielkopieczowego tj. 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 oraz udział dodatków mineralnych wymaganych 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.

## 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 drogowych obiektów inżynierskich powinien stosować system oceny i weryfikacji właściwości użytkowych 2+, który uwzględnia zharmonizowana norma przedmiotowa PN-EN 12620 [17].

Niniejsze Wytyczne Techniczne GDDKiA stanowią dokument „Przepisy w miejscu stosowania”<sup>1</sup> 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.

W krajowej deklaracji, o której mowa w art.8 pkt. 1 Ustawy [13], sporządzonej przez Producenta kruszywa przeznaczonego do nawierzchni betonowych i drogowych obiektów inżynierskich należy powoływać wymienione Procedury Badawcze GDDKiA.

Sposób deklarowania reaktywności alkaliczno-krzemionkowej (PN-EN 12620+A1:2010) oraz metody zastosowane do jej oceny:

Zasadnicze charakterystyki	Właściwości użytkowe		
Trwałość a reaktywność alkaliczno-krzemionkowa	Reaktywność alkaliczno-krzemionkowa	Kategoria R... (R0 -kruszywo niereaktywne, R1 – kruszywo umiarkowanie reaktywne)	XXX % wg procedury PB/1/18
			YYY % wg procedury PB/2/18

\*) XXX – średnia wartość wydłużenia próbek zaprawy po 14 dniach ekspozycji [%],

\*\*\*) YYY – średnia wartość wydłużenia próbek betonu po 365 dniach ekspozycji [%],

Sposób deklarowania reaktywności alkaliczno-węglanowej (informacja dodatkowa do DWU) oraz metoda zastosowana do jej oceny:

Zasadnicze charakterystyki	Właściwości użytkowe	
Trwałość a reaktywność alkaliczno-węglanowa	Reaktywność alkaliczno-węglanowa	Kruszywo niepodatne na reakcję alkalia-węglany wg procedury GDDKiA PB/2/18 w wersji zmodyfikowanej
		Skład mineralny i chemiczny kruszywa wg procedury PB/3/18

<sup>1</sup> Po wycofaniu norm PN-B-06714-46 [36] i PN-B-06714-34 [37] ze zbioru Polskiego Komitetu Normalizacyjnego, w Polsce istnieje luka normalizacyjna, którą wypełniają niniejsze Wytyczne Techniczne.

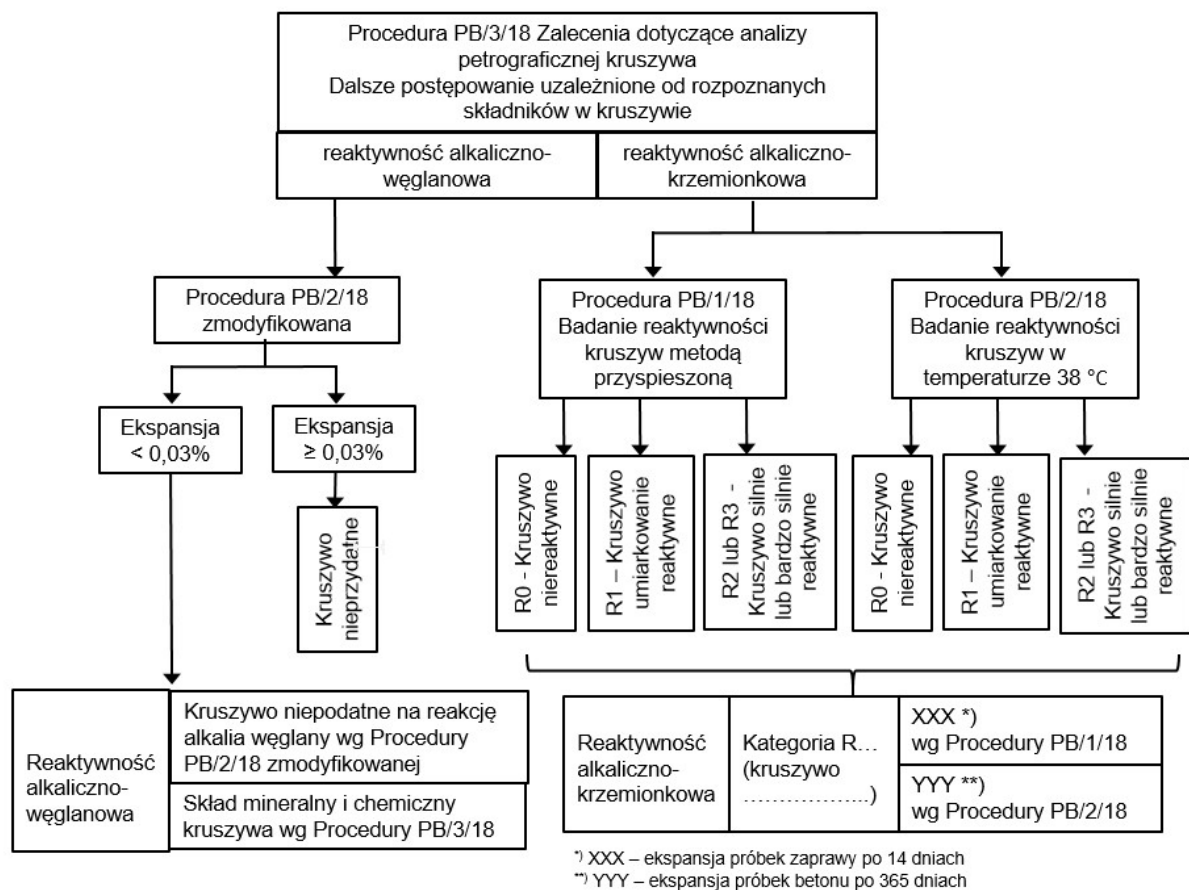


Deklarowana przez Producenta kategoria reaktywności kruszywa powinna być kontrolowana w dostawach przez laboratorium Inwestora, laboratorium zewnętrzne o uznanych kompetencjach w ramach obowiązującego systemu kontroli dostaw lub jednostkę naukowo-badawczą kompetentną w zakresie rozpoznania szkodliwości 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 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 procedurę PB/5/18 w wersji z cementem o obniżonej zawartości alkaliów lub z dodatkiem mineralnym, uwzględniającą łączny efekt zmieszania wszystkich frakcji kruszywa.

Proces oceny reaktywności alkalicznej kruszyw dla sporządzenia przez ich Producenta DWU 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 kruszywa przez Producenta kruszywa

Metody i częstotliwość badań kruszywa 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 alkali, 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.

Wymaga się, aby częstotliwość badań reaktywności alkalicznej kruszywa wykonywanych przez producentów kruszywa była zgodna z poniższymi wymaganiami w Tablicy 8.

**Tablica 8. Częstotliwość badań kruszywa z uwagi na kategorię reaktywności alkaliczno-krzemionkowej i rozpoznanie reaktywności alkaliczno-węglanowej**

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 2 lata*
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).

## 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 alkali);
- 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 przez Producenta betonu oraz Nadzór**

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 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 kruszywa u Producenta betonu należy prowadzić dla każdej dostarczonej partii kruszywa, tj.:

- a) w przypadku budowy drogowych obiektów inżynierskich (na podstawie [43]):
  - co 4000 ton – partia kruszywa grubego jednej frakcji,
  - co 2000 ton – partia kruszywa drobnego.
- b) w przypadku budowy nawierzchni drogowych: 1 raz podczas budowy odcinka jezdni o powierzchni nie większej niż 50000 m<sup>2</sup>, 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 w środowisku kategorii E2 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 przypadku betonowych nawierzchni dróg i drogowych obiektów inżynierskich w środowisku kategorii E3 do potwierdzenia odporności betonu na szkodliwą ekspansję wskutek reakcji alkalia-krzemionka w warunkach eksploatacji stosuje się procedurę PB/5/18 wykonaną w laboratorium o odpowiednich kompetencjach w tym zakresie. Badania Producenta betonu w zakresie 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.

Dopuszcza się wykorzystanie procedury PB/5/18 w sposób dwójaki, zależnie od celu badania:

- a) weryfikacja receptury betonu przedstawionej przez Wykonawcę do zatwierdzenia przez Nadzór (przypadek opisany powyżej).

Stosuje się wybrane przez producenta składniki i konkretny skład mieszanki zaprojektowanej zgodnie ze specyfikacjami na nawierzchnie drogowe lub drogowy obiekt inżynierski.
- b) ocena reaktywności mieszaniny kruszyw.

Stosuje się referencyjny skład mieszanki betonowej, tj. z cementem referencyjnym. Wyróżnia się receptury betonu referencyjnego o trzech wariantach składu, dotyczących zawartości cementu, współczynnika  $w/c$  i uziarnienia stosu kruszywa w zależności od przeznaczenia betonu: górna warstwa dwuwarstwowej nawierzchni z kruszywem odkrytym, warstwa dolna nawierzchni lub drogowy obiekt inżynierski. Proporcje składników są ustalone w taki sposób, aby uzyskać właściwą

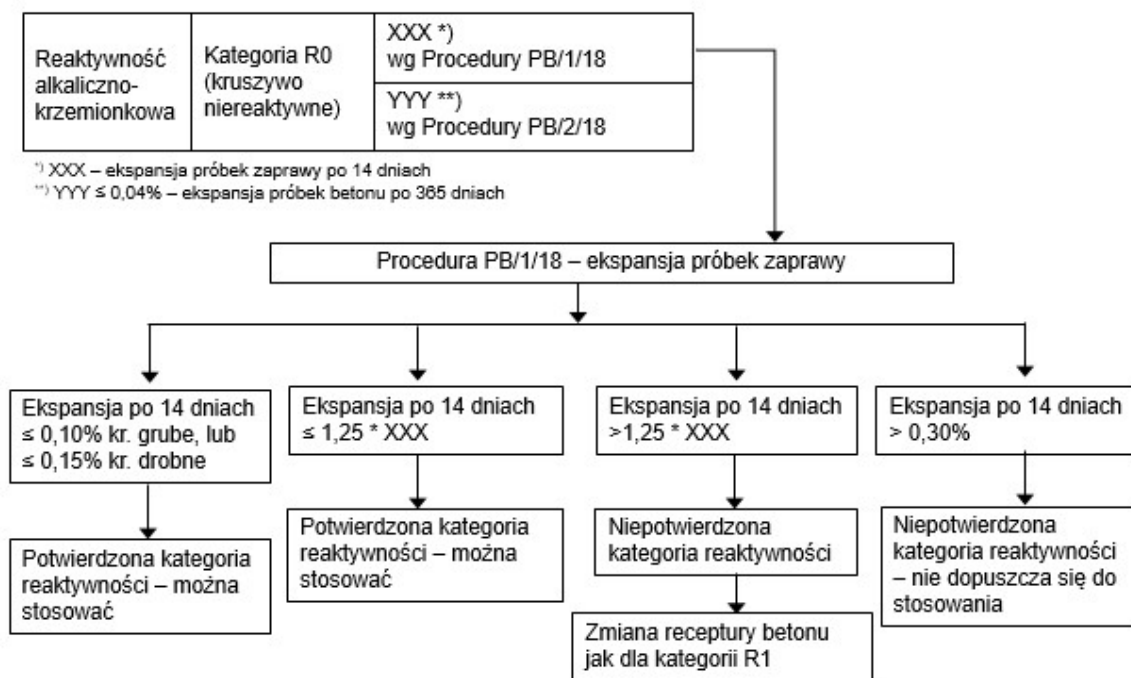
ocenę odporności betonu na reakcję alkalia-krzemionka. Ocena przydatności betonu pozostaje ważna przez 2 lata i może być przedstawiona jako dokument wystarczający do zatwierdzenia receptury na budowie po weryfikacji - za pomocą metody przyspieszonej wg PB/1/18 - reaktywności alkaliczno-krzemionkowej aktualnie dostarczonej partii kruszywa.

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:

- reaktywność alkaliczno-krzemionkowa - kategoria reaktywności R0,
- reaktywność alkaliczno-krzemionkowa - przypadek kategorii reaktywności R1,
- reaktywność alkaliczno-węglanowa - weryfikacja odporności na jej wystąpienie.

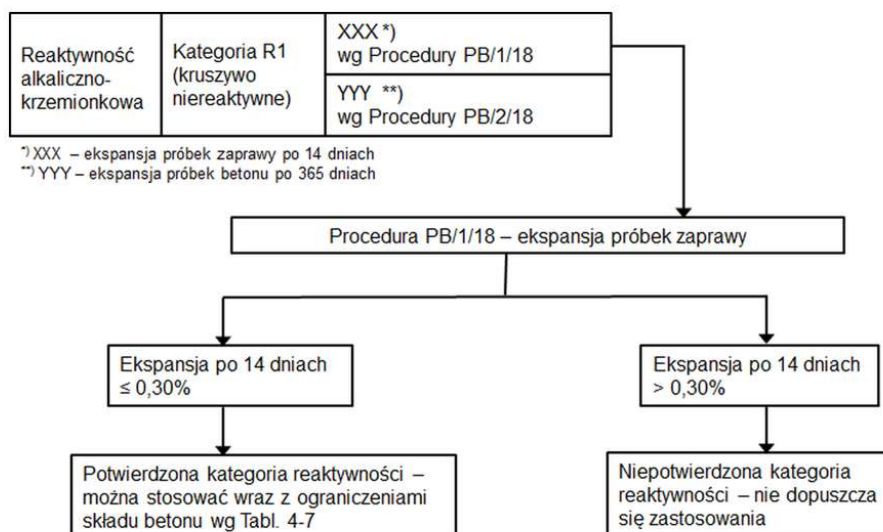
W każdym przypadku punktem wyjścia do porównań bieżących wyników badań Wykonawcy lub Nadzoru jest deklaracja Producenta kruszywa o treści zgodnej z Rysunkiem 2, zawierająca uzyskane przez niego wyniki pomiarów ekspansji zaprawy i betonu (a, b) lub wyniki oznaczenia składu kruszywa (c).

a)



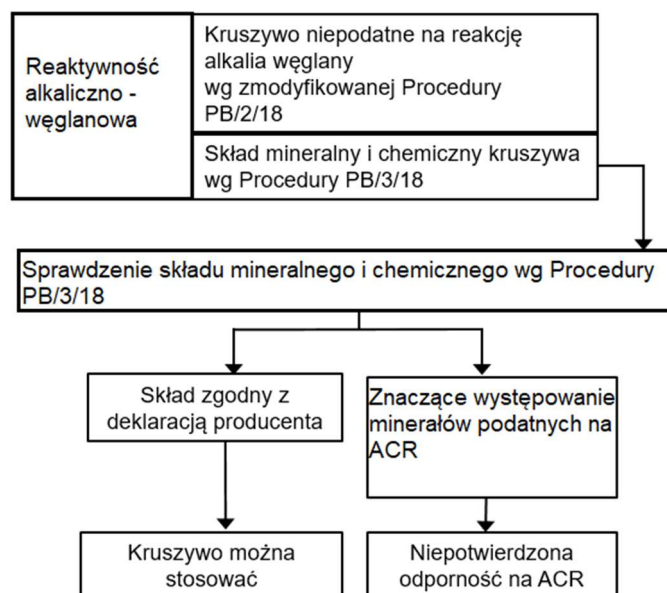
**Objaśnienie:** Jeżeli bieżący wynik badania kruszywa dostarczonego na budowę, uzyskany przez Wykonawcę lub Nadzór, wskazuje na przekroczenie granicznej ekspansji 0,30%, to kruszywo kwalifikuje się do kategorii co najmniej R2 i zgodnie z Tabl.1 nie może być zastosowane do betonu, nawet gdy podstawą deklarowania kategorii R0 są wyniki badania wg procedury PB/2/18.

b)



Objaśnienie: Przypadek niepotwierdzonej kategorii reaktywności wymaga traktowania kruszywa drobnego jako reaktywnego R1 o granicznej ekspansji do 0,30%.

c)



Objaśnienie: Niepotwierdzona odporność na ACR wskazuje, że kruszywo nie może być stosowane do betonu.  
Rysunek 3. Schematy wykorzystania Procedur Badawczych przez Wykonawcę lub Nadzór do weryfikacji kategorii reaktywności alkalicznej kruszywa oraz do weryfikacji przydatności kruszywa z uwagi na ACR.

## 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 cyklicznych zmiennych warunkach ciepłno-wilgotnościowych i zewnętrznego dostępu alkaliów, opracowana na podstawie wytycznych TP B-StB Teil 1.1.09-2 [49] oraz procedury RILEM AAR-12 (Załącznik 5).

Procedura PB/4/18 pozwala na ustalenie warunków zapobiegania reakcji ASR dla kruszyw umiarkowanie reaktywnych (R1). Procedura PB/5/18 umożliwia weryfikację czy mieszanina kruszyw mineralnych w betonie nie wykazuje podatności na szkodliwą reakcję alkalia-krzemionka oraz

weryfikację odporności betonu o określonej recepturze na występowanie szkodliwej reakcji alkalia-krzemionka w symulowanych warunkach eksploatacyjnych: cyklicznego oddziaływania temperatury, zmiennej wilgotności i zewnętrznego dostępu alkaliów

## 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. Zgodnie z zaleceniami [23], miarodajne obserwacje odporności betonu w obiektach na uszkodzenia wskutek reakcji alkalia-kruszywo uzyskuje się po minimum 20 latach eksploatacji (środowisko E3) lub 7 latach eksploatacji (środowisko E2). 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 (czynniki wpływające na kategorię oddziaływania środowiska);
- 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 okres użytkowania 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] 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)

## 10. Załączniki

Załącznik 1 – Procedura Badawcza GDDKiA PB/1/18, Instrukcja badania reaktywności kruszyw metodą przyśpieszoną 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

## Załącznik 1

### Procedura Badawcza GDDKiA PB/1/18

#### Instrukcja badania reaktywności kruszyw metodą przyspieszoną w 1 M roztworze NaOH w temperaturze 80°C

##### 1. Przedmiot i zakres instrukcji

Instrukcja dotyczy oceny reaktywności kruszyw mineralnych z wodorotlenkami sodu i potasu występującymi w cieczy porowej betonu. Sposób postępowania jest oparty na metodzie przedstawionej w normie ASTM C1260 oraz RILEM AAR-2. Umożliwia stwierdzenie wystąpienia szkodliwej reakcji alkalia-kruszywo w ciągu 16 dni na podstawie oznaczenia zmiany długości próbek z zaprawy cementowej z badanym kruszywem.

##### 2. BHP

Zagadnienia bezpieczeństwa i higieny pracy, których należy przestrzegać przy przeprowadzaniu badań, zostały szczegółowo opisane w ASTM C1260. Ustalenie właściwych procedur bezpieczeństwa i ochrony zdrowia leży w zakresie obowiązków użytkownika.

##### 3. Dokumenty powołane

AASHTO R 80, Standard Practice for Determining the Reactivity of Concrete Aggregates and Selecting Appropriate Measures for Preventing Deleterious Expansion in New Concrete Construction, American Association of State Highway and Transportation Officials

ASTM C1260 Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)

ASTM C151/C151M Standard Test Method for Autoclave Expansion of Hydraulic Cement

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

PN-EN 196-1 Metody badania cementu - Część 1: Oznaczanie wytrzymałości

PN-EN 196-3+A1 Metody badania cementu - Część 3: Oznaczanie czasów wiązania i stałości objętości

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

PN-ISO 565 Sita kontrolne - tkanina z drutu, blacha perforowana i blacha cienka perforowana elektrochemicznie - wymiary nominalne oczek

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

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, Nixon P.J. and Sims I. (Eds.), Springer, 2016

#### 4. Terminologia

Zmiana długości - zwiększenie lub zmniejszenie wymiarów liniowych próbki badanej, mierzone równoległe do osi wzdłużnej.

#### 5. Aparatura

5.1. Sita - o otworach kwadratowych, z materiału tkanego z drutu/ blachy perforowanej, o wymiarach boku oczka 4 mm, 2 mm, 1 mm, 500  $\mu\text{m}$ , 250  $\mu\text{m}$  i 125  $\mu\text{m}$ , zgodne z PN-ISO 565.

5.2. Kruszarka laboratoryjna – kruszarka szczękowa i/lub kruszarka żarnowa.

5.3. Mieszarka – mieszarka zgodna z wymaganiami PN EN 196-1 p. 4.4.

5.4. Ubijak – ubijak wykonany z wytrzymałego, nienasiąkliwego tworzywa, np. gumy o twardości  $80 \pm 10$  (skala Shore'a A) lub drewna odpowiednio zaimpregnowanego poprzez zanurzenie przez 15 min w parafinie o temperaturze  $200^{\circ}\text{C}$ . Wymiary ubijaka: przekrój poprzeczny 13 x 15 mm i długość od 120 do 150 mm, kąt prosty pomiędzy poszczególnymi płaszczyznami. Powierzchnia ubijaka płaska.

5.5. Zgarniak – zgarniak zgodny z wymaganiami PN EN 196-1 (p. 4.5 Rysunek 3).

5.6. Waga do 1000 g, z dokładnością do 1 g.

5.7. Forma - jedno- lub wieloczęściowa (od 1 do 3 próbek) umożliwiającą wykonanie próbek o wymiarach 25 x 25 x 285 mm. Końce płytek formy muszą mieć w centrum otwory umożliwiające wkręcenie stalowych czopików.

5.8. Pojemniki do przechowywania próbek powinny umożliwiać całkowite zanurzenie próbek zaprawy albo w wodzie destylowanej albo w 1 M roztworze NaOH. Pojemniki powinny być wykonane z materiału odpornego na przedłużoną ekspozycję w temperaturze  $80^{\circ}\text{C}$  i na działanie 1 M roztworu NaOH. Pojemniki muszą być zbudowane w taki sposób, aby zapobiegać utracie lub wzrostowi wilgotności w trakcie przechowywania próbek zaprawy przez ściśle przylegające pokrywki. Próbki nie powinny dotykać do ścianek pojemnika ani do siebie nawzajem; powinny być tak podparte, aby zapewnić dostęp roztworu na całej powierzchni.

*Uwaga: Pojemniki szklane lub metalowe mogą ulegać korozji pod wpływem działania roztworu NaOH. Niektóre pojemniki do przechowywania, odporne na działanie promieniowania mikrofalowego, wykonane z polipropylenu lub polietylenu o dużej gęstości są odpowiednie do zastosowania.*

5.9. Komora termostatyczna - komora termostatyczna ze sterowaniem poziomu temperatury  $80,0 \pm 2,0^{\circ}\text{C}$ .

5.10. Komora wilgotnościowa – przeznaczona do kondycjonowania próbek z zaprawy w warunkach  $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{RH} \geq 90\%$ .

5.11. Urządzenie pomiarowe - Przyrząd do pomiaru zmian długości stanowi okrągły mikrometr lub inny przyrząd pomiarowy z podziałką 0,001 mm i z dokładnością 0,003 mm. Zakres pomiarowy przynajmniej  $\pm 10$  mm. Konstrukcja przyrządu powinna umożliwiać kontrolę urządzenia pomiarowego przy użyciu pręta referencyjnego z invaru. Zewnętrzna długość pręta kalibracyjnego powinna wynosić  $295 \pm 3$  mm. Górny koniec pręta powinien być oznaczony

strzałką lub (\*). Środkowa część na długości 100 mm powinna być pokryta gumową rurką o ścianach o grubości co najmniej 3 mm, w celu zmniejszenia wpływu zmian temperatury podczas pomiaru. Urządzenie pomiarowe o konstrukcji ulepszonej, wykonane z invaru w celu minimalizacji efektów termicznych, ze zmodyfikowanym sposobem mocowania próbki w celu minimalizacji niedokładności ułożenia czopików w gniazdach, pokazano na Rysunku Z1.1.

**5.12.** Czopiki referencyjne - czopiki powinny być wykonane z materiału odpornego na korozję, zgodne z kształtem zakończenia pręta referencyjnego i wymiarami gniazd w urządzeniu do pomiaru zmian długości próbek. Długość czopika powinna wynosić 20-22,5 mm, a część gwintowana (o średnicy 6 mm) nie mniej niż 6 mm.

## **6. Odczynniki**

6.1. Wodorotlenek sodu (NaOH): klasa czystości - co najmniej techniczna.

6.2. Czystość wody: woda destylowana lub dejonizowana.

6.3. 1 M roztwór wodorotlenku sodu - każdy litr roztworu powinien zawierać 40,0 g NaOH rozpuszczonego w 900 ml wody destylowanej lub dejonizowanej i powinien być rozcieńczony przy użyciu dodatkowej porcji wody destylowanej lub dejonizowanej do uzyskania roztworu o objętości 1 litra. Stosunek objętości roztworu wodorotlenku sodu do objętości próbek w pojemniku powinien wynosić  $4 \pm 0,5$  objętości roztworu do 1 objętości próbek. Objętość próbek można przyjąć za równą 184 ml. Należy dostarczyć odpowiednią ilość roztworu tak, aby zapewnić całkowite zanurzenie próbek zaprawy.

Ostrzeżenie: Przed użyciem NaOH należy skontrolować:

- środki bezpieczeństwa dotyczące stosowania NaOH;
- środki pierwszej pomocy w przypadku oparzeń;
- procedury postępowania w przypadku wycieku, jak to opisano w karcie charakterystyki substancji lub w innych dokumentach dotyczących zasad bezpieczeństwa. NaOH może powodować bardzo poważne oparzenia lub uszkodzenia niechronionej skóry lub oczu. Zawsze należy stosować właściwe środki ochrony osobistej. Środki te powinny obejmować: całkowitą ochronę twarzy, gumowy fartuch i rękawice nieprzepuszczalne dla NaOH i izolujące od wysokiej temperatury  $80,0 \pm 2,0^{\circ}\text{C}$ .

## **7. Warunki prowadzenia badań**

7.1. Temperatura pomieszczenia, w którym następuje formowanie próbek zaprawy, a także suchych składników zaprawy i destylowanej wody zarobowej powinna być utrzymywana w zakresie  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

7.2. Utrzymywać wilgotność względną powietrza w zakresie nie mniejszym niż 50% w pomieszczeniu laboratoryjnym, w którym wykonywane są próbki z zaprawy.

7.3. Temperaturę w komorze termostatycznej, w której przechowywane będą pojemniki z próbkami zapraw, należy utrzymywać w zakresie  $80 \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

7.4. Warunki panujące w laboratorium podczas pomiaru wydłużenia próbek powinny być stałe, a temperatura powietrza wynosić  $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ .

7.5. W czasie przeprowadzania pomiarów w laboratorium niezbędne jest zabezpieczenie przed nadmierną cyrkulacją powietrza – unikać przeciągów, nawiewów.

## 8. Pobieranie próbek kruszywa i przygotowanie próbek zapraw

- 8.1. Selekcja kruszywa - Materiały wybrane do zastosowania jako kruszywo drobne w betonie przygotować jak to opisano w pkt. 8.2. Przygotować kruszywo, minimalizując kruszenie. Materiały wybrane do zastosowania jako kruszywo grube w betonie przygotować poprzez kruszenie do uzyskania frakcjonowanego kruszywa, zbliżonego jak to tylko możliwe do rzeczywistego kruszywa.
- 8.2. Przygotowanie kruszywa - Przygotować wszystkie kruszywa zgodnie z wymaganiami w zakresie uziarnienia i zawartości poszczególnych frakcji, podanymi w Tabeli Z1.1.

Tabela Z1.1. Wymagane uziarnienie kruszywa

Wymiar sita #		Zawartość frakcji [% (m/m)]
Przesiew przez sito	Odsiew na sicie	
4,0 mm	2,0 mm	10
2,0 mm	1,0 mm	25
1,0 mm	500 µm	25
500 µm	250 µm	25
250 µm	125 µm	15

Kruszywo, w którym nie występują wystarczające ilości poszczególnych frakcji, przekruszyć do uzyskania wymaganej ilości materiału. W przypadku kruszyw zawierających niewystarczającą ilość jednej lub więcej frakcji grubych wymienionych w Tabeli Z1.1, i jeżeli nie jest dostępny grubszy materiał do kruszenia, jest dopuszczalne, aby pierwsza frakcja, która występuje w ilości wystarczającej do kruszenia, zawierała skumulowany w dół udział procentowy materiału, aż do tego rozmiaru, jak to określono na podstawie klasyfikacji podanej w Tabeli Z1.1. Kiedy kruszywo zostanie już rozfrakcjonowane do różnych rozmiarów sitowych, przemyć na odpowiednim dla frakcji sicie każdą z frakcji strumieniem wody w celu usunięcia pyłu i drobnych cząstek przylegających do ziaren kruszywa. Wysuszyć frakcje zatrzymane na różnych sitach i jeżeli nie będą użyte natychmiast, przechowywać każdą osobno w czystym pojemniku zaopatrzonym w ściśle przylegającą pokrywkę.

Naturalne kruszywo drobne (np. piasek) nie jest poddawane kruszeniu, jednak należy usunąć ziarna powyżej 4 mm oraz poniżej 125 µm.

Gdy brak frakcji 2-4 mm, zawartość frakcji 1-2 mm wynosi 35%.

Przesiany piasek należy umyć i wysuszyć.

### 8.3. Wybór i przygotowanie cementu:

- 8.3.1. Cement referencyjny - stosować cement portlandzki CEM I 52,5 lub 42,5, spełniający wymagania normy PN-EN 197-1, o minimalnej zawartości alkaliów  $0,9 \pm 0,1\%$ , wyrażonej jako ekwiwalent tlenku sodu  $Na_2O_{eq}$  ( $Na_2O + 0,658 \times K_2O$ ). Dodatkowo, stałość objętości oznaczona metodą Le Chateliera (PN-EN 196-3) powinna wykazywać wzrost rozstawu końcówek pomiarowych  $< 2mm$  lub, alternatywnie, cement powinien spełniać wymagania ograniczonej ekspansji według metody ASTM C151/C151M (metoda autoklawowa) nie większej niż 0,20%. Miałkość cementu oznaczona metodą PN-EN 196-6 powinna być nie mniejsza niż 450 m<sup>2</sup>/kg, a wytrzymałość 2-dniowa na



ściskanie nie mniejsza niż 30,0 MPa zgodnie z PN-EN 197-1<sup>2</sup>.

8.3.2. Przechowywanie cementu – cement przechowywać w szczelnych opakowaniach zabezpieczających go przed oddziaływaniem wilgoci. W przypadku cementu przechowywanego dłużej niż 6 miesięcy należy potwierdzić spełnianie wymagań zdefiniowanych w p. 8.3.1. Przed zastosowaniem cement przesiać przez sito 250 µm celem usunięcia ewentualnych zbryleń.

8.4. Przygotowanie próbek zaprawy:

8.4.1. Liczba próbek zaprawy - przygotować co najmniej trzy próbki dla każdej kombinacji kruszywo-cement.

8.4.2. Przygotowanie form - wewnętrzna powierzchnia formy powinna być pokryta środkiem antyadhezyjnym, który nie wpłynie na wiązanie cementu ani nie będzie hamować przenikania wody do próbki. Nie pokrywać środkiem antyadhezyjnym powierzchni stalowych czopików. Wkręcić stalowe czopiki i zmierzyć odległość pomiędzy wewnętrznymi końcami czopików dla każdej beleczki z dokładnością do 0,1 mm. Pomierzona odległość to wartość G uwzględniana w obliczaniu zmiany długości próbki.

8.4.3. Skład zaprawy - odmierzyć składniki suche zaprawy cementowej w proporcji 1 część cementu do 2,25 części frakcjonowanego kruszywa (masowo) w przypadku kruszyw o gęstości równej 2,45 kg/dm<sup>3</sup> lub więcej.

Masa suchych składników koniecznych jednorazowo do wykonania porcji zaprawy cementowej, wystarczającej na 3 próbki, powinna wynosić: 440 g cementu i 990 g kruszywa uzyskanego przez połączenie frakcji zatrzymanych na sitach w ilościach opisanych w Tabeli Z1.1. Zastosować współczynnik wodno-cementowy równy 0,47 masowo.

8.4.4. Mieszanie zaprawy - zaprawę wymieszać zgodnie z PN-EN 196-1.

8.4.5. Formowanie próbek zaprawy - formować próbki zaprawy w ciągu czasu nie dłuższego niż 2 min i 15 s, który upłynął od zakończenia mieszania porcji zaprawy. Wypełnić formę w dwóch porównywalnych warstwach, z których każda była zagęszczana za pomocą ubijaka. Wprowadzić zaprawę do narożników formy, wokół stalowych czopików oraz wygładzić powierzchnię formy używając zgarniaka do chwili uzyskania jednorodnej próbki. Po zagęszczeniu górnej warstwy zaprawy, usunąć jej nadmiar i wygładzić powierzchnię próbki za pomocą kilku pociągnięć zgarniaka. Dopuszczalne jest alternatywne formowanie próbek zaprawy przy zastosowaniu stołu wibracyjnego zgodnie z opisem w p.15 Informacje uzupełniające-formowanie próbek metodą alternatywną - pod warunkiem wykazania, że wynik badania spełnia dopuszczalne kryteria podane w p.11.

## 9. Procedura badania

9.1. Początkowe przechowywanie i odczyt - umieścić każdą z form wypełnioną zaprawą w komorze wilgotnościowej ze stałą temperaturą 20±1°C i wilgotnością nie mniejszą niż

---

<sup>2</sup> Materiał referencyjny do badań spełniający wyszczególnione wymagania można nabyć w Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytucie Ceramiki i Materiałów Budowlanych, ul. Cementowa 8, 31-983 Kraków, +48 12 683 79 11, sekretariat@icimb.lukasiewicz.gov.pl

90% RH na okres  $24 \pm 2$  godzin. Próbki wyjąć z form, opisać, zaznaczyć strzałką lub (\*) jeden z końców próbki, który od tej pory będzie wkładany do urządzenia pomiarowego u góry i dokonać początkowego odczytu porównawczego ich długości, wkładając próbkę do urządzenia pomiarowego zaczynając od górnego czopika. Wykonywać i rejestrować początkowe i wszystkie kolejne odczyty z dokładnością do 0,001 mm. Próbki zaprawy wykonane z danym kruszywem (jedna seria badawcza) umieścić w pojemniku do przechowywania napełnionym wodą destylowaną w ilości zapewniającej ich całkowite zanurzenie. Zamknąć pojemnik i umieścić w komorze termostatycznej o temperaturze  $80,0 \pm 2^\circ\text{C}$  na okres 24 h.

- 9.2. Pomiar zerowy - przenieść pojedynczo pojemniki z komory termostatycznej. Kolejne pojemniki przenieść dopiero, jeżeli wszystkie próbki z poprzedniego pojemnika zostały zmierzone, a pojemnik umieszczono ponownie w komorze termostatycznej. Czas, który upłynął pomiędzy przeniesieniem a odłożeniem pojemników do komory termostatycznej nie powinien przekraczać 10 min. Wyjmować pojedynczo próbki z wody i oczyszczać powierzchnię czopików z osadu papierowym ręcznikiem. Należy zwrócić szczególną uwagę na nienaruszenie czopików. Osuszanie powierzchni próbki powinno być ograniczone do minimum, ponieważ może powodować jej wysychanie i zmniejszanie wymiarów. Wykonać pomiar zerowy ( $L_0$ ) każdej z próbek natychmiast po osuszeniu. Po pomiarze włożyć do urządzenia pręt referencyjny i sprawdzić, czy różnica nie jest większa niż  $3 \mu\text{m}$  (jeżeli tak, pomiar próbek należy powtórzyć). Zakończyć osuszanie i odczyt w czasie nie dłuższym niż 10 - 15 s od wyjęcia próbki z wody. Jeżeli czas pomiaru się wydłuża, należy umieścić próbkę w gorącej wodzie i powtórzyć pomiar po upływie co najmniej 3 minut. Po odczytaniu wskazania, pozostawić próbkę na ręczniku do chwili uzyskania odczytów zmian liniowych pozostałych próbek. Umieścić wszystkie próbki zaprawy z danym kruszywem (jedna seria badawcza) w pojemniku zawierającym 1 M roztwór NaOH o temperaturze  $80,0 \pm 2^\circ\text{C}$  w ilości wystarczającej do całkowitego zanurzenia próbek. Uszczelnić pojemnik i umieścić go ponownie w komorze termostatycznej.

*Uwaga: Przed każdym pomiarem należy wykonać pomiar pręta referencyjnego, ponieważ ciepło wydzielane przez próbki zaprawy może wywołać zmiany długości urządzenia pomiarowego. Urządzenie pomiarowe o konstrukcji ulepszonej (Rysunek Z1.1) nie wykazuje znaczących zmian długości wskutek wydzielania ciepła z próbek.*

- 9.3. Dalsze przechowywanie i pomiary - wykonywać okresowo kolejne odczyty ( $L_x$ ) zmian liniowych długości próbek, z co najmniej trzema odczytami pośrednimi, przez 14 dni po pomiarze zerowym, o tej samej, porównywalnej porze każdego dnia. Procedura jest identyczna do tej opisanej w punkcie o pomiarze zerowym z tym wyjątkiem, że po wykonaniu pomiaru każda próbka jest odkładana bezzwłocznie do tego samego pojemnika do przechowywania, z którego zostały pobrane.

## 10. Obliczenia

Obliczyć różnicę pomiędzy pomiarem zerowym długości próbki a pomiarem długości w każdym okresie przechowywania w zaokrągleniu do 0,001% efektywnej odległości pomiędzy końcami czopików umieszczonymi w zaprawie i zarejestrować jako ekspansję

próbki dla tego okresu przechowywania. Przedstawić średnią ekspansję trzech próbek zaprawy, odpowiadających danej kombinacji cementu i kruszywa, z dokładnością do 0,01% jako ekspansję w danym okresie.

Zmianę długości badanej próbki oblicza się następująco:

$$\text{zmiana długości próbki [\%]} = 100 \times (L_n - L_0) / G,$$

gdzie:

$L_n$  - długość próbki po „n dniach” [mm], przy czym n oznacza liczbę dni liczonych od pomiaru zerowego,

$L_0$  - długość zerowa próbki [mm],

G - odległość pomiędzy wewnętrznymi końcami czopików metalowych w próbkach zaprawy [mm], z dokładnością do 0,1mm.

*Uwaga:*

*Jeżeli wynik zmiany długości jednej z próbek znacząco odbiega od wyniku dwóch pozostałych (różnica powyżej 0,03%) lub próbka uległa pęknięciu, wynik ten należy odrzucić i do dalszych obliczeń przyjąć średnią z dwóch próbek. Zaleca się powtórzenie badania.*

## 11. Dopuszczalna różnica między wynikami

11.1. Zgodnie z objaśnieniami w ASTM C1260 pkt. 12 dopuszczalna różnica pomiędzy dwoma wynikami prawidłowo przeprowadzonych badań kruszywa, wykazującego średnią 14-dniową zmianę długości  $> 0,10\%$ , w tym samym laboratorium nie powinny różnić się więcej niż o 8,3%. Wyniki dwóch prawidłowo przeprowadzonych badań takiego kruszywa w różnych laboratoriach nie powinny różnić się więcej niż o 43%.

## 12. Ocena

Ocena reaktywności kruszywa jest przeprowadzana na podstawie średniej zmiany długości próbek zaprawy po 14 dniach przechowywania w 1 M roztworze NaOH w temperaturze 80°C, zgodnie z tabelami poniżej, odpowiednio w przypadku kruszywa grubego i kruszywa drobnego.

Kategoria reaktywności kruszywa grubego	Opisowe określenie reaktywności	14-dniowa zmiana długości próbek [%]
R0	niereaktywne	$\leq 0,10$
R1	umiarkowanie reaktywne	$>0,10; \leq 0,30$
R2	silnie reaktywne	$>0,30; < 0,45$
R3	bardzo silnie reaktywne	$>0,45$

Kategoria reaktywności kruszywa drobnego	Opisowe określenie reaktywności	14-dniowa zmiana długości próbek [%]
R0	niereaktywne	$\leq 0,15$
R1	umiarkowanie reaktywne	$>0,15; \leq 0,30$
R2	silnie reaktywne	$>0,30; \leq 0,45$
R3	bardzo silnie reaktywne	$>0,45$

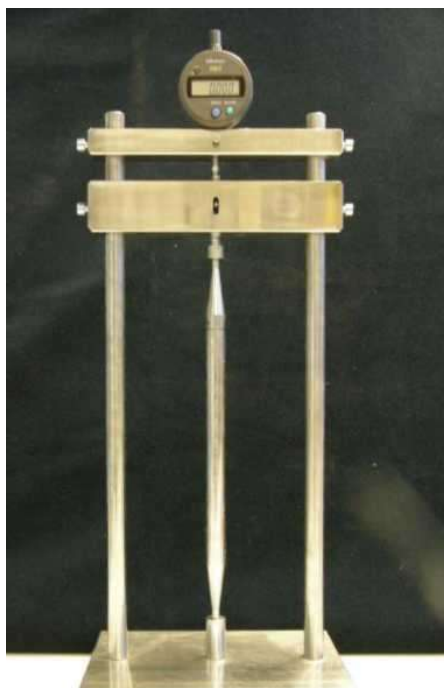
### Uwagi:

- W literaturze cytowanej w ASTM C1260 stwierdzono, że niektóre granitognejsy i metabazalty wykazują ekspansję w zastosowaniach rzeczywistych, pomimo, że 14-dniowa zmiana długości próbek zaprawy z tymi kruszywami była mniejsza niż 0,10%. W przypadku takich kruszyw zaleca się analizę obserwacji z praktycznych ich zastosowań w betonie w konstrukcjach. Jeżeli brak takich danych, należy zastosować właściwe środki zapobiegawcze przeciwko szkodliwym skutkom reakcji alkalia-kruszywo.
- Jeżeli stwierdzono znaczącą zmianę długości próbek, należy uzyskać dane uzupełniające, które potwierdzą, że ekspansja wystąpiła z powodu reakcji alkalia-krzemionka w kruszywie. Źródło takich informacji dodatkowych stanowią: (1) analiza petrograficzna kruszywa w celu określenia czy znane minerały reaktywne występują w kruszywie; (2) identyfikacja produktów reakcji alkalia-krzemionka w próbkach zaprawy po zakończeniu badania; (3) dane z eksploatacji w warunkach rzeczywistych, o ile są dostępne, mogą być zastosowane do oceny reaktywności kruszywa.
- Z literatury znana jest skuteczność opisanej procedury do oceny kruszyw z uwagi na wystąpienie reakcji alkalia-krzemionka również w przypadku kruszyw węglanowych, jeśli występuje ASR. Procedury nie stosuje się do rozpoznania potencjału wystąpienia reakcji alkalia-węglany.
- Gdy na podstawie wyników badań przeprowadzonych przy użyciu niniejszej metody badawczej i informacji dodatkowych stwierdzono, że dane kruszywo jest umiarkowanie reaktywne, to należy sprawdzić efektywność możliwych środków zapobiegających szkodliwym skutkom reakcji. Do takich sposobów zalicza się m.in. stosowanie niskoalkalicznego cementu portlandzkiego, obniżenie zawartości alkaliów w betonie, zastosowanie dodatków mineralnych wskazanych w zasadniczej części Wytycznych.

### 13. Sprawozdanie

W sprawozdaniu przedstawić następujące informacje:

- Rodzaj i pochodzenie kruszywa.
- Rodzaj i pochodzenie cementu.
- Ekspansję w autoklawie lub stałość objętości cementu oraz procentową zawartość alkaliów w cemencie: tlenku potasu ( $K_2O$ ), tlenku sodu ( $Na_2O$ ) i obliczonego ekwiwalentu tlenku sodu ( $Na_2O_{eq} = \% Na_2O + 0,658 \times \% K_2O$ ).
- Średnią zmianę długości, wyrażoną w procentach, dla każdego pomiaru próbek.
- Wszelkie istotne informacje dotyczące przygotowania kruszyw, łącznie z uziarnieniem kruszywa jeżeli różni się od frakcji podanych w pkt. 8.2.
- Wszelkie istotne cechy ujawnione w trakcie oraz po badaniu próbek.
- Ilość wody zarobowej wyrażonej jako procent masowy cementu.
- Wykres zmian długości w funkcji czasu od pomiaru zerowego do końca okresu ekspozycji w 1 N roztworze NaOH w temperaturze 80°C.



Rysunek Z1.1. Urządzenie pomiarowe (dylatometr) o konstrukcji ulepszonej, z invaru

#### **14. Informacje uzupełniające – interpretacja wyników badania**

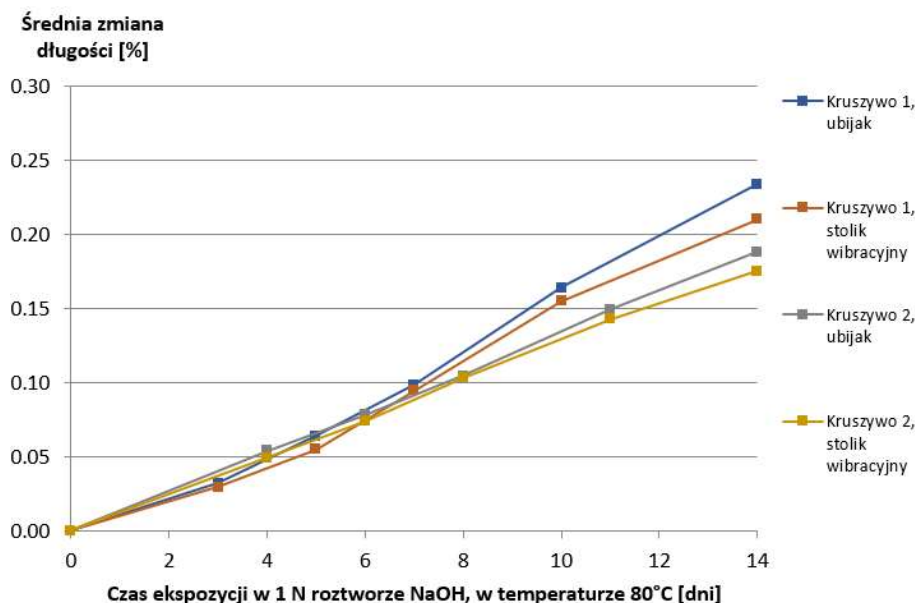
Liczne badania wydłużenia próbek z kruszywami krajowymi, przeprowadzone w laboratoriach ICiMB OSiMB oraz IPPT PAN, nie wykazały występowania sprzeczności oceny kategorii reaktywności kruszywa na podstawie metody przyspieszonej wg PB/1/18 i metody długoterminowej wg PB/2/18. Na podstawie literatury zagranicznej wiadomo, że taka sprzeczność zdarzyć się może w przypadkach szczególnego składu mineralnego lub zwiększonej niepewności pomiarów. Zwiększonej niepewności należy oczekiwać przy dużym zróżnicowaniu składu mineralnego kruszywa (dotyczy to zwłaszcza kruszyw ze skał okruchowych pochodzenia rzeczno i polodowcowego) oraz przy małym doświadczeniu metodycznym w laboratorium, związanym z rozpoznawaniem minerałów reaktywnych, prowadzeniem pomiarów ekspansji i oceną istotności wyników.

Newralgicznymi elementami metodyki pomiarów wydłużenia próbek zaprawy jest powtarzalność i szybkość wykonania pomiarów długości próbek tuż po wyjęciu z roztworu NaOH. Próbka zaprawy o niewielkim przekroju poprzecznym ulega szybkiemu ochłodzeniu i wysychaniu po wyjęciu z roztworu NaOH o temperaturze 80°C. Dlatego przedłużony, a nawet zróżnicowany między pojedynczymi próbkami, czas upływający od wynurzenia do odczytania długości w urządzeniu pomiarowym, zasadniczo wpływa na odczyt: oprócz oczekiwanej ekspansji (z powodu ASR) może zostać zarejestrowane skrócenie próbki wskutek ochłodzenia i powierzchniowego wysychania. Zręczność operatora i powtarzalna szybkość pomiaru przy minimalizacji czasu przebywania próbki poza roztworem jest warunkiem koniecznym wiarygodnej oceny wydłużenia wskutek ASR. Nie ma powodów innych niż metodyczne, aby wykres wydłużenia w czasie nie był monotoniczny; rejestrowane skrócenie próbek w takim badaniu wskazuje na nadmierny efekt ochłodzenia lub wysychania próbek podczas prowadzenia badań.

Wspomniany powyżej szczególny skład mineralny kruszyw nie został jednoznacznie ustalony w ramach przeprowadzonych badań. Szczególny przypadek kruszywa granitowego omówiono w Załączniku 7. Nie stwierdzono mniejszej przydatności metody przyspieszonej do oceny reaktywności kruszyw, w których reaktywnymi składnikami były składniki wymienione w Załącznikach 5 i 7 niniejszych Wytycznych.

## 15. Informacje uzupełniające – formowanie próbek metodą alternatywną

Przydatność alternatywnej metody formowania próbek na stole wibracyjnym została sprawdzona w ograniczonym zakresie. Doświadczenia IPPT PAN wskazują, że formowanie na stole wibracyjnym powoduje systematyczne zmniejszenie ekspansji próbek w porównaniu do próbek formowanych za pomocą ubijaka, nie przekraczające 0,02% po 14 dniach ekspozycji. Przedstawione przykładowe wyniki pomiaru wydłużenia próbek (rys. Z.1.2) uzyskano przy następujących parametrach wibracji: amplituda 0,5 mm, częstotliwość drgań 3600 obr/min; zagęszczanie w dwóch warstwach po 10 sekund każda. W zależności od konsystencji zaprawy, właściwy czas zagęszczania mieścił się w granicach  $20 \pm 10$  sekund na każdą warstwę. Jeżeli laboratorium badawcze decyduje się na zastosowanie alternatywnej metody formowania, należy ustalić własną relację między wynikami pomiaru wydłużenia próbek formowanych wibracyjnie i próbek formowanych za pomocą ubijaka. W sprawozdaniu należy wskazać wybraną metodę formowania próbek.



Rys. Z.1.2. Przykładowe wyniki badania reaktywności kruszyw metodą przyspieszoną w 1 M roztworze NaOH w temperaturze 80°C: porównanie efektów zagęszczania próbek za pomocą ubijaka i za pomocą stolika wibracyjnego.

## Załącznik 2

### Procedura badawcza GDDKiA PB/2/18

#### Instrukcja badania reaktywności kruszyw w temperaturze 38°C według ASTM C1293/RILEM AAR-3

##### 1. Przedmiot i zakres instrukcji

Instrukcja dotyczy oceny reaktywności kruszyw mineralnych z wodorotlenkami sodu i potasu występującymi w cieczy porowej betonu. Sposób postępowania jest oparty na metodzie przedstawionej w normie ASTM C1293, z modyfikacjami wymaganymi w warunkach krajowych, zgodnie ze wskazówkami RILEM AAR-3. Umożliwia stwierdzenie wystąpienia szkodliwej reakcji alkalia-kruszywo w ciągu 365 na podstawie oznaczenia zmiany długości próbek betonu z badanym kruszywem.

Zakres stosowania procedury obejmuje oznaczenie podatności kruszywa albo mieszaniny kruszywa i aktywnego dodatku mineralnego do betonu na wystąpienie szkodliwej reakcji alkalia-krzemionka. W wersji zmodyfikowanej procedurę wykorzystuje się do sprawdzenia potencjału wystąpienia reakcji alkalia-węglany. W przypadku badania kruszywa z dodatkiem mineralnym do mieszanki betonowej uzyskane wyniki wykorzystuje się do określenia minimalnej ilości danego dodatku do zapobiegania niszczącej ekspansji w betonie.

##### 2. BHP

Zagadnienia bezpieczeństwa i higieny pracy, których należy przestrzegać przy przeprowadzaniu badań, zostały szczegółowo opisane w ASTM C1293. Ustalenie właściwych procedur bezpieczeństwa i ochrony zdrowia leży w zakresie obowiązków użytkownika.

##### 3. Dokumenty powołane

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, American Association of State Highway and Transportation Officials

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

PN-EN 196-2 Metody badania cementu - Część 2: Analiza chemiczna cementu

PN-EN 196-3 Metody badania cementu - Część 3: Oznaczanie czasów wiązania i stałości objętości

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

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

PN-EN 932-5 Badania podstawowych właściwości kruszyw - Część 5: Wyposażenie podstawowe i wzorcowanie

PN-EN 1097-6 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw - Część 6: Oznaczanie gęstości ziarni nasiąkliwości

PN-EN 12350-2 Badania mieszanki betonowej – Część 2: Badanie konsystencji metodą opadu stożka

PN-EN 12350-6 Badania mieszanki betonowej – Część 6: Gęstość

PN-EN 12350-7 Badania mieszanki betonowej - Część 7: Badanie zawartości powietrza - Metody ciśnieniowe

PN-EN 12390-2 Badania betonu - Część 2: Wykonywanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych

PN-EN 13263-1+A1 Pył krzemionkowy do betonu - Część 1: Definicje, wymagania i kryteria zgodności

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

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

PN-ISO 565 Sita kontrolne - tkanina z drutu, blacha perforowana i blacha cienka perforowana elektrochemicznie - wymiary nominalne oczek

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

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, Nixon P.J. and Sims I. (Eds.), Springer, 2016

#### **4. Terminologia**

Zmiana długości - zwiększenie lub zmniejszenie wymiarów liniowych próbki badanej, mierzone równoległe do osi wzdłużnej.

#### **5. Aparatura**

5.1. Sita - o otworach kwadratowych, z materiału tkanego z drutu/ blachy perforowanej o wymiarach boku oczka 22,4; 16,0; 8,0; 4,0; 2,0; 1,0; 0,5; 0,25 i 0,125 mm, zgodne z PN-ISO 565.

5.2. Kruszarka laboratoryjna – kruszarka szczękowa i/lub kruszarka żarnowa.

5.3. Mieszarka laboratoryjna do betonu z obrotową misą, łopatką, zgarniak, stół wibracyjny.

5.4. Waga do 50 kg z dokładnością do 0,1 kg oraz waga do 5 kg z dokładnością do 0,1 g.

5.5. Komora wilgotnościowa – przeznaczona do przechowywania próbek betonowych w warunkach  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $\text{RH} > 95\%$ .



- 5.6. Formy - formy umożliwiające wykonanie trzech próbek o długości  $285\pm 10$  mm i boku  $75\pm 5$  mm. Końce płytek formy muszą mieć w centrum otwory umożliwiające wkręcenie stalowych czopików.
- 5.7. Pojemniki do przechowywania próbek powinny umożliwiać umieszczenie 3 próbek jednocześnie w pozycji pionowej, jednak dopuszczalne jest stosowanie pojemników, w których próbki układane są poziomo. Próbki umieszczone w pozycji pionowej nie mogą opierać się bezpośrednio na czopikach. Pojemniki wypełniane są wodą destylowaną lub dejonizowaną do wysokości  $25\pm 5$  mm. Próbki nie powinny dotykać do ścianek pojemnika ani do siebie nawzajem; powinny być tak podparte, aby znajdowały się 10 mm nad powierzchnią wody. Pojemniki powinny zapobiegać utracie wilgoci w wyniku parowania dzięki odpowiednio szczelnej nakrywie; wymaga się utrzymania wilgotności względnej powietrza w pojemnikach z próbkami  $RH > 95\%$  przez cały czas ich przechowywania w komorze termostatycznej.
- 5.8. Komora termostatyczna ze sterowaniem poziomu temperatury  $38,0\pm 2,0^{\circ}\text{C}$ .
- 5.9. Urządzenie pomiarowe - Przyrząd do pomiaru zmian długości stanowi okrągły mikrometr lub inny przyrząd pomiarowy z podziałką 0,001 mm i z dokładnością 0,003 mm. Zakres pomiarowy - przynajmniej  $\pm 10$  mm. Konstrukcja przyrządu powinna umożliwiać kontrolę urządzenia pomiarowego przy użyciu pręta referencyjnego z invaru. Zewnętrzna długość pręta kalibracyjnego powinna wynosić  $295\pm 3$  mm. Górny koniec pręta powinien być oznaczony strzałką lub (\*). Środkowa część na długości 100 mm powinna być pokryta gumową rurką o ścianach o grubości co najmniej 3 mm, w celu zmniejszenia wpływu zmian temperatury podczas pomiaru. Urządzenie pomiarowe o konstrukcji ulepszonej, wykonane z invaru w celu minimalizacji efektów termicznych, ze zmodyfikowanym sposobem mocowania próbki w celu minimalizacji niedokładności ułożenia czopików w gniazdach, pokazano w Załączniku 1.
- 5.10. Czopiki referencyjne - czopiki powinny być wykonane z materiału odpornego na korozję, kompatybilne z prętem referencyjnym i gniazdami w urządzeniu do pomiaru zmian długości próbek. Długość czopika powinna wynosić  $20\div 22,5$  mm, a część gwintowana (o średnicy 6 mm) nie mniej niż 6 mm.

## 6. Odczynniki

- 6.1. Wodorotlenek sodu (NaOH): klasa czystości - co najmniej techniczna.
- 6.2. Czystość wody: woda destylowana lub dejonizowana.

Ostrzeżenie: Przed użyciem NaOH należy skontrolować:

- środki bezpieczeństwa dotyczące stosowania NaOH;
- środki pierwszej pomocy w przypadku oparzeń;
- procedury postępowania w przypadku wycieku, jak to opisano w karcie charakterystyki substancji lub w innych dokumentach dotyczących zasad bezpieczeństwa. NaOH może powodować bardzo poważne oparzenia lub uszkodzenia niechronionej skóry lub oczu. Zawsze należy stosować właściwe środki ochrony osobistej. Środki powinny obejmować: całkowitą ochronę twarzy, gumowy fartuch i rękawice nieprzepuszczalne dla NaOH.

## 7. Warunki prowadzenia badań

- 7.1. Temperatura pomieszczenia, w którym następuje formowanie próbek betonu, a także przechowywanie suchych składników betonu i destylowanej wody zarobowej powinna być utrzymywana w zakresie  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . Po zaformowaniu próbki należy przechowywać w tej samej temperaturze oraz zapewnić warunki wysokiej wilgotności (RH co najmniej 90%). Pomiar początkowy wykonywane są bezpośrednio po rozformowaniu w warunkach laboratorium suchego (temperatura  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , RH > 50%).
- 7.2. Temperaturę w komorze termostatycznej, w której przechowywane będą pojemniki z próbkami betonowymi, należy utrzymywać w zakresie  $38 \pm 2^\circ\text{C}$ .

## 8. Pobieranie próbek kruszywa i przygotowanie próbek betonów

### 8.1. Wybór kruszywa

Do określenia reaktywności kruszywa należy przygotować jedną lub dwie z następujących kombinacji wypłukanych i wysuszonych kruszyw:

- (I) Badane kruszywo drobne połączone z niereaktywnym kruszywem grubym
- (II) Badane kruszywo grube połączone z niereaktywnym kruszywem drobnym

Niereaktywne kruszywo drobne lub grube jest dobierane na podstawie badania reaktywności wg Procedury Badawczej PB/1/18. Kryterium niereaktywności kruszywa w tym przypadku jest 14-dniowa zmiana długości próbek poniżej 0,05%.

W standardowej mieszance kruszywo drobne (0-4 mm) powinno stanowić 40% masy całego kruszywa, natomiast kruszywo grube (4-22) 60%. Udział masowy poszczególnych frakcji przedstawiony jest w Tabeli Z2.1.

Tabela Z2.1. Wymagane uziarnienie kruszywa

Wymiar boku oczka (mm)	Odsiew przesianego ziarna, %
22,4	100
16,0	75-95
8,0	45-70
4,0	35-55
2,0	25-45
1,0	20-35
0,5	10-25
0,25	4-12
0,125	1-8

Kruszywo, w którym nie występują wystarczające ilości poszczególnych frakcji, przekruszyć do uzyskania wymaganej ilości materiału. W przypadku kruszyw zawierających niewystarczającą ilość frakcji grubej wymienionych w Tabeli Z2.1, i jeżeli nie jest dostępny grubszy materiał do kruszenia, jest dopuszczalne, aby drobniejsza frakcja, która występuje w ilości wystarczającej do kruszenia, zawierała skumulowany udział procentowy materiału, aż do tego rozmiaru, jak to określono na podstawie klasyfikacji

podanej w Tabeli Z2.1. Kiedy kruszywo zostanie już rozfrakcjonowane do różnych rozmiarów sitowych, należy przemyć na sicie każdą z frakcji strumieniem wody w celu usunięcia pyłu i drobnych cząstek przylegających do ziaren kruszywa. Wysuszyć frakcje zatrzymane na różnych sitach i jeżeli nie będą użyte natychmiast, przechowywać każdą osobno w czystym pojemniku zaopatrzonym w ściśle przylegającą pokrywkę.

Naturalne kruszywo drobne (np. piasek) nie jest poddawane kruszeniu, jednak należy usunąć ziarna powyżej 4 mm oraz poniżej 125 µm.

Gdy brak frakcji 2-4 mm, zawartość frakcji 1-2 mm należy zwiększyć zgodnie z Tabelą Z2.1.

## 8.2. Wybór cementu:

8.2.1. Cement referencyjny - stosować cement portlandzki CEM I 52,5 lub 42,5, spełniający wymagania normy PN-EN 197-1, o minimalnej zawartości alkaliów  $0,9 \pm 0,1\%$ , wyrażonej jako ekwiwalent tlenku sodu  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$  ( $\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \times \text{K}_2\text{O}$ ). Dodatkowo, stałość objętości oznaczona metodą Le Chateliera (PN-EN 196-3) powinna wykazywać wzrost rozstawu końcówek pomiarowych  $< 2\text{mm}$  lub, alternatywnie, cement powinien spełniać wymagania ograniczonej ekspansji według metody ASTM C151/C151M (metoda autoklawowa) nie większej niż 0,20%. Miałkość cementu oznaczona metodą PN-EN 196-6 powinna być nie mniejsza niż  $450 \text{ m}^2/\text{kg}$ , a wytrzymałość 2-dniowa na ściskanie nie mniejsza niż 30,0 MPa zgodnie z PN-EN 197-1<sup>3</sup>. Aby zwiększyć zawartość alkaliów w mieszance, do  $1,25 \pm 0,05\%$  masy cementu, wyrażoną jako ekwiwalent  $\text{Na}_2\text{O}$ , należy dodać NaOH do wody zarobowej.

8.2.2. Przechowywanie cementu – cement przechowywać w szczelnych opakowaniach zabezpieczających go przed oddziaływaniem wilgoci. W przypadku cementu przechowywanego dłużej niż 6 miesięcy należy potwierdzić spełnianie wymagań zdefiniowanych w p. 8.3.1. Przed zastosowaniem cement przesiać przez sito 250 µm celem usunięcia ewentualnych zbryleń.

*Uwaga: Zawartość alkaliów wyrażona jako ekwiwalent  $\text{Na}_2\text{O}$  równy 1,25% została przyjęta, aby przyspieszyć proces ewentualnej ekspansji, a nie aby odzwierciedlić warunki zastosowań praktycznych. Przy zawartości cementu  $420 \text{ kg}/\text{m}^3$  odpowiada to zawartości  $5,25 \text{ kg}/\text{m}^3$  alkaliów w mieszance betonowej.*

## 8.3. Przygotowanie próbek betonowych:

8.3.1. Liczba próbek betonowych - Przygotować co najmniej trzy próbki dla każdej kombinacji kruszywa.

8.3.2. Przygotowanie form - wewnętrzna powierzchnia formy powinna być pokryta środkiem antyadhezyjnym, który nie wpłynie na wiązanie cementu ani nie będzie hamować przenikania wody do próbki. Nie pokrywać środkiem antyadhezyjnym stalowych czopików.

### 8.3.3. Proporcje mieszanki betonowej

8.3.3.1. Zawartość cementu  $420 \pm 10 \text{ kg}/\text{m}^3$ .

---

<sup>3</sup> Materiał referencyjny do badań spełniający wyszczególnione wymagania można nabyć w Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytucie Ceramiki i Materiałów Budowlanych, ul. Cementowa 8, 31-983 Kraków, +48 12 683 79 11, sekretariat@icimb.lukasiewicz.gov.pl

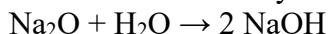
- 8.3.3.2. Powyższą zawartość cementu stosuje się w wersji podstawowej procedury, gdy ocenie poddawana jest podatność kruszywa na reakcję alkalia-krzemionka w betonie. W wersji z dodatkiem mineralnym, gdy ocenie poddawana jest kombinacja kruszywa i dodatku mineralnego w mieszance betonowej, należy zastąpić część masy cementu odpowiednią masą dodatku mineralnego. Dodatki mineralne powinny wykazywać zgodność z odpowiednimi normami: PN-EN 206, PN-EN 450-1 (popiół lotny), PN-EN 15167-1 (granulowany żużel wielkopiecowy).
- 8.3.3.3. Współczynnik wodno-cementowy ( $w/c$ ) należy utrzymać w przedziale od 0,42 do 0,45. Współczynnik  $w/c$  należy wybrać tak, aby osiągnąć wystarczającą urabialność mieszanki, która pozwoli na odpowiednie jej zagęszczenie w formach. Jeżeli niemożliwe jest uzyskanie odpowiedniej urabialności mieszanki albo pojawia się nadmierny bleeding lub segregacja, można zastosować plastyfikator lub domieszkę modyfikującą lepkość. Należy zanotować współczynnik  $w/c$  oraz rodzaj i zawartość domieszki, jeżeli taką stosowano. W przypadku stosowania aktywnego dodatku mineralnego do betonu, współczynnik wodno-cementowy  $w/c$  zastępuje się współczynnikiem  $w/s$ , gdzie  $s$  jest sumą masy cementu i masy dodatku mineralnego.
- 8.3.3.4. Dodatek NaOH do wody zarobowej - rozpuścić wodorotlenek sodu w wodzie zarobowej w takiej ilości, aby zawartość  $Na_2O_{eq}$  wynosiła 1,25% masy cementu.

*UWAGA – Przykładowy sposób obliczenia ilości NaOH, jaką trzeba dodać do mieszanki betonowej w celu zwiększenia zawartości alkaliów w cemencie z poziomu 0,90% do 1,25%:*

**a) Spoiwo = 100% cement**

---

Zawartość cementu na 1 m<sup>3</sup> = 420 kg  
Zawartość cementu w betonie = 420 kg  
Zawartość alkaliów w betonie = 420 kg x 0,90% = 3,78 kg  
Wymagana zawartość alkaliów w betonie = 420 kg x 1,25% = 5,25 kg  
Ilość alkaliów niezbędna do dodania do mieszanki betonowej = 5,25 kg - 3,78 kg = 1,47 kg  
Wyliczona ilość alkaliów jaką należy dodać do mieszanki betonowej (1,47 kg) wyrażona jako  $Na_2O_{eq}$ . Poniżej podano sposób przeliczenia wartości wyrażonej w  $Na_2O$  na NaOH:



Składnik	Masa molowa
$Na_2O$	61,98
NaOH	39,997

Współczynnik przeliczenia wartości wyrażonej w  $Na_2O$  na NaOH:  $2 \times 39,997/61,98 = 1,291$

Ilość NaOH jaką należy dodać do mieszanki betonowej:

$$1,47 \times 1,291 = 1,898 \text{ kg/m}^3$$

**b) Spoiwo = 80% cement + 20% popiół lotny krzemionkowy**

---

Zawartość cementu na 1 m<sup>3</sup> = 420 kg  
Zawartość popiołu lotnego w betonie = 420 kg x 0,2 = 84 kg  
Zawartość cementu w betonie = 420 kg x 0,8 = 336 kg  
Zawartość alkaliów w betonie = 336 kg x 0,90% = 3,02 kg  
Wymagana zawartość alkaliów w betonie = 336 kg x 1,25% = 4,20 kg  
Ilość alkaliów niezbędna do dodania do mieszanki betonowej = 4,20 kg - 3,02 kg = 1,18 kg

Wyliczona ilość alkaliów jaką należy dodać do mieszanki betonowej (1,18 kg) jest wyrażona jako  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ .

Ilość NaOH jaką należy dodać do mieszanki betonowej:

$$1,18 \times 1,291 = 1,523 \text{ kg/m}^3$$

8.3.3.5. W przypadku procedury zmodyfikowanej, przeznaczonej do rozpoznania reaktywności alkalia-węglany, zawartość cementu pozostaje bez zmian. Modyfikacja dotyczy zawartości alkaliów w mieszance betonowej: zamiast  $5,25 \text{ kg/m}^3$  jak w wersji podstawowej procedury, należy ją obniżyć do  $1,80 \text{ kg/m}^3$ . Zamiast cementu referencyjnego wskazanego w p.8.2, należy zastosować cement o odpowiednio małej zawartości alkaliów, przy zachowaniu niezmiennych wymagań na pozostałe właściwości cementu.

#### 8.3.4. Mieszanie składników

Przed rozpoczęciem mieszania należy zwilżyć wodą misę obrotową w mieszarce laboratoryjnej. Następnie należy postępować wg schematu przedstawionego w Tabeli Z2.2.

Tabela Z2.2. Kolejność oraz czas mieszania składników

Dodawanie składników w kolejności:	Czas po którym należy dodać poszczególne składniki od momentu rozpoczęcia (s)	Całkowity czas mieszania (s)
Kruszywo drobne + kruszywo grube	0	60
1/2 wody + dodatek NaOH	60	120
(Przerwa)	120	180
Cement + 1/2 wody (+ plastyfikator, jeśli jest to konieczne)	180	300

Konsystencję mieszanki należy określić na podstawie pomiaru opadu stożka. Opad powinien wynosić od 100 do 180 mm, nie powinien się przekraczać maksymalnej wartości nawet w przypadku użycia superplastyfikatora. Należy też wykonać pomiary zawartości powietrza w mieszance oraz wyznaczyć gęstość mieszanki stosując metody normowe, PN-EN 12350-2, PN-EN 12350-6, PN-EN 12350-7.

#### 8.3.5. Formowanie próbek betonowych

Formy powinny być pokryte środkiem antyadhezyjnym, należy unikać zbyt dużego ich użycia i nie pokrywać nim stalowych czopików. Mieszankę betonową należy układać w formach w dwóch równych warstwach, zagęszczając wibracyjnie, wg PN-EN 12390-2. W miarę możliwości unikać wygładzania próbek po zawibrowaniu. Z jednej mieszanki betonowej wykonać trzy próbki betonowe. Zaformowane próbki przechowywać w temperaturze  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  w warunkach wysokiej wilgotności ( $\text{RH} > 90\%$ , najlepiej przykryte szczelnie folią) przez  $24 \pm 1$  h. Bezpośrednio po zaformowaniu oraz przed rozformowaniem należy zważyć próbki w formach, by upewnić się, że nie przekroczono dopuszczalnego ubytku wody w trakcie 24 h dojrzewania próbek.

## 9. Procedura badania

- 9.1. Pomiar początkowy (zerowy) - zaraz po wyjęciu próbek z formy (po  $24 \pm 1$  h) wykonać pomiar początkowy długości próbek oraz ich masy. Następnie próbki umieścić w pojemnikach do przechowywania opisanych w pkt. 5.7.
- 9.2. Dalsze przechowywanie pojemników z próbkami - w komorze termostatycznej w temperaturze  $38 \pm 2^\circ\text{C}$  przy zachowaniu warunków wysokiej wilgotności względnej powietrza w pojemnikach z próbkami  $\text{RH} > 95\%$ .
- 9.3. Dalsze pomiary - wykonywać okresowo kolejne odczyty zmian liniowych długości próbek betonowych ( $L_x$ ) oraz masy próbek ( $m_x$ ) po upływie 7 i 28 dni oraz 2, 8, 13, 26 i 52 tygodni od zaformowania. Nie należy wykonywać pomiarów pośrednich. W przypadku wolno reagujących kruszyw, bazując na lokalnym doświadczeniu, można wydłużyć czas przechowywania próbek w komorze termostatycznej do 2 lat, z pomiarem co 3 miesiące w okresie drugiego roku. Przed każdym pomiarem wyjąć pojemniki z próbkami z komory termostatycznej i przełożyć do komory wilgotnościowej na  $16 \pm 4$ h, temp.  $20^\circ\text{C}$ ,  $\text{RH} > 95\%$ . Probki wyjmować z pojemników bezpośrednio przed pomiarem. Pomiar wykonywać w pomieszczeniu o temperaturze  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  i wilgotności względnej nie mniejszej niż 50%. Po każdym pomiarze próbki umieszczać na podkładkach w pojemniku. Dodatkowo, aby zredukować zjawisko wymywania alkaliów z próbek betonowych, co 2 tygodnie wszystkie próbki należy obracać o  $180^\circ$  ( $\uparrow\downarrow$ ) jeżeli przechowywane są w pionie lub o  $90^\circ$  zgodnie z ruchem wskazówek zegara, jeżeli przechowywane są w poziomie. Jeśli występuje utrata wody w wyniku parowania, należy uzupełnić braki wodą destylowaną.

### 9.4. Wymywanie alkaliów z betonu

Zastosowanie wody destylowanej lub dejonizowanej do utrzymania warunków wysokiej wilgotności podczas przechowywania próbek w pojemniku umożliwia monitorowanie stężenia alkaliów wymytych z betonu. Zaleca się kontrolne przeprowadzanie pomiarów pH wody znajdującej się w pojemnikach po 1, 3, 6 i 12 miesiącach, by sprawdzić czy z obojętnego zmienia się w zasadowy. Więcej informacji dotyczącej stężenia alkaliów w wodzie mogą dostarczyć bardziej zaawansowane metody pomiarowe, jak ICP-MS (spektroskopia mas sprzężona z plazmą wzbudzaną indukcyjnie) lub fotometria płomieniowa. W celu przeprowadzania tych badań należy pobrać próbkę wody z pojemnika (100 ml) i przekazać do kompetentnego laboratorium. Probki wody należy umieścić w jałowym pojemniku, szczelnie zamknięte. Jeśli próbki nie będą badane bezpośrednio po pobraniu, powinny zostać schłodzone do temperatury ok.  $10^\circ\text{C}$  (w lodówce). Probki należy chronić przed światłem słonecznym i przegrzaniem, zwłaszcza podczas transportu. Ze względu na wysoki koszt badań zaleca się ich przeprowadzenie po 3, 6 i 12 miesiącach.

## 10. Obliczenia

Obliczyć różnicę pomiędzy pomiarem zerowym długości próbki a pomiarem długości w każdym okresie przechowywania w zaokrągleniu do 0,001% efektywnej odległości pomiędzy końcami czopików umieszczonymi w próbce i zarejestrować jako ekspansję próbki dla tego okresu przechowywania. Przedstawić średnią ekspansję trzech próbek betonowych w przypadku danej kombinacji kruszywa z dokładnością do 0,01% jako ekspansję w danym okresie. Zmianę długości badanej próbki oblicza się następująco:

$$\Delta L = \frac{L_x - L_0}{G} * 100\%$$

$\Delta L$  - zmiana długości próbki [%],

$L_x$  - długość próbki po upływie czasu  $x$  [mm],

$L_0$  - długość zerowa próbki (pomiar po 24 h) [mm],

$G$  - odległość pomiędzy wewnętrznymi końcami czopików metalowych umieszczonych w betonie [mm], z dokładnością do 0,1 mm.

*Uwaga<sup>4</sup>: W początkowym okresie badania zmian długości próbek (do 90 dni) można zaobserwować wpływ skurczu betonu, który ujawnia się zmniejszeniem ekspansji. Niewielki skurcz na tym etapie badania można pominąć. Skurcz występujący po upływie 90 dni nie jest pomijalny i w takiej sytuacji badanie należy powtórzyć.*

Obliczyć zmiany masy próbek betonowych ( $\Delta m$ ) w każdym okresie przechowywania zgodnie ze wzorem:

$$\Delta m = \frac{m_x - m_0}{m_0} * 100\%$$

$m_x$  - masa próbki po upływie czasu  $x$  [g],

$m_0$  - masa zerowa próbki (pomiar po 24 h) [g].

Przedstawić średnią zmianę masy z trzech próbek betonowych.

## 11. Dopuszczalna różnica między wynikami

### 11.1. Badania wykonane w różnych laboratoriach

Zgodnie z objaśnieniem w ASTM C 1293 pkt. 13 odchylenie standardowe od średniej z pomiarów 3 próbek nie powinno być większe niż 0,0032% przy średniej ekspansji poniżej 0,014%. Wyniki dwóch prawidłowo wykonanych badań tego samego kruszywa nie powinny się różnić więcej niż o 0,009%.

Przy średniej ekspansji powyżej 0,014% współczynnik zmienności pomiarów 3 próbek nie powinien być większy niż 23%. Wyniki dwóch prawidłowo wykonanych badań tego samego kruszywa nie powinny się różnić więcej niż o 65%.

### 11.2. Badania wykonane w tym samym laboratorium

Przy średniej ekspansji poniżej 0,02% odchylenie standardowe wyników badania nie powinno być większe niż 0,0025%. W związku z tym różnica pomiędzy największym i najmniejszym wynikiem z trzech pojedynczych próbek nie powinna być większa niż 0,008%.

Przy średniej ekspansji powyżej 0,02% współczynnik zmienności pomiarów 3 próbek nie powinien być większy niż 12%. W związku z tym różnica pomiędzy największą i najmniejszą zmianą długości próbki z serii trzech próbek nie powinien być większy niż 40% średniej.

---

<sup>4</sup>Uzupełnienie odnośnie do D-05.03.04. Załącznik 2

- 11.3. Niepewność rozszerzona pomiaru oszacowana na podstawie testów statystycznych Zakładu Betonów, Zapraw i Kruszyw, OSiMB-ICiMB na poziomie ufności 95% i współczynnika  $k=2$  wynosi  $\pm 0,012\%$  przy oczekiwanej ekspansji 0,043%.

## 12. Ocena

Ocenę reaktywności kruszywa na podstawie średniej zmiany długości próbek betonu po 365 dniach przechowywania w temperaturze 38°C w warunkach wysokiej wilgotności przeprowadza się zgodnie z poniższą tabelą, dotyczącą kruszywa grubego i kruszywa drobnego:

Kategoria reaktywności kruszywa	Opisowe określenie reaktywności	365-dniowa zmiana długości próbek [%]
R0	niereaktywne	$\leq 0,04$
R1	umiarkowanie reaktywne	$>0,04 ; \leq 0,12$
R2	silnie reaktywne	$>0,12 ; \leq 0,24$
R3	bardzo silnie reaktywne	$>0,24$

## 13. Sprawozdanie

W sprawozdaniu przedstawić następujące informacje:

1. Rodzaj i źródło grubego i drobnego kruszywa oraz stosowane uziarnienie kruszywa grubego.
2. Rodzaj i źródło cementu portlandzkiego.
3. Zawartość alkaliów w cemencie (zawartość tlenu potasu, tlenu sodu, i wyliczone  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ ).
4. Rodzaj, pochodzenie i zawartość (procent masy cementu) stosowanego dodatku mineralnego (jeżeli ma zastosowanie).
5. Zawartość dodanej domieszki do betonu, jeżeli taką stosowano (plastyfikator lub domieszka modyfikująca lepkość).
6. Skład mieszanki betonowej.
7. Ilość dodanego NaOH do wody zarobowej wyrażonej jako %  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$  w stosunku do masy cementu.
8. Współczynnik  $w/c$ .
9. Właściwości mieszanki: konsystencja (opad stożka), gęstość, zawartość powietrza.
10. Średnia zmiana długości próbek w danym terminie odczytu i pojedyncze zmiany długości każdej próbki wyrażone w %.
11. Zmiany zaobserwowane na powierzchni próbek, w trakcie badań oraz po zakończeniu (np. spękania, wypływ żelu, obwódki wokół ziaren).
12. Rodzaj pojemnika do przechowywania próbek oraz rodzaj urządzenia utrzymującego temperaturę w zakresie  $38 \pm 2^\circ\text{C}$ , o ile różnią się od urządzeń wyspecyfikowanych powyżej.

## 14. Interpretacja wyników badania, modyfikacja procedury<sup>5</sup>

- 14.1. W przypadku klasyfikacji kruszywa jako co najmniej umiarkowanie reaktywne (patrz p.12) należy wykazać, że zaobserwowane wydłużenie próbek betonu (nadmierna

<sup>5</sup> Uzupełnienie w stosunku do D-05.03.04. Załącznik 2



ekspansja) jest wynikiem reakcji alkalia-krzemionka. W tym celu należy przeprowadzić analizę petrograficzną wg ASTM C856 betonu w próbkach po zakończeniu badania według niniejszej procedury. Celem analizy petrograficznej jest potwierdzenie obecności składników reaktywnych w ziarnach kruszywa oraz identyfikacji produktów reakcji alkalia-krzemionka.

- 14.2. W przypadku kruszyw umiarkowanie reaktywnych można stosować środki zaradcze w postaci dodatków mineralnych (pucolana lub żużel), aby zapobiegać szkodliwej ekspansji betonu. Ilość zastosowanego dodatku mineralnego do mieszanki betonowej, przeznaczonej do budowy obiektu w rzeczywistych warunkach eksploatacji, powinna wynosić, co najmniej tyle ile wynosił ich dodatek podczas badania próbek betonowych zgodnie z niniejszą procedurą. Średnia ekspansja próbek betonowych, wykonanych z dodatkiem mineralnym, po 2 latach badania zgodnie z niniejszą procedurą powinna być mniejsza niż 0,04%, aby uznać skuteczność zapobiegania szkodliwej reakcji alkalia-krzemionka.
- 14.3. W przypadku kruszywa, w którym stwierdzono występowanie składników potencjalnie podatnych na reakcję alkalia-węglany, dodatkowo wykonuje się badanie ekspansji próbek betonu wg zmodyfikowanej procedury PB/2/18. Modyfikacja procedury polega na obniżeniu zawartości alkaliów w mieszance betonowej z  $5,25 \text{ kg/m}^3$  do  $1,80 \text{ kg/m}^3$  przez zastąpienie wskazanego cementu innym o odpowiednio obniżonej zawartości alkaliów. Badanie przeprowadza się przy jednej kombinacji składu kruszyw: badane kruszywo grube połączone z niereaktywnym kruszywem drobnym. Należy zwiększyć liczbę próbek betonu do 6. Pozostałe wymagania odnośnie do właściwości cementu, przygotowania kruszywa, wykonania próbek betonu i ich przechowywania pozostają niezmiennie. Sprawdzenie podatności na reakcję alkalia-węglany dokonuje się na podstawie wydłużenia próbek betonu o składzie zmodyfikowanym j.w. po 12 miesiącach przechowywania. Jeżeli średnie wydłużenie próbek betonu wyniesie 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 przypadku małej różnicy średniego wydłużenia próbek betonu w odniesieniu do kryterium 0,03%, mieszczącej się w granicach niepewności pomiaru, niezbędna jest opinia eksperta wykluczająca możliwość wystąpienia reakcji alkalia-węglany.

## Załącznik 3

### Procedura badawcza GDDKiA PB/3/18

#### Zalecenia dotyczące analizy petrograficznej kruszywa

##### 1. Zalecenia ogólne

**1.1.** Przedmiotem analizy petrograficznej jest identyfikacja skał oraz składników potencjalnie reaktywnych oraz rozpoznanie produktów reakcji alkalia-krzemionka w próbkach zaprawy lub próbkach betonu po zakończeniu badania wg Procedur Badawczych GDDKiA PB/1/18, PB/2/18, PB/4/18 oraz PB/5/18.

Rozpoznanie produktów reakcji ASR ma na celu potwierdzenie, że przyczyną niszczącej ekspansji jest reakcja alkalia-krzemionka. Zaobserwowane składniki potencjalnie reaktywne w kruszywie oraz produkty reakcji alkalia-krzemionka w próbkach zaprawy lub betonu należy udokumentować w postaci mikrofotografii wraz z opisem.

**1.2.** Analiza petrograficzna swoim zakresem obejmuje: uproszczony opis petrograficzny wg PN EN 932-3, identyfikację składników potencjalnie reaktywnych wg ASTM C295/RILEM AAR-1.1 na cienkich szlifach (*Uwaga 1*), identyfikację produktów reakcji alkalia-krzemionka wg ASTM C856. Badania należy przeprowadzić zgodnie z wymaganiami ww. norm/dokumentów z zastosowaniem niniejszych zaleceń.

*Uwaga 1: W przypadku niektórych składników potencjalnie reaktywnych ich identyfikacja wymaga zastosowania dodatkowych metod instrumentalnych np.: analiza rentgenograficzna (XRD), analiza termiczna różnicowa (DTA), mikroskopia skaningowa (SEM/EDX), spektroskopia w podczerwieni i inne.*

**1.3.** Zaleca się, aby analiza petrograficzna była wykonywana przez wykwalifikowanego geologa (petrografa) potrafiącego sporządzić pełny opis petrograficzny, doświadczonego w identyfikacji skał oraz składników potencjalnie reaktywnych. Dodatkowo, podkreśla się, że wiarygodność uzyskanych wyników analizy zależy od reprezentatywności próbki dostarczonej do badań (patrz pp. 1.4). Osobie wykonującej analizę petrograficzną (geolog, petrograf) należy udostępnić niezbędne informacje dotyczące badanego kruszywa tj.: pochodzenie kruszywa (nazwa złoża) oraz jego końcowe zastosowanie.

**1.4.** Próbka do analizy petrograficznej musi być reprezentatywna (*Uwaga 2*), pobrana z tej samej partii i w tym samym czasie, co próbka pobrana do badania reaktywności alkalicznej wg PB/1/18. Próbkę należy pobierać zgodnie z normą PN-EN 932-1, pomniejszać zgodnie z normą PN-EN 932-2. Próbka dostarczona do laboratorium musi posiadać protokół pobrania wraz z zapisem, że została pobrana zgodnie z normą PN-EN 932-1.

*Uwaga 2: Jeżeli próbka dostarczona do badań nie jest reprezentatywna dalsze czynności podjęte w celu zapewnienia reprezentatywności próbki nie mają znaczenia. Brak reprezentatywności próbki na etapie dostawy do badań skutkuje uzyskaniem błędnej analizy.*

## 2. Zalecenia do rozszerzenia uproszczonego opisu petrograficznego wg PN-EN 932-3

Uproszczony opis petrograficzny należy przeprowadzić zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 932-3. W przypadku analizy kruszyw niejednorodnych petrograficznie (żwir, kruszywa łamane z otoczków rzeczno-lodowcowych) konieczne jest określenie składu petrograficznego metodą zliczania ziaren wg p. 7.2 PN-EN 932-3. W trakcie określania składu petrograficznego należy zwrócić szczególną uwagę na zawartość skał mogących zawierać składniki potencjalnie reaktywne alkalicznie, które zostały wymienione w p. 3. W przypadku kruszyw o uziarnieniu ciągłym konieczne może być rozdzielenie kruszywa na poszczególne frakcje.

## 3. Zalecenia do identyfikacji składników potencjalnie reaktywnych wg ASTM C295/RILEM AAR-1.1 na cienkich szlifach

Wielkość próbki do identyfikacji składników potencjalnie reaktywnych powinna być zgodna z wymaganiami RILEM AAR-1.1 (p. 5.2 Tabela 1-2). Próbkę do wykonania preparatów mikroskopowych należy przygotować zgodnie z p. 5.3 RILEM AAR-1.1 oraz CUR Recommendation 89 Measures to prevent damage to concrete by alkali-silica reaction.

Preparaty mikroskopowe powinny być wykonane przez szlifierza posiadającego doświadczenie w preparatyce mikroskopowej w zakresie przygotowania cienkich szlifów. Preparaty mikroskopowe powinny mieć grubość średnio w granicach od 20 do 30  $\mu\text{m}$  przy odchyleniu od średniej w granicach  $\pm 3 \mu\text{m}$ . Należy przygotować odpowiednią liczbę preparatów, aby analiza objęła reprezentatywną ilość materiału (patrz Tabela Z3.1).

Odpowiednia liczba preparatów mikroskopowych ma szczególne znaczenie w przypadku kruszyw niejednorodnych petrograficznie (tj. żwir, kruszywa łamane rzeczno-lodowcowe).

W identyfikacji minerałów potencjalnie reaktywnych pomocny jest atlas petrograficzny RILEM Petrographic Atlas: Characterisation of Aggregates Regarding Potential Reactivity to Alkalis.

**Tabela Z3.1. Wymagana ilość materiału jaką powinny zawierać preparaty mikroskopowe (cienkie szlify) do identyfikacji składników potencjalnie reaktywnych (wg RILEM TC 191-APR)**

Kruszywo grube (frakcji > 4 mm po kruszeniu do frakcji < 4 mm)	Liczba ziaren jaką powinien zawierać preparat mikroskopowy	Masa/liczba preparatów odpowiadająca określonej liczbie ziaren przy normalnej gęstości kruszywa
frakcja, mm		
2-4	150	7,5 g
0,063-2	1500	1 preparat mikroskopowy o wymiarach 50 x 30 mm lub 2 preparaty mikroskopowe o wymiarach 20 x 30 mm

### 3.1. Składniki potencjalnie reaktywne oraz skały, w których mogą występować.

Do składników potencjalnie reaktywnych zaliczamy:

- opal,
- chalcedon,
- kwarc mikrokrystaliczny (wielkość kryształów < 0,100 mm),
- kwarc kryptokrystaliczny (wielkość kryształów < 0,010 mm),
- kwarc odkształcony (kwarc wykazuje smużyste wygaszania światła),
- kwarc wykazujący obwódki regeneracyjne,
- szkliwo wulkaniczne (w tym zdewitryfikowane szkliwa wulkaniczne),
- naturalne szkła kwarcowe (fulguryt, lechatelieryt),
- trydymit,
- cristobalit,
- stiszowit,
- koezyt,
- syntetyczne szkło krzemionkowe.

Wyżej wymienione składniki mogą występować w takich skałach jak:

- skały magmowe - wulkaniczne (np. bazalty, melafiry, diabazy, porfiry),
- skały magmowe - głębinowe (granity i granodioryty, dioryty),
- skały metamorficzne (np. gnejsy, łupki metamorficzne, kwarcyty),
- skały osadowe: piaskowce, szarogłazy, mułowce, pyłowce, łupki osadowe, kwarcyty,
- skały osadowe – węglanowe: wapienie, wapienie dolomityczne, dolomity wapniste, dolomity,
- skały przejściowe pomiędzy skałami węglanowymi a okruchowymi: wapienie margliste, margle, iłowce margliste, iłowce,
- skały przejściowe pomiędzy skałami węglanowymi a krzemionkowymi: opoki,
- skały przejściowe pomiędzy skałami krzemionkowymi a okruchowymi: gezy wapienne,
- skały osadowe krzemionkowe pochodzenia organogenicznego: ziemia okrzemkowa, diatomity, radiolaryty, spongiolity,
- skały osadowe krzemionkowe pochodzenia chemogenicznego: krzemień, czert, rogowiec.

W tabeli Z3.2 zestawiono skały wraz z wykazem składników potencjalnie reaktywnych, które mogą w nich występować i na które należy zwrócić uwagę podczas identyfikacji składników potencjalnie reaktywnych na cienkich szlifach.

**Tabela Z3.2. Zestawienie skał mogących zawierać składniki potencjalnie reaktywne wraz ze wskazaniem jakie składniki potencjalnie reaktywne należy zwrócić uwagę podczas analizy petrograficznej w mikroobszarze na cienkich szlifach**

Nazwa skały	Składnik potencjalnie reaktywny	Uwagi
porfir kwarcowy (ryolit, ryodacyt, dacyt)	kwarc mikrokrystaliczny i/lub kryptokrystaliczny tworzący często masę kwarcowo-skalieniową, szkliwo wulkaniczne, trydymit lub cristobalit	
bazalt, melafir, diabaz	szkliwo wulkaniczne, trydymit, cristobalit, opal, chalcedon, wtórny kwarc (powstały przez rekrytalizację szkliwa wulkanicznego)	opal i chalcedon może stanowić wypełnienie pęcherzyków lub żyłki z mineralizacją
gnejs, łupek metamorficzny	kwarc odkształcony i/lub kwarc rekrytaliczny wykazujący słaby stopień krystalizacji granic pomiędzy ziarnami kwarcu, kwarc mikrokrystaliczny i/lub kryptokrystaliczny	
kwarcyt	kwarc odkształcony, kwarc rekrytaliczny wykazujący słaby stopień krystalizacji granic pomiędzy ziarnami kwarcu, kwarc mikrokrystaliczny i/lub kryptokrystaliczny	
amfibolit	kwarc odkształcony, kwarc mikrokrystaliczny i/lub kryptokrystaliczny,	
hornfleks	kwarc mikrokrystaliczny i/lub kryptokrystaliczny	
granit, granodioryt, dioryt	kwarc odkształcony, kwarc mikrokrystaliczny i/lub kryptokrystaliczny	
piaskowiec, szarogłaz, mułowiec, pyłowiec, łupek osadowy	kwarc odkształcony, kwarc mikrokrystaliczny i/lub kryptokrystaliczny, opal, chalcedon	chalcedon często stanowi spoiwo w piaskowcu wykształcone w postaci rozet
wapień, wapień dolomityczny, dolomit wapnisty, dolomit	kwarc mikrokrystaliczny i/lub kryptokrystaliczny, opal, chalcedon	
opoka	kwarc mikrokrystaliczny i/lub kryptokrystaliczny, opal rzadziej chalcedon	często zawierają szczątki organiczne (zwłaszcza igły gąbek)
geza wapienna	kwarc mikrokrystaliczny i/lub kryptokrystaliczny, opal, cristobaolit	zawierają zmienne ilości krzemionkowych elementów szkieletowych (spikule gąbek, szkieleciki radiolari i/lub okrzemek)
ziemia okrzemkowa, diatomit, radiolaryt, spongiolit,	chalcedon, opal, kwarc mikrokrystaliczny i/lub krypto krystaliczny	ziemia okrzemkowa – głównym składnikiem jest opal

<b>Nazwa skały</b>	<b>Składnik potencjalnie reaktywny</b>	<b>Uwagi</b>
krzemień, czert, rogowiec	chalcedon, opal, kwarc mikrokrystaliczny i/lub krypto krystaliczny	krzemień i chalcedon – głównie chalcedon rzadziej opal

#### 4. Zalecenia do analizy kruszyw węglanowych

Z uwagi na możliwość wystąpienia w niektórych kruszywach węglanowych reakcji alkalia-węglany należy przeprowadzić analizę składu mineralnego kruszywa, aby określić zawartość minerałów węglanowych, a także innych minerałów (zanieczyszczeń), zwłaszcza minerałów ilastych. Należy stosować się do wskazówek zawartych w zaleceniach RILEM AAR-0 i AAR-1.1. Na mikroskopowych obrazach cienkich szlifów, posługując się cyfrową analizą obrazu, należy określić wielkość romboidalnych kryształów dolomitu oraz występowanie składników potencjalnie reaktywnych.

Należy obligatoryjnie określić skład chemiczny kruszywa: zawartość  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  i  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , wykonując badania wg normy PN-EN 196-2, metodą XRF. Do wyznaczenia zawartości minerałów węglanowych można też wykorzystać: termiczną analizę różnicową (TG-DSC lub TG-DTA) i/lub rentgenowską analizę dyfrakcyjną XRD.

Jeżeli analizowane kruszywo węglanowe zawiera znaczące ilości dolomitu (co najmniej 40%) i minerałów ilastych (co najmniej 5%), może wykazywać potencjał do wystąpienia reakcji alkalia-węglany. Wystąpieniu szkodliwej reakcji alkalia-węglany sprzyja także charakterystyczna tekstura kruszywa: występowanie rombów kryształów dolomitu o wielkości w zakresie od 20 do 50  $\mu\text{m}$  w drobnoziarnistej matrycy zbudowanej z kalcytu mikrokrystalicznego i minerałów ilastych.

Jeżeli w wapieniu o zawartości  $\text{CaCO}_3 > 95\%$  (obliczonej na podstawie zawartości  $\text{CaO}$ ) 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. Jeżeli w dolomicie 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  $\text{MgO}$ ) przekracza 95%, to kruszywo nie jest podatne na reakcję ACR.

W przypadkach wątpliwych analizę petrograficzną można rozszerzyć o badania składu chemicznego kruszywa wg normy CAN/CSA A23.2-26A i wykorzystać wskazania tej normy.

#### 5. Dokumenty powołane

ASTM C295 Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete

ASTM C856 Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete

CAN/CSA A23.2-26A Determination of Potential Alkali-Carbonate Reactivity of Quarried Carbonate Rocks by Chemical Composition

CUR Recommendation 89 Measures to prevent damage to concrete by alkali-silica reaction. Official English translation, Gouda, 2008

Manecki A., Makuszyński M., Przewodnik do petrografii, AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków, 2008

Petrographic Atlas: Characterisation of Aggregates Regarding Potential Reactivity to Alkalis, RILEM TC 219-ACS Recommended Guidance AAR-1.2, for Use with the RILEM AAR-1.1 Petrographic Examination Method, Fernandes, I., Ribeiro, M.d.A., Broekmans, M.A.T.M., Sims, I. (Eds.), Springer, 2016

PN-EN 196-2 Metody badania cementu - Część 2: Analiza chemiczna cementu

PN-EN 932-1 Badania podstawowych właściwości kruszyw - Metody pobierania próbek

PN-EN 932-2 Badania podstawowych właściwości kruszyw - Metody pomniejszania próbek laboratoryjnych

PN EN 932-3 Badania podstawowych właściwości kruszyw - Procedura i terminologia uproszczonego opisu petrograficznego

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

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

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

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, *Nixon P.J.* and *Sims I.* (Eds.), Springer, 2016

RILEM TC 191-APR: Alkali-reactivity and prevention – Assessment, specification and diagnosis of alkali-reactivity, *Materials and Structures*, Vol. 36, August-September 2003, pp. 480-496



## Załącznik 4

### Procedura Badawcza GDDKiA PB/4/18

#### Określenie potencjalnej reaktywności mieszaniny cementu, dodatków mineralnych i kruszyw według zmodyfikowanej metody ASTM C1567

##### 1. Przedmiot i zakres

1.1. Procedura pozwala na określenie szkodliwości reakcji alkalia krzemionka dla kombinacji materiałów wiążących i kruszyw. Sposób postępowania oparty jest na metodzie przedstawionej w normie ASTM C1567 oraz RILEM AAR-2. Oznaczenie przeprowadzane jest w przeciągu 16 dni na beleczkach zaprawowych. W składzie zaprawy stosuje się cement oraz dodatek pucolanowy (popiół lotny krzemionkowy) i/lub materiał o utajonych właściwościach hydraulicznych (granulowany żużel wielkopiecowy). Wyniki badań odnoszą się wyłącznie do konkretnych proporcji masy dodatku mineralnego i kruszywa reaktywnego.

Wyniki badań nie mają zastosowania do określenia wystąpienia szkodliwej reakcji ASR dla mieszanin cementów portlandzkich CEM I i kruszywa (tj. przy braku dodatku pucolanowego lub żużla wielkopiecowego w zaprawie).

1.2. Niniejsza procedura nie podaje wszystkich działań związanych z bezpieczeństwem i higieną pracy podczas przeprowadzanych badań. Użytkownik procedury jest odpowiedzialny za zastosowanie odpowiednich środków bezpieczeństwa oraz środków ochrony zdrowia przed przystąpieniem do badań. W punkcie dotyczącym odczynników (p. 5) zawarto szczegółowe środki ostrożności w zakresie stosowania substancji chemicznych.

##### 2. Znaczenie i zastosowanie

2.1. Niniejsza procedura umożliwi oszacowanie przydatności pucolan i żużla do zapobiegania szkodliwej ekspansji spowodowanej reakcją ASR w przypadku kruszywa stosowanego do betonu. Procedura oparta jest na przyspieszonym badaniu reaktywności alkalicznej kruszywa wg procedury GDDKiA PB/1/18 w zakresie przygotowania mieszanki zaprawowej, mieszania, formowania i pomiarów wydłużenia beleczek zaprawy.

2.2. Wyniki uzyskane niniejszą procedurą mogą zawiązać reaktywność niektórych rodzajów kruszywa użytych w warunkach eksploatacyjnych przy tych samych proporcjach pucolan, żużla oraz cementów hydraulicznych o niskiej zawartości alkaliów.

2.3. Aby określić ilość dodatku mineralnego konieczną do zmniejszenia wydłużenia beleczek zaprawy do akceptowalnego poziomu należy wykonać badania wg PB/4/18 stosując różne proporcje dodatku mineralnego w stosunku do cementu.

2.4. Skuteczność redukcji szkodliwego wydłużenia beleczek zaprawy ocenia się przez porównanie wydłużenia próbek wykonanych z tego samego kruszywa i cementu, bez pucolan i żużla, oznaczonej zgodnie z Procedurą Badawczą GDDKiA PB/1/18.

2.5. Wyniki uzyskane zgodnie z niniejszą procedurą mogą zaniżyć wartość wydłużenie w przypadku zastosowania popiołu lotnego krzemionkowego o całkowitej zawartości  $Na_2O_{eq} > 4,0\%$ . W takim przypadku skuteczność redukcji szkodliwej ekspansji należy

określić przy zastosowaniu Procedury Badawczej GDDKiA PB/2/18 z przedłużeniem okresu badań do 2 lat.

### 3. Dokumenty powołane

AASHTO R 80, Standard Practice for Determining the Reactivity of Concrete Aggregates and Selecting Appropriate Measures for Preventing Deleterious Expansion in New Concrete Construction, American Association of State Highway and Transportation Officials

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

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

ASTM C490/C490M, Standard Practice for Use of Apparatus for the Determination of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar, and Concrete

PN-EN 1097-6 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw -- Część 6: Oznaczanie gęstości ziarn i nasiąkliwości

PN-EN 13263-1+A1 Pył krzemionkowy do betonu -- Część 1: Definicje, wymagania i kryteria zgodności

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

PN-EN 196-1 Metody badania cementu -- Część 1: Oznaczanie wytrzymałości

PN-EN 196-2 Metody badania cementu -- Część 2: Analiza chemiczna cementu

PN-EN 196-3 Metody badania cementu -- Część 3: Oznaczanie czasów wiązania i stałości objętości

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

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

PN-EN 932-5 Badania podstawowych właściwości kruszyw -- Część 5: Wyposażenie podstawowe i wzorcowanie

PN-EN ISO/IEC 17025 Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących

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

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

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, Nixon P.J. and Sims I. (Eds.), Springer, 2016

#### 4. Terminologia

Zmiana długości - zwiększenie lub zmniejszenie wymiarów liniowych próbki badanej, mierzone równoległe do osi wzdłużnej.

Gęstość właściwa kruszywa – zgodnie z PN-EN 1097-6.

#### 5. Aparatura

**5.1. Sita** – sita zgodne z wymaganiami Procedury Badawczej PB/1/18.

**5.2. Kruszarka laboratoryjna** – kruszarka szczękowa i/lub kruszarka żarnowa

**5.3. Mieszarka** – mieszarka zgodna z wymaganiami PN EN 196-1 p. 4.4. Dodatkowo, prześwit pomiędzy dolnym końcem łopatkki a dnem miski mieszarki powinien wynosić  $5,1 \pm 0,3$  mm.

**5.4. Ubijak** – ubijak wykonany z wytrzymałego, nienasiąkliwego tworzywa, np. gumy o twardości  $80 \pm 10$  (skala Shore'a A) lub drewna odpowiednio zaimpregnowanego poprzez zanurzenie przez 15 min w parafinie o temperaturze 200 °C. Wymiary ubijaka: przekrój poprzeczny 13 x 15 mm i długość od 120 do 150 mm, kąt prosty pomiędzy poszczególnymi płaszczyznami. Powierzchnia ubijaka płaska.

**5.5. Waga** - do 1000 g, z dokładnością do 1 g.

**5.5. Zgarniak** – zgarniak zgodny z wymaganiami PN EN 196-1 (p. 4.5 Rysunek 3).

**5.6. Forma** - zgodna z wymaganiami Procedury Badawczej GDDKiA PB/1/18.

**5.7. Pojemniki do przechowywania belek** – zgodne z wymaganiami Procedury Badawczej GDDKiA PB/1/18. W przypadku przechowywania belek w pozycji pionowej, nie mogą one być podtrzymywane metalowymi podporami oraz czopiki referencyjne nie mogą opierać się na podporach.

**5.8. Komora termostatyczna** – zgodna z wymaganiem Procedury Badawczej GDDKiA PB/1/18. Komorę termostatyczną mogą stanowić suszarka lub łaźnia wodna utrzymujące temperaturę w zakresie  $80,0 \pm 2,0$  °C.

**5.9. Komora wilgotnościowa** – przeznaczona do kondycjonowania próbek z zaprawy w warunkach  $20 \pm 1$  °C,  $RH \geq 90\%$ .

**5.10. Urządzenie pomiarowe** - zgodne z wymaganiem Procedury Badawczej GDDKiA PB/1/18.

**5.11. Czopiki referencyjne** - zgodne z wymaganiem Procedury Badawczej GDDKiA PB/1/18.

#### 6. Odczynniki

**6.1. Wodorotlenek sodu (NaOH)** – klasa czystości: cz.d.a lub techniczny lub jego roztwór pod warunkiem, że stężenia jonów:  $Na^+$  i  $OH^-$ , są potwierdzone analizą chemiczną i mieszczą się w zakresie od 0,99 M do 1,01 M.

**6.2. Woda** – stosować wodę destylowaną lub dejonizowaną do przygotowania mieszanki zaprawowej. Do napełnienia pojemników do przechowywania próbek stosować wodę wodociągową.

**6.3. Roztwór wodorotlenku sodu** – przygotowanie roztworu wodorotlenku sodu oraz środki ostrożności dotyczące stosowania NaOH opisano w Procedurze Badawczej GDDKiA PB/1/18.

## **7. Warunki prowadzenia badań**

Warunki prowadzenia badań zgodne z Procedurą Badawczą GDDKiA PB/1/18.

## **8. Pobieranie próbek kruszywa i przygotowanie próbek zaprawy**

8.1. Cement referencyjny - stosować cement zgodnie z Procedurą badawczą GDDKiA PB/1/18

8.2. Dodatki mineralne – stosować jeden z poniższych dodatków mineralnych lub ich mieszaninę:

8.2.1. Popiół lotny krzemionkowy spełniający wymagania normy PN-EN 450-1:2012

8.2.2. Granulowany żużel wielkopiecowy spełniający wymagania normy PN-EN 15167-1

8.3. Pobieranie próbek kruszywa

8.3.1. Selekcja kruszywa – zgodnie z Procedurą Badawczą GDDKiA PB/1/18 p.8.1.

8.3.2. Przygotowanie kruszywa – kruszywa przygotować zgodnie z Procedurą Badawczą GDDKiA PB/1/18 p.8.2.

8.4. Wybór i przygotowanie cementu – stosować cement wybrany i przygotowany zgodnie z Procedurą Badawczą GDDKiA PB/1/18 pp.8.3.1. i 8.3.2.

8.5. Przygotowanie próbek zaprawy

8.5.1 Liczba próbek zaprawy – do badania należy przygotować, co najmniej trzy belki zaprawowe dla każdego badanego kruszywa.

8.5.2. Przygotowanie form – zgodnie z wymaganiem Procedury Badawczej PB/1/18.

8.5.3. Skład zaprawy – odmierzyć składniki suche zaprawy w proporcji 1 część spoiwa, tj. cementu i dodatku mineralnego w danej proporcji (masowo), do 2,25 części frakcjonowanego kruszywa (masowo) w przypadku kruszyw o gęstości równej 2,45 kg/dm<sup>3</sup> lub więcej.

8.5.3.1 Dla kruszyw o gęstości poniżej 2,45 ustalić udział kruszywa zgodnie z poniższym równaniem:

$$\text{Udział kruszywa} = 2.25 \times D / 2.65$$

gdzie:  $D$  – gęstość właściwa badanego kruszywa.

8.5.4. W przypadku kruszyw o gęstości właściwej równej lub większej niż 2,45, masy suchych składników do wykonania 3 belek zaprawowych wynoszą: 440 g spoiwa i 990 g kruszywa uzyskanego przez połączenie wymaganych frakcji w proporcji odpowiadającej tabeli Z1.1 Procedury Badawczej PB/1/18.

Stosować współczynnik woda-spoivo 0,47.

8.5.4.1. W przypadku kruszyw o gęstości właściwej poniżej 2,45 masy suchych składników do wykonania 3 belek zaprawowych wynoszą: 440 g spoiwa i masa kruszywa wyliczona na podstawie pomnożenia 440 g przez udział kruszywa określony zgodnie z 8.5.3.1. Masa kruszywa powinna zawierać odpowiedni udział poszczególnych frakcji zgodnie z tabelą Z1.1 Procedury Badawczej PB/1/18. Stosować współczynnik woda-cement 0,47.

8.5.5. Mieszanie zaprawy – zaprawę wymieszać zgodnie z PN-EN 196-1.

8.5.6. Formowanie próbek zaprawy – próbki zaprawy formować zgodnie z wymaganiami Procedury Badawczej PB/1/18.

## 9. Procedura badania

Pomiar początkowy, pomiar zerowy oraz dalsze pomiary wykonywać zgodnie z zaleceniami Procedury Badawczej PB/1/18.

## 10. Obliczenia

Obliczyć zmianę długości belek zgodnie z zaleceniami Procedury Badawczej PB/1/18.

## 11. Dopuszczalna różnica między wynikami

11.1. Dopuszczalną różnicę między wynikami oraz niepewność pomiaru przyjąć zgodnie z zapisami Procedury Badawczej PB/1/18 p. 11.1. i 11.2.

## 12. Sprawozdanie

Sprawozdanie z badań powinno zawierać następujące informacje:

- a) Rodzaj i pochodzenie kruszywa,
- b) Rodzaj i pochodzenie zastosowanego cementu,
- c) Rodzaj, pochodzenie oraz proporcję zastosowanej pucolany,
- d) Uziarnienie, pochodzenie oraz proporcję zastosowanego granulowanego żużla wielkopieczowego,
- e) Wynik oznaczenia stałości objętości wg PN-EN 196-3, zawartości wolnego wapnia oznaczona wg PN-EN 196-3, zawartość alkaliów w cemencie: tlenku potasu ( $K_2O$ ), tlenku sodu ( $Na_2O$ ) i obliczonego ekwiwalentu tlenku sodu ( $Na_2O_{eq} = \%Na_2O + 0,658 \times \%K_2O$ ),
- f) Średnia zmiana długości, wyrażona w %, dla każdego pomiaru próbek,
- g) Wszelkie istotne informacje dotyczące przygotowania kruszyw, w tym odstępstwa w zakresie zastosowanego uziarnienia kruszywa do przygotowania belek zaprawowych,
- h) Jakiegokolwiek zmiany zaobserwowane na powierzchni belek podczas badania oraz po jego zakończeniu (takie jak: spękania, tworzenie się żelu, obwódki wokół ziaren, wykwit, wycieki, zmiana barwy),
- i) Ilość wody zarobowej wyrażona jako procent masowy spoiwa, tj. sumy masy cementu i masy dodatku mineralnego,
- j) Wykres zmian długości w funkcji czasu od pomiaru zerowego do końca okresu ekspozycji w 1M roztworze NaOH w temperaturze  $80^{\circ}C$ ,

## Informacje uzupełniające

Badania prowadzone w laboratoriach ICiMB OSiMB i IPPT PAN wykazały, że w przypadku kruszyw krajowych o kategorii reaktywności R1 dodatek 20% popiołu lotnego był zazwyczaj wystarczający do zmniejszenia średniego wydłużenia próbek zaprawy do wartości  $< 0,10\%$ . Jeżeli dodatek mineralny stanowił żużel to podobny poziom obniżenia wydłużenia obserwowano przy około dwukrotnie większej ilości dodatku.

Brak wyraźnego wpływu dodatku mineralnego na wartość średniego wydłużenie próbek zaprawy (zmniejszenie o co najmniej 50% w przypadku dodatku 20% popiołu lotnego) może wskazywać, że:

- a) zastosowano zbyt małą ilość dodatku mineralnego;
- b) za obserwowane wydłużenie jest odpowiedzialny inny mechanizm niż reakcja ASR.

W pierwszym przypadku należy powtórzyć badanie wg PB/4/18 zwiększając ilość stosowanego dodatku mineralnego. W drugim należy zasięgnąć opinii eksperta, który na podstawie m.in. analizy wydłużenia próbek zapraw lub betonów wg PB/1/18 – PB/5/18 oraz rozpoznania produktów reakcji alkalia-kruszywo, AAR, w betonie wg PB/3/18 wyjaśni mechanizm odpowiedzialny za obserwowane wydłużenie próbek zaprawy.

## 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**

##### **1. Przedmiot i zakres**

Procedura Badawcza dotyczy oceny odporności mieszaniny kruszyw mineralnych w betonie na reakcję alkalia-krzemionka w warunkach cyklicznego oddziaływania temperatury 60°C i zewnętrznego dostępu alkaliów. Stanowi narzędzie wspomagające ocenę doboru składników betonu do zastosowań wymagających wysokiej odporności na szkodliwe skutki reakcji alkalia-krzemionka. Procedura obejmuje warunki środowiskowe określone kategorią E3 wg. Tablicy 2 w zasadniczej części Wytycznych (środowisko wilgotne z agresywnym oddziaływaniem czynników zewnętrznych). Procedura jest zgodna z metodą RILEM AAR-12 i odpowiada stosowanej w Niemczech na podstawie TP B-StB metodzie weryfikacji odporności betonu na szkodliwą ekspansję wskutek reakcji alkalia-krzemionka w warunkach eksploatacji nawierzchni betonowych. Metoda została zaadoptowana do stosowania w warunkach krajowych.

##### **2. BHP**

Zagadnienia bezpieczeństwa i higieny pracy, których należy przestrzegać przy przeprowadzaniu badań, zostały szczegółowo opisane w RILEM Recommendations for the Prevention of Damage by Alkali-Aggregate Reactions in New Concrete Structures . Ustalenie właściwych procedur bezpieczeństwa i ochrony zdrowia leży w zakresie obowiązków użytkownika.

##### **3. Dokumenty powołane**

ASTM C856 Standard Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete

ASTM C1259 Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio for Advanced Ceramics by Impulse Excitation of Vibration

ASTM E1876 Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration

DAfStb – Richtlinie: Vorbeugende Massnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton (Alkali – Richtlinie). Ausgabe Oktober 2013

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

NF P 18-454 12/2004 Concrete - Reactivity of a concrete formula with regard to the alkali-aggregate reaction - Performance test, AFNOR 2004

Katalog typowych konstrukcji drogowych obiektów mostowych i przepustów, Ministerstwo Infrastruktury, 13.06.2019

Ogólna Specyfikacja Techniczna D - 05.03.04 Nawierzchnia z Betonu Cementowego, GDDKiA, 2018

PN-EN 12390-2 Badania betonu - Część 2: Wykonywanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych

PN-EN 12620+A1 Kruszywa do betonu

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

PN-EN 480-1 Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu - Metody badań - Część 1: Beton wzorcowy i zaprawa wzorcowa do badania

PN-ISO 565 Sita kontrolne - Tkanina z drutu, blacha perforowana i blacha cienka perforowana elektrochemicznie - Wymiary nominalne oczek

Praxisgerechte Prüfung der Alkaliempfindlichkeit von Betonen für die Feuchtigkeitsklassen WF und WA in AKR-Performance-Prüfungen, Borchers, I., Müller, Ch., Betontechnische Berichte 2013-2015, (VDZ Düsseldorf 2016) 39-48

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

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)

RILEM Recommendations for the Prevention of Damage by Alkali-Aggregate Reactions in New Concrete Structures, Nixon, P.J., Sims, I. (eds.), Springer, Dordrecht, 2016.

#### **4. Terminologia**

**4.1 Zmiana długości** – zwiększenie lub zmniejszenie wymiarów liniowych próbki badanej, mierzone równoległe do osi wzdłużnej.

#### **5. Aparatura**

**5.1. Sita** – sita o otworach kwadratowych, z materiału tkanego z drutu/ blachy perforowanej, o wymiarach boku oczka 22,4 mm, 16,0 mm, 8,0 mm, 4,0 mm, 2,0 mm, 1,0 mm, 0,5 mm, 0,25 mm i 0,125 mm zgodne z PN-ISO 565.

**5.2. Waga** – do 10 kg, umożliwiająca ważenie próbek betonowych z dokładnością do 1 g.

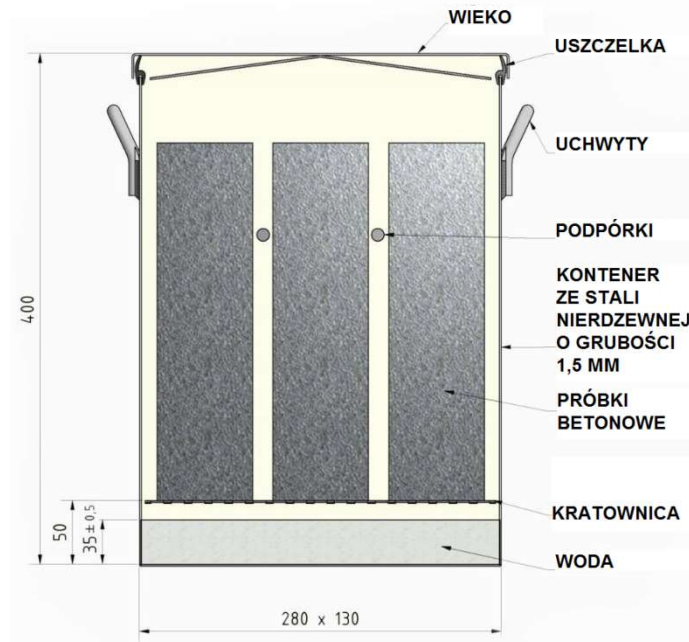
**5.3. Urządzenia do wykonania mieszanki betonowej** - mieszarka, łopatką i naczynie mieszarki do wykonania zaprawy cementowej, ubijak i zgarniak odpowiednie do mieszania partii betonu zgodne z PN-EN 480-1 oraz wibrowania w formach wg PN-EN 12390-2.

**5.4. Formy** - trzy stalowe formy umożliwiające wykonanie próbek betonowych o długości 285 ± 10 mm i przekroju 75 ± 5 mm. Końce form powinny posiadać płytki z otworami



- umożliwiający zamontowanie czopików referencyjnych ze stali nierdzewnej, które po rozformowaniu znajdują się w centralnej części czołowych powierzchni belek betonowych.
- 5.5. Czopiki referencyjne** – czopiki powinny być wykonane z materiału odpornego na korozję, kompatybilne z prętem referencyjnym i gniazdami w urządzeniu do pomiaru zmian długości próbek. Zgodne z wymaganiami PB/2/18 Załącznik 2. Długość czopika powinna wynosić 20-22,5 mm, a część gwintowana (o średnicy 6 mm) nie mniej niż 6 mm. Dopuszcza się stosowanie czopików zgodnych z wymaganiami AFNOR NF P 18-454, wydanie 12/2004, rysunek B.2.
- 5.6. Urządzenie do pomiaru zmian długości próbek** – urządzenie zgodne z wymaganiami PB/2/18 Załącznik 2. Dopuszcza się stosowanie urządzenia dostosowanego do czopików referencyjnych wg AFNOR NF P 18-454, wydanie 12/2004.
- 5.7. Wzorzec długości (pręt referencyjny)** – zgodny z wymaganiami PB/2/18 Załącznik 2. Dopuszcza się stosowanie pręta referencyjnego dostosowanego do czopików referencyjnych wg AFNOR NF P 18-454, wydanie 12/2004.
- 5.8. Plastikowe pojemniki z pokrywą** – umożliwiające całkowite zanurzenie próbek w roztworze chlorku sodu. Wymiary wewnętrzne: długość x szerokość x wysokość = 350 x 270 x 220 mm lub podobne. Pojemniki powinny być wykonane z materiału odpornego na przedłużoną ekspozycję na działanie 10% roztworu NaCl. Pojemniki muszą być zbudowane w taki sposób, aby zapobiegać parowaniu roztworu. Próbkę nie powinny dotykać do ścianek pojemnika ani do siebie nawzajem; powinny być tak podparte, aby zapewnić dostęp roztworu na całej powierzchni.
- 5.9. Komora wilgotnościowa** – przeznaczona do kondycjonowania próbek betonowych w warunkach  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{RH} > 95\%$ .
- 5.10. Ciepłarnia laboratoryjna** – umożliwiająca przechowywanie próbek w temperaturze  $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$  przy wilgotności względnej powietrza  $< 10\%$ . Powinna umożliwić równomierne wysychanie próbek z każdej strony – odstęp między próbkami powinny zapewnić swobodną cyrkulację powietrza.
- 5.11. Termostatyczna komora kondensatu** – komora termostatyczna ze sterowaniem poziomu temperatury  $60,0 \pm 2,0^{\circ}\text{C}$  i wilgotności względnej powietrza  $> 98\%$ . Na dnie komory znajduje się woda, do poziomu około 190 mm.
- 5.12. Kontenery ze stali nierdzewnej** – do przechowywania próbek w termostatycznej komorze kondensatu. Szczelnie zamykane kontenery o wymiarach ok. 400 x 280 x 130 mm, Rysunek Z5.1, wypełnione są wodą do poziomu  $35 \pm 5$  mm (*Uwaga 1*). Próbkę umieszczane są w kontenerach 15 mm nad powierzchnią wody. Poziom wody należy monitorować, uzupełniać w razie potrzeby lub wymieniać wodę na świeżą uprzednio czyszcząc wnętrze kontenera. Kontenery projektowane są tak, aby pomieścić 3 próbki w pozycji pionowej. Dopuszcza się stosowanie kontenerów na 6 próbek (odpowiednie wymiary 400 x 280 x 230 mm).

*Uwaga 1: W przypadku monitorowania wycieku alkaliów z próbek betonowych poprzez okresową analizę wody na dnie kontenerów, należy rozważyć zastosowanie wody dejonizowanej.*



Rysunek Z5.1. Schemat kontenera z wymiarami w mm

- 5.13. Komora klimatyczna** – mikroprocesorowo sterowana komora klimatyczna do przechowywania próbek w wilgotności względnej powietrza  $65 \pm 5\%$  oraz temperaturze  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ .
- 5.14. Urządzenie do pomiaru częstości drgań rezonansowych** – do oznaczania rezonansowego współczynnika sprężystości próbek betonu na podstawie częstości drgań rezonansowych zgodnie z ASTM E1876-15 oraz ASTM C1259-15.
- 5.15. Pomieszczenie laboratoryjne** – podczas wykonywania mieszanki betonowej w pomieszczeniu laboratoryjnym powinna panować temperatura  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ .  
Próbki powinny być pielęgnowane w temperaturze  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  i wilgotności względnej powietrza nie mniejszej niż 90%.  
Pomiary początkowe należy wykonywać niezwłocznie po wyjęciu z formy w pomieszczeniu o temperaturze  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  i wilgotności względnej powietrza nie mniejszej niż 50%.

*Uwaga 2: Pielęgnacja w standardowej temperaturze jest konieczna, aby uzyskać powtarzalne wyniki.*

*Uwaga 3: Preferowana i zdecydowanie zalecana na tym etapie badania jest temperatura  $20^\circ\text{C}$ . Niezależnie od przyjętej temperatury ( $20^\circ\text{C}$  do  $27^\circ\text{C}$ ) dla danego badania, ważne jest, aby ta sama procedura i ta sama temperatura były stosowane konsekwentnie podczas każdego cyklu badawczego. Jednak użycie temperatury innej niż  $20^\circ\text{C}$  wymaga ponownego rozważenia kryteriów oceny odporności na reakcję alkalia-kruszywo.*

Przed każdym pomiarem próbki należy wystudzić w zamkniętych kontenerach przez  $24 \pm 2$  godziny w pomieszczeniu o temperaturze  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , każdy pomiar należy

przeprowadzić w pomieszczeniu laboratoryjnym o temperaturze  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  i wilgotności względnej powietrza nie mniejszej niż 50%.

## 6. Odczynniki i materiały

**6.1. Chlorek sodu (NaCl)** – klasa czystości - co najmniej techniczna.

**6.2. Roztwór chlorku sodu** - 3% lub 10% roztwór chlorku sodu (każdy litr roztworu 3% powinien zawierać 30 g NaCl rozpuszczonego w 970 g wody wodociągowej; analogicznie 10% roztwór - 100 g NaCl na 900 g wody wodociągowej). Należy dostarczyć odpowiednią ilość roztworu tak, aby zapewnić całkowite zanurzenie próbek betonowych.

**6.3. Woda** – wodociągowa oraz destylowana lub dejonizowana.

**6.4. Kruszywo** – kruszywo do badań należy wybrać jako zestaw kruszywa drobnego i kruszywa grubego o maksymalnym wymiarze ziarna nieprzekraczającym 22,4 mm. Kruszywo powinno mieć suchą powierzchnię. Proporcje frakcji kruszywa podano w pkt. 7.1.

**6.5. Cement** – w zależności od celu badania (a) ocena reaktywności mieszaniny kruszyw lub (b) weryfikacja receptury betonu przedstawionej przez producenta, stosuje się następujące rodzaje cementu:

- Ad (a) cement referencyjny<sup>6</sup> - zgodny z p.8.3.1 PB/1/18,
- Ad (b) cement wg receptury mieszanki betonowej przedstawionej przez producenta betonu.

**6.6. Domieszki do betonu** - należy stosować ograniczone ilości domieszek do betonu. Zawartość alkaliów w domieszkach należy zadeklarować z dokładnością do 0,01%, wybierać domieszki o niskiej zawartości alkaliów.

## 7. Skład i wykonanie mieszanki betonowej

### 7.1. Skład mieszanki

Skład mieszanki betonowej jest uzależniony od celu badania: (a) ocena reaktywności mieszaniny kruszyw lub (b) weryfikacja receptury betonu przedstawionej przez producenta. Do weryfikacji receptury betonu, stosuje się wybrane przez producenta składniki i konkretny skład mieszanki zaprojektowanej zgodnie ze specyfikacjami na nawierzchnie drogowe lub drogowy obiekt inżynierski. Przy ocenie reaktywności mieszaniny kruszyw stosuje się referencyjny skład mieszanki betonowej, tj. z cementem referencyjnym wg p. 6.5. Wyróżnia się receptury betonu referencyjnego o trzech wariantach składu, dotyczących zawartości cementu, współczynnika  $w/c$  i uziarnienia stosu kruszywa. Wynika to z konieczności rozróżnienia betonu w górnej warstwie dwuwarstwowej nawierzchni z kruszywem odkrytym, betonu w warstwie dolnej nawierzchni lub w drogowym obiekcie inżynierskim.

Skład mieszanki betonu referencyjnego wyznaczają następujące ograniczenia podstawowych składników mieszanki betonowej:

- a) na górną warstwę nawierzchni drogowej
  - zawartość cementu:  $430 \text{ kg/m}^3$ ,

---

<sup>6</sup> Materiał referencyjny do badań spełniający wyszczególnione wymagania można nabyć w Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytucie Ceramiki i Materiałów Budowlanych, ul. Cementowa 8, 31-983 Kraków, +48 12 683 79 11, sekretariat@icimb.lukasiewicz.gov.pl

- współczynnik  $w/c = 0,40$ ,
  - zawartość powietrza 5,5% - 6,5%,
  - masowe proporcje kruszywa: 30% kruszywo 0/2 mm, 70% kruszywo 2/8 mm,
- b) na dolną warstwę nawierzchni drogowej
- zawartość cementu: 360 kg/m<sup>3</sup>,
  - współczynnik  $w/c = 0,45$ ,
  - zawartość powietrza 4,0% - 5,0%,
  - masowe proporcje kruszywa: 30% kruszywo 0/2 mm, 15% kruszywo 2/8 mm, 25% kruszywo 8/16 mm, 30% kruszywo 16/22 mm,
- c) na drogowy obiekt inżynierski
- zawartość cementu: 400 kg/m<sup>3</sup>,
  - współczynnik  $w/c = 0,42$ ,
  - zawartość powietrza 4,5% - 5,5%,
  - masowe proporcje kruszywa: kruszywo 0/2 mm – nie mniej niż 30%, kruszywo grube – w granicach zalecanych krzywych granicznych według „Katalogu typowych konstrukcji drogowych obiektów mostowych i przepustów”.

Zawartość alkaliów aktywnych w recepturze mieszanki betonowej wyznacza się według przykładów podanych w Wytycznych Technicznych, Załącznik 6.

## 7.2. Wykonanie mieszanki

Mieszanke betonową należy wykonać w laboratorium, w mieszarce o pojemności do 50 litrów. Należy wyznaczyć właściwości mieszanki zgodnie z zasadami normowymi PN-EN: konsystencję mieszanki, zawartość powietrza metodą ciśnieniową, gęstość objętościową mieszanki i temperaturę mieszanki betonowej. Próbki pryzmatyczne do badań ekspansji wskutek ASR wykonuje się zagęszczając mieszankę w formach na stole wibracyjnym. Próbki należy wykonać w warunkach laboratorium o stałej temperaturze  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  i wilgotności powietrza  $\text{RH } 60 \pm 10\%$ .

W wyjątkowym przypadku dopuszcza się wykonanie próbek na placu budowy z mieszanki dostarczonej na budowę pod warunkiem zagęszczenia mieszanki w formach na stole wibracyjnym i zapewnienia zgodności warunków przechowywania próbek ze wszystkimi wymaganiami, również podczas odpowiednio ostrożnego przewozu próbek do laboratorium.

## 8. Próbki do badań

**8.1. Przygotowanie form** - wewnętrzna powierzchnia formy powinna być pokryta środkiem antyadhezyjnym, który nie powinien wpłynąć na wiązanie cementu ani hamować przenikania wody do próbki. Nie pokrywać środkiem antyadhezyjnym powierzchni czopików referencyjnych.

**8.2. Liczba próbek** – przygotować trzy próbki z każdej mieszanki betonowej.

**8.3. Formowanie próbek** – formę wypełnić mieszanką betonową w dwóch warstwach o jednakowej wysokości tak, aby wypełniła narożniki oraz pokryła stalowe czopiki. Mieszanke zagęszczać wibracyjnie zgodnie z PN-EN 12390-2. Nie dopuścić do segregacji kruszywa i unikać w miarę możliwości wygładzania powierzchni po zawibrowaniu.

**8.4. Pielęgnacja** – formy z próbkami przechowywać w temperaturze  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  przy wilgotności względnej powietrza nie mniejszej niż 90% pod przykryciem przez  $24 \pm 1$  godzinę.

*Uwaga 5: Warto zapisać masę zakrytej formy bezpośrednio po zaformowaniu oraz bezpośrednio przed wyjęciem próbek z formy, aby skontrolować minimalne straty wody podczas pierwszych 24 godzin dojrzewania.*

## 9. Procedura badania

Dla każdego badania należy zastosować trzy próbki betonowe. Badanie obejmuje 28-dniowe wstępne kondycjonowanie i 14-dniowy cykl, na który składa się naprzemienne przechowywanie w warunkach podwyższonej temperatury, wysokiej wilgotności lub w zanurzeniu w roztworze soli odladzającej. Stosuje się co najmniej 10 cykli.

### 9.1. Wstępne kondycjonowanie próbek

Przez pierwsze 28 dni próbki powinny być przechowywane zgodnie z wytycznymi przedstawionymi w Tabeli Z5.1.

**Tabela Z5.1. Wstępne kondycjonowanie próbek**

Okres kondycjonowania	Warunki kondycjonowania
$24 \pm 2$ h	W formach, zabezpieczone przed utratą wilgoci w temp. $20 \pm 2^\circ\text{C}$
6 dni	$20 \pm 2^\circ\text{C}$ , RH > 95% (komora wilgotnościowa)
14 dni	$20 \pm 2^\circ\text{C}$ , RH = $65 \pm 5\%$ (komora klimatyczna)
6 dni	$60 \pm 2^\circ\text{C}$ , RH > 98% (termostatyczna komora kondensatu)
1 dzień	$20 \pm 2^\circ\text{C}$ , RH > 98% (zamknięty kontener w pomieszczeniu laboratoryjnym)

- Po zaformowaniu chronić próbki przed utratą wilgoci (np. pod przykryciem z folii polietylenowej) i przechowywać w formach w temperaturze  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  przez  $24 \pm 2$  godziny.

- Po upływie 1. doby próbki wyjąć z form w pomieszczeniu laboratoryjnym o temperaturze  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  i wilgotności względnej powietrza  $65 \pm 5\%$ . Nie rozformowywać więcej niż 3 próbek jednocześnie by zapobiec ich wysychaniu. Próbki opisać i zaznaczyć strzałką lub (\*) jeden z końców próbki, który od tej pory będzie wkładany do urządzenia pomiarowego u góry. Dokonać początkowego odczytu długości próbki wraz z czopikami (ok.  $295 \pm 0,5$  mm) z dokładnością do 0,1 mm. Dokonać pomiaru masy próbki, po uprzednim oczyszczeniu powierzchni i wytarciu suchą szmatką, z dokładnością do 1 g. Ważenie trzech próbek z każdego betonu nie powinno trwać dłużej niż 5 minut.

- Po dokonaniu pomiarów próbki przechowywać w komorze wilgotnościowej przez 6 dni w temperaturze  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  i minimalnej wilgotności względnej powietrza 95%.

- W 7. dobie próbki przenieść do komory klimatycznej na 14 dni, zapewniając temperaturę  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  i wilgotność względną powietrza  $65 \pm 5\%$ .

- W 21. dobie próbki umieścić w stalowych szczelnie zamkniętych kontenerach, które należy przenieść do termostatycznej komory kondensatu na sześć dni. Temperatura wewnątrz komory  $60 \pm 2^\circ\text{C}$ , minimalna względna wilgotność powietrza 98%.
- W 27. dobie kontener z próbkami wyjąć z komory kondensatu, nie otwierając, aby pozostał szczelnie zamknięty (tak, aby wilgotność względna powietrza wewnątrz wynosiła nadal min. 95%) przechowywać przez  $24 \pm 2$  h w pomieszczeniu o temperaturze  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ .
- Po wystygnięciu przeprowadzić pomiar zerowy. Masa próbek, odległość pomiędzy czopikami (początkowa zmiana długości  $l_0$ ) oraz rezonansowa częstość drgań powinny być określone w pomieszczeniu laboratoryjnym w temperaturze  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  i wilgotności względnej powietrza  $60 \pm 10\%$ .

## 9.2. Cykl badawczy

W wieku 28 dni próbki poddawane są naprzemiennym oddziaływaniom temperatury, wilgotności i alkaliom z roztworu. Cykle trwające 14 dni (Tabela Z5.2) powtarzane są 10-cio krotnie. Każdorazowo badaniu poddawane są trzy próbki.

**Tabela Z5.2. Cykl badania próbek betonu w warunkach oddziaływania temperatury  $60^\circ\text{C}$  i zewnętrznego dostępu alkaliów**

Okres przechowywania	Warunki badania
5 dni	Temperatura $60 \pm 5^\circ\text{C}$ , wilgotność względna powietrza $\leq 10\%$ (cieplarka laboratoryjna)
2 dni	Nasywanie w roztworze o temperaturze $20 \pm 2^\circ\text{C}$
6 dni	Temperatura $60 \pm 2^\circ\text{C}$ , wilgotność względna powietrza $> 98\%$ (szczelnie zamknięty kontener, termostatyczna komora kondensatu)
1 dzień	Temperatura $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , wilgotność względna powietrza $> 98\%$ (szczelnie zamknięty kontener, pomieszczenie laboratoryjne)

- Po pomiarze masy, zmian długości oraz częstości drgań rezonansowych próbki umieścić w cieplarni laboratoryjnej z wymuszonym obiegiem powietrza na 5 dni w temperaturze  $60 \pm 5^\circ\text{C}$ . Po 5 dniach wyjąć próbki z cieplarki. Powinny stygnąć w zamkniętych pojemnikach plastikowych przez  $4 \pm 1$  godzinę w pomieszczeniu o temperaturze  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  i wilgotności względnej powietrza  $60 \pm 10\%$ .

- Następnie przechowywać próbki w szczelnie zamkniętych pojemnikach plastikowych z roztworem chlorku sodu (3% lub 10%) przez  $48 \pm 2$  h w temperaturze  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . Pojemniki należy wypełnić roztworem w taki sposób, aby próbki były całkowicie zanurzone. Stosunek objętości próbek i roztworu powinien wynosić 1:1,6 (7,56 litra roztworu NaCl). Do badań należy każdorazowo użyć świeżego roztworu. Dopuszczalne jest stosowanie roztworów drogowych środków odladzających.

- Po dwóch dniach przechowywania próbek w roztworze należy je wyjąć i gdy nadmiar roztworu spłynie z powierzchni próbek, przełożyć do szczelnie zamykanych stalowych kontenerów, na których dnie znajduje się woda. Próbki do kontenerów wkładać (\*) do góry

lub do dołu, w taki sposób, by w każdym kolejnym cyklu było odwrotnie niż w poprzednim. Kontenery umieścić na 6 dni w termostatycznej komorze kondensatu, temperatura  $60 \pm 2^\circ\text{C}$  oraz minimalna względna wilgotność powietrza 98%.

- Po upływie 6 dni kontenery z próbkami należy wyjąć z termostatycznej komory kondensatu i szczelnie zamknięte przechowywać w pomieszczeniu o temperaturze  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  przez  $24 \pm 2$  godziny.

- Następnie określić zmianę długości, masę oraz częstość drgań rezonansowych próbek w pomieszczeniu o temperaturze  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  i wilgotności względnej powietrza  $60 \pm 10\%$ .

- Po wykonaniu pomiarów cykle badawcze są kontynuowane, aż próbki osiągną wiek co najmniej 168 dni od ich przygotowania.

Uwaga: Jeśli nawierzchnia betonowa będzie narażona na działanie środków odladzających (zawierających alkalia) innych niż NaCl, badanie można przeprowadzić z ich wykorzystaniem zamiast roztworu NaCl.

## 10. Pomiary

Ważenie i pomiar każdej próbki nie może trwać dłużej niż 2 minuty, aby zapobiec jej wysychaniu. Pręty referencyjny służy do wyzerowania czujnika przemieszczenia liniowego: zerowanie należy przeprowadzić przed pomiarem długości trzech próbek z każdego kontenera. Próbki wyjmować pojedynczo i zamykać kontener z pozostałymi próbkami. Czopiki referencyjne oczyścić przed włożeniem próbki do urządzenia pomiarowego. Po dokonaniu pomiaru zmiany długości oraz masy próbki wkładać do kontenera (po każdym cyklu zamieniać pozycję góra-dół). Po pomiarze każdych trzech sprawdzić przy pomocy pręta referencyjnego, czy wskazania na liczniku wynoszą 0,000 mm. Jeżeli odczyt jest większy niż  $3 \mu\text{m}$  należy powtórzyć pomiary. Po zakończeniu pomiarów sprawdzić poziom wody w kontenerach i termostatycznej komorze kondensatu - w razie potrzeby uzupełnić braki wodą destylowaną lub dejonizowaną.

Pomiary należy wykonywać z następującą dokładnością:

- masa z dokładnością do 1 g,
- zmiana długości próbki z dokładnością do 0,001 mm,
- częstość drgań rezonansowych z dokładnością do 0,01 kHz.

Po zakończeniu 10 cykli ciepłno-wilgotnościowych, z próbek eksponowanych na działanie tego samego roztworu należy wybrać tą o największym wydłużeniu i wykonać z niej preparaty do badań mikroskopowych wg PB/3/18: cienki szlif do badań w mikroskopie polaryzacyjnym lub zgład polerowany do badań za pomocą mikroskopu skaningowego, wyposażonego w detektor EDS do pomiaru składu chemicznego w mikroobszarach. Należy przeprowadzić analizę spękań i zidentyfikować skład produktów reakcji alkalia-krzemionka w betonie. Należy sporządzić dokumentację mikrofotograficzną zaobserwowanych cech mikrostruktury betonu.

## 11. Obliczenia

Zmierzona zmiana długości próbek betonowych, masa oraz częstość drgań rezonansowych po każdym z cykli badawczych pozwalają obliczyć wydłużenie betonu, przyrost masy oraz rezonansowy moduł sprężystości w sposób podany poniżej, wzór 1, 2, 3.

$$\varepsilon_t = \frac{l_t - l_0}{l_1} \cdot 100 \quad (1)$$

gdzie:

$\varepsilon_t$  – wydłużenie próbki betonu (%),

$l_t$  – zmiana długości próbki w stosunku do długości pręta referencyjnego po czasie  $t$  (mm),

$l_0$  – zmiana długości próbki w stosunku do długości pręta referencyjnego przy pomiarze zerowym (mm),

$l_1$  – odległość pomiędzy wewnętrznymi końcami czopików metalowych w próbkach betonowych po rozformowaniu [mm], z dokładnością do 0,1 mm.

Dopuszcza się stosowanie tradycyjnej miary wydłużenia [mm/m], przy czym zachodzi równoważność: 0,10 mm/m = 0,010%.

$$\Delta m_t = \left( \frac{m_t - m_0}{m_0} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

gdzie:

$\Delta m_t$  – zmiana masy próbki (%),

$m_t$  – masa próbki po czasie  $t$  (g),

$m_0$  – masa próbki przy pomiarze zerowym (g).

$$\Delta E_t = \left( \frac{E_t - E_0}{E_0} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

gdzie:

$\Delta E_t$  – zmiana rezonansowego modułu sprężystości (%),

$E_t$  – rezonansowy moduł sprężystości po czasie  $t$  (kHz), obliczony wg wzoru 4,

$E_0$  – rezonansowy moduł sprężystości przy pomiarze zerowym (kHz), obliczony wg wzoru 4.

$$E = 0,9465 \cdot \left( \frac{m \cdot (f_f)^2}{a} \right) \cdot \left( \frac{L^3}{b^3} \right) \cdot \left( 1 + 6,585 \cdot \left( \frac{b}{L} \right)^2 \right) \quad (4)$$

gdzie:

$E$  – rezonansowy moduł sprężystości betonu (Pa),

$m$  – masa próbki (kg), odpowiednio przy pomiarze zerowym lub po upływie czasu  $t$ ,

$f_f$  – częstość drgań rezonansowych (Hz), odpowiednio przy pomiarze zerowym lub po upływie czasu  $t$ ,

$L$  – całkowita długość próbki (m),

$a, b$  – szerokość próbki (m).



Zmiana długości próbki powinna zostać podana z dokładnością do 0,001%, przyrost masy z dokładnością do 0,01%, zmiana rezonansowego modułu sprężystości z dokładnością do 0,1%.

Należy podać średnią wartość obliczoną z trzech otrzymanych wyników.

Uwaga: Pomiar zmian masy służy do kontroli warunków przeprowadzenia badania; zmiany masy nie należy traktować jako kryterium oceny betonu.

## 12. Ocena

Dotychczasowe doświadczenia wskazują, że mieszanina kruszyw mineralnych w betonie nie wykazuje podatności na szkodliwą reakcję alkalia-krzemionka w warunkach cyklicznego oddziaływania temperatury, zmiennej wilgotności i zewnętrznego dostępu alkaliów, jeżeli po 10 cyklach spełnione są kryteria:

- średnie wydłużenie próbek betonu  $\leq 0,030\%$  (w przypadku zastosowania roztworu 3% NaCl; kryterium 0,030 % jest równorzędne z kryterium 0,30 mm/m),
- średni spadek modułu sprężystości próbek betonu  $\leq 20\%$ .

Na podstawie tych samych kryteriów można uznać odpowiednią odporność betonu o określonej recepturze na występowanie szkodliwej reakcji alkalia-krzemionka w warunkach cyklicznego oddziaływania temperatury, zmiennej wilgotności i zewnętrznego dostępu alkaliów.

Jeżeli wydłużenie próbek betonu lub spadek modułu sprężystości przekraczają wartości graniczne zaleca się przeprowadzenie analizy petrograficznej betonu w próbkach wg PB/3/18 po zakończeniu badania według niniejszej procedury. Celem analizy petrograficznej jest potwierdzenie obecności składników reaktywnych w ziarnach kruszywa oraz identyfikacji produktów reakcji alkalia-krzemionka.

Pozytywna ocena mieszaniny kruszyw przeprowadzona na podstawie badania betonu referencyjnego wg 7.1. upoważnia do akceptacji receptury producenta do tych samych zastosowań (DWN, GWN lub obiekty) przy mniejszej zawartości alkaliów aktywnych.

Pozytywna weryfikacja receptury betonu zaproponowanej przez producenta, uzyskana przy określonej zawartości cementu, upoważnia do akceptacji innej receptury do tych samych zastosowań (DWN, GWN lub obiekty) przy tym samym zestawie kruszyw, tym samym cemencie i mniejszej jego zawartości w betonie.

## 13. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Recepturę mieszanki betonowej z informacją o właściwościach i pochodzeniu składników:
  - cement,
  - kruszywo (wraz z datą i miejscem pobrania),
  - woda,
  - domieszki.
2. Właściwości mieszanki betonowej:
  - konsystencja,
  - gęstość mieszanki,
  - zawartość powietrza,

- temperatura mieszanki.
- 3. Wymiary próbek i stężenie roztworu NaCl.
- 4. Zawartość alkaliów aktywnych w mieszance betonowej (wg przykładów podanych w Wytycznych Technicznych, Załącznik 6).
- 5. Zmierzone wydłużenie, zmiana masy próbki, zmiana rezonansowego modułu sprężystości w każdym cyklu pomiarowym, tj. 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, w formie tabelarycznej.
- 6. Średnią wartość z pomiarów trzech próbek: średnie wydłużenie, średnia zmiana masy, średnia zmiana rezonansowego modułu sprężystości.
- 7. Zaobserwowane spękania (rozwarście największych rys), wycieki, przebarwienia, odpryski lub deformacje próbek. Informacje dodatkowe o warunkach wykonania próbek, jeżeli były wykonane na placu budowy.
- 8. Wyniki analizy betonu w przekrojach próbek wskazane w p.10 wraz z dokumentacją mikrofotograficzną mikrostruktury betonu.

## Załącznik 6

### Obliczenie zawartości alkaliów w betonie

#### 1. Uwagi ogólne

Recepturowe rozwiązania dotyczące doboru składników mieszanki betonowej z uwagi na zapobieganie reakcji ASR w betonie polegają na odpowiednim doborze rodzaju cementu oraz rodzaju i zawartości dodatków, dostosowanych do klasy obiektu, kategorii reaktywności kruszywa oraz kategorii środowiska. Rodzaje cementów, spełniające wymagania norm PN-EN 197-1 oraz PN-B 19707, dopuszczonych do stosowania w betonie przeznaczonym na nawierzchnie drogowe lub drogowe obiekty inżynierskie, są wskazane w odpowiednich dokumentach GDDKiA: Ogólnych Specyfikacjach Technicznych lub Warunkach Wykonania i Odbioru Robót Budowlanych (WWiORB). Ograniczenia stosowania popiołu lub żużla jako dodatków typu II do mieszanki betonowej wynikają również z odpowiednich OST i WWiORB.

W celu właściwego doboru rodzaju cementu oraz rodzaju i zawartości dodatków mineralnych, zapobiegających wystąpieniu szkodliwych skutków reakcji alkalia-krzemionka (zgodnie z p.3 Wytycznych), niezbędne jest wyznaczenie całkowitej zawartości alkaliów aktywnych w mieszance betonowej (patrz p. 5.2 Wytycznych).

#### 2. Metoda obliczenia zawartości alkaliów w betonie

Obliczenie zawartości alkaliów w betonie odnosi się do zawartości alkaliów wyrażonej jako  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ , dopuszczonej w określonej kategorii środowiska E, klasie obiektu S i kategorii reaktywności kruszywa R. Obliczenia powinny uwzględniać zawartość  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$  we wszystkich składnikach mieszanki. Wartość graniczna zawartości  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$  na  $1 \text{ m}^3$  betonu wg tablic nr 4-7 Wytycznych Technicznych jest zróżnicowana – wynosi 3,5; 3,0; 2,4 lub 1,8  $\text{kg/m}^3$ .

#### 3. Przykłady obliczania zawartości alkaliów w mieszankach według różnych receptur

Przykłady obliczania zawartości alkaliów w betonie przedstawiają warianty receptur opracowane dla przypadków kategorii środowiska E2-E3 i kategorii reaktywności kruszywa R0-R1. Obliczenia uwzględniają zapisy Wytycznych Technicznych tj. ilość alkaliów aktywnych z poszczególnych składników betonu. Do przykładowych obliczeń przyjęto zawartość cementu  $420 \text{ kg/m}^3$  w mieszance betonowej, mieszczącej się w przedziale najczęściej stosowanych zawartości  $370\text{-}430 \text{ kg/m}^3$ . Przykładowe receptury opracowano przy jednakowym współczynniku  $w/c=0,45$ ; w przypadku stosowania dodatku typu II do betonu przy określeniu współczynnika  $w/c$  uwzględnia się współczynnik efektywności  $k$  wg PN-EN 206.

##### 3.1. Receptury w przypadku kategorii reaktywności kruszywa R0

W poniższych tabelach podano przyjęty skład betonu i zawartość alkaliów w składnikach. W kolejnej tabeli podano wyniki obliczenia zawartości alkaliów w składnikach i maksymalnej zawartości alkaliów  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq max}}$  w betonie.

**Przykład nr 1; Skład mieszanki betonowej w przypadku klasy obiektu S4 i kategorii środowiska E3 dla kruszywa niereaktywnego R0 i cementu portlandzkiego CEM I NA**

Składniki betonu:	zawartość [kg/m <sup>3</sup> ]	Zawartość alkaliów w składniku [%]	Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> aktywne [%]	Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> aktywne [kg/m <sup>3</sup> ]
CEM I NA	420	0,60	0,60*0,85=0,51	$420 * \frac{0,51\%}{100\%} = 2,142$
Domieszka upłynniająca	2,0	0,40	0,40*1,00=0,40	$2 * \frac{0,40\%}{100\%} = 0,008$
Domieszka napowietrzająca	1,6	0,40	0,40*1,00=0,40	$1,6 * \frac{0,40\%}{100\%} = 0,006$
Kruszywo	1 800	0,00	0,00	0,000
Woda wodociągowa	180	0,00	0,00	0,000
Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> w mieszance betonowej [kg/m <sup>3</sup> ]				<b>2,156</b>

Zawartość alkaliów aktywnych w mieszance betonowej wynosi 2,16 kg/m<sup>3</sup> i jest niższa niż limit 2,4 kg/m<sup>3</sup> (patrz Tablica 4 Wytycznych Technicznych), zatem składniki i receptura betonu spełniają wymagania dla zastosowania kruszywa o kategorii reaktywności R0 w obiekcie klasy S4 i środowisku kategorii E3

**Przykład nr 2 Skład mieszanki betonowej w przypadku klasy obiektu S4 i kategorii środowiska E3 dla kruszywa niereaktywnego R0 i cementu portlandzkiego popiołowego CEM II/A-S NA**

Składniki betonu:	zawartość [kg/m <sup>3</sup> ]	Zawartość alkaliów w składniku [%]	Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> aktywne [%]	Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> aktywne [kg/m <sup>3</sup> ]
CEM II/A-S NA	420	0,70	0,70*0,80=0,56	$420 * \frac{0,56\%}{100\%} = 2,352$
Domieszka upłynniająca	2,0	0,40	0,40*1,00=0,40	$2 * \frac{0,40\%}{100\%} = 0,008$
Domieszka napowietrzająca	1,6	0,40	0,40*1,00=0,40	$1,6 * \frac{0,40\%}{100\%} = 0,006$
Kruszywo	1 800	0,00	0,00	0,000
Woda wodociągowa	180	0,00	0,00	0,000
Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> w mieszance betonowej [kg/m <sup>3</sup> ]				<b>2,366</b>

Zawartość alkaliów aktywnych w mieszance betonowej wynosi 2,37 kg/m<sup>3</sup> i jest niższa niż limit 2,4 kg/m<sup>3</sup> (patrz Tablica 4 Wytycznych Technicznych), zatem składniki i receptura betonu spełniają wymagania dla zastosowania kruszywa o kategorii reaktywności R0 w obiekcie klasy S4 i środowisku kategorii E3.

**Przykład nr 3 Skład mieszanki betonowej w przypadku klasy obiektu S4 i kategorii środowiska E3 dla kruszywa niereaktywnego R0 i cementu portlandzkiego popiołowego CEM II/B-V NA**

Składniki betonu:	zawartość [kg/m <sup>3</sup> ]	Zawartość alkaliów w składniku [%]	Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> aktywne [%]	Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> aktywne [kg/m <sup>3</sup> ]
CEM II/B-V NA	420	1,5	1,5*0,60=0,90	$420 * \frac{0,90\%}{100\%} = 3,78$
Domieszka upłynniająca	2,0	0,40	0,40*1,00=0,40	$2 * \frac{0,40\%}{100\%} = 0,008$
Domieszka napowietrzająca	1,6	0,40	0,40*1,00=0,40	$1,6 * \frac{0,40\%}{100\%} = 0,006$
Kruszywo	1 800	0,00	0,00	0,000
Woda wodociągowa	180	0,00	0,00	0,000
Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> w mieszance betonowej [kg/m <sup>3</sup> ]				<b>3,794</b>

Zawartość alkaliów aktywnych w mieszance betonowej wynosi 3,79 kg/m<sup>3</sup> i jest wyższa niż limit 2,4 kg/m<sup>3</sup> (patrz Tablica 4 Wytycznych Technicznych), zatem składniki i receptura betonu nie spełniają wymagań dla zastosowania kruszywa o kategorii reaktywności R0 w obiekcie klasy S4 i środowisku kategorii E3.

Rozwiązaniem może być:

- zastosowanie cementu portlandzkiego popiołowego o niższej zawartości alkaliów wyrażonych jako Na<sub>2</sub>O<sub>eq</sub>.
- zastosowanie innego cementu (patrz przykłady 1 i 2 powyżej).

### 3.2. Receptury w przypadku kategorii reaktywności kruszywa R1

**Przykład nr 4; Skład mieszanki betonowej w przypadku kategorii środowiska E3 i klasy obiektu S3 dla kruszywa R1 z zastosowaniem cementu portlandzkiego CEM I oraz aktywnego dodatku typu II do betonu – żużla**

Składniki betonu:	zawartość [kg/m <sup>3</sup> ]	Zawartość alkaliów w składniku [%]	Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> aktywne [%]	Ilość Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> aktywne [kg/m <sup>3</sup> ]
CEM I	280	0,66	$0,66 \cdot 0,85 = 0,561$	$280 \cdot \frac{0,561\%}{100\%} = 1,571$
Żużel	120	0,90	$0,9 \cdot 0,3 = 0,27$	$120 \cdot \frac{0,27\%}{100\%} = 0,235$
Domieszka upłynniająca	2,0	0,40	$0,40 \cdot 1,00 = 0,40$	$2 \cdot \frac{0,40\%}{100\%} = 0,008$
Domieszka napowietrzająca	1,6	0,40	$0,40 \cdot 1,00 = 0,40$	$1,6 \cdot \frac{0,40\%}{100\%} = 0,006$
Kruszywo	1 800	0,00	0,00	0,000
Woda wodociągowa	180	0,00	0,00	0,000
Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> w mieszance betonowej [kg/m <sup>3</sup> ]				<b>1,909</b>

Zawartość alkaliów aktywnych w mieszance betonowej wynosi 1,91 kg/m<sup>3</sup> i jest wyższa niż limit 1,8 kg/m<sup>3</sup> (patrz Tablica 5 Wytycznych Technicznych), zatem choć receptura betonu spełnia wymagania Wytycznych Technicznych dla zastosowania kruszywa R1 w obiekcie klasy S3 i środowisku kategorii E3, to nie spełnia wymagania odnośnie dopuszczalnej ilości alkaliów w aktywnych w betonie.

Rozwiązaniem może być:

- zastosowanie cementu i/lub żużla o niższej zawartości alkaliów wyrażonych jako Na<sub>2</sub>O<sub>eq</sub> (patrz przykład 5 poniżej)
- wybór innego sposobu zabezpieczenia betony przed wystąpieniem negatywnych skutków reakcji ASR, np. zastosowanie CEM III/A o zawartości Na<sub>2</sub>O<sub>eq</sub> równej 0,55% i deklarowanej zawartości żużla większej niż 50% (patrz przykład 6 poniżej).

**Przykład nr 5 Skład mieszanki betonowej w przypadku kategorii środowiska E3 i klasy obiektu S3 dla kruszywa R1 z zastosowaniem cementu portlandzkiego CEM I NA oraz aktywnego dodatku typu II do betonu – żużla**

Składniki betonu:	zawartość [kg/m <sup>3</sup> ]	Zawartość alkaliów w składniku [%]	Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> aktywne [%]	Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> aktywne [kg/m <sup>3</sup> ]
CEM I NA	210	0,50	0,50*0,85=0,425	$210 * \frac{0,425\%}{100\%} = 0,893$
Żużel	210	0,90	0,9*0,3=0,27	$210 * \frac{0,27\%}{100\%} = 0,567$
Domieszka upłynniająca	2,0	0,40	0,40*1,00=0,40	$2 * \frac{0,40\%}{100\%} = 0,008$
Domieszka napowietrzająca	1,6	0,40	0,40*1,00=0,40	$1,6 * \frac{0,40\%}{100\%} = 0,006$
Kruszywo	1 800	0,00	0,00	0,000
Woda wodociągowa	180	0,00	0,00	0,000
Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> w mieszance betonowej [kg/m <sup>3</sup> ]				<b>1,474</b>

Zawartość alkaliów aktywnych w mieszance betonowej wynosi 1,47 kg/m<sup>3</sup> i jest niższa niż limit 1,8 kg/m<sup>3</sup> (patrz Tablica 5 Wytycznych Technicznych), zatem receptura i składniki betonu spełniają wymagania Wytycznych Technicznych dla zastosowania kruszywa R1 w obiekcie klasy S3 i środowisku kategorii E3.

**Przykład nr 6; Skład mieszanki betonowej w przypadku kategorii środowiska E3 i klasy obiektu S3 dla kruszywa R1 z zastosowaniem cementu żuźlowego CEM III/A NA o deklarowanej zawartości żuźla większej niż 50%**

Składniki betonu:	zawartość [kg/m <sup>3</sup> ]	Zawartość alkaliów w składniku [%]	Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> aktywne [%]	Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> aktywne [kg/m <sup>3</sup> ]
CEM III/A NA	420	0,55	$0,55 \cdot 0,60 = 0,33$	$420 \cdot \frac{0,33\%}{100\%} = 1,386$
Domieszka upłynniająca	2,0	0,40	$0,40 \cdot 1,00 = 0,40$	$2 \cdot \frac{0,40\%}{100\%} = 0,008$
Domieszka napowietrzająca	1,6	0,40	$0,40 \cdot 1,00 = 0,40$	$1,6 \cdot \frac{0,40\%}{100\%} = 0,006$
Kruszywo	1 800	0,00	0,00	0,000
Woda wodociągowa	180	0,00	0,00	0,000
Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> w mieszance betonowej [kg/m <sup>3</sup> ]				<b>1,400</b>

Zawartość alkaliów aktywnych w mieszance betonowej wynosi 1,40 kg/m<sup>3</sup> i jest niższa niż limit 1,8 kg/m<sup>3</sup> (patrz Tablica 5 Wytycznych Technicznych), zatem receptura i składniki betonu spełniają wymagania Wytycznych Technicznych dla zastosowania kruszywa R1 w obiekcie klasy S3 i środowisku kategorii E3.



## Załącznik 7

### Informacje z przeprowadzonych badań i dotychczasowych doświadczeń

#### 1. Liczba przeprowadzonych badań w zakresie oznaczenia reaktywności alkalicznej kruszyw w okresie 2015-2018 w ramach realizacji projektu ASR-RID:

Liczba próbek poddanych badaniu w ICiMB:

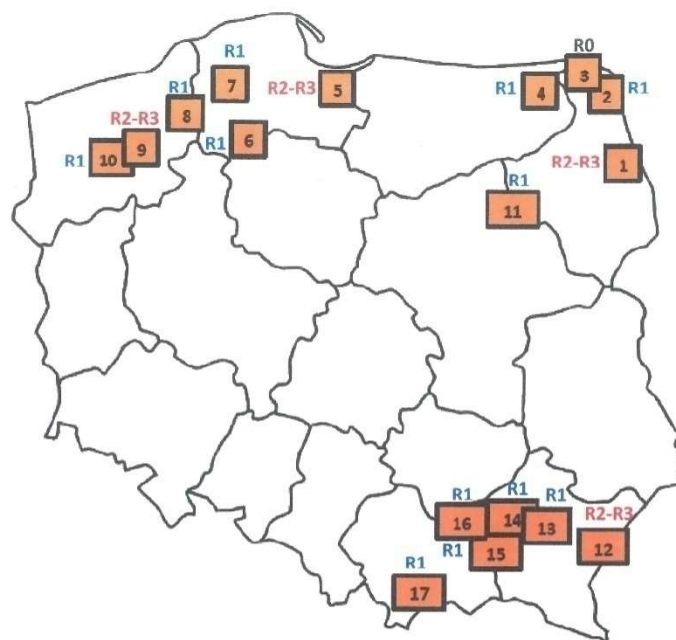
- kruszywa przekruszonego, litego krzemionkowego – 15,
- kruszywa przekruszonego, litego krzemionkowo-wapiennego – 7,
- kruszywa przekruszonego, litego wapiennego – 7,
- kruszywa przekruszonego, okruchowego krzemionkowego – 50,
- kruszywa przekruszonego, okruchowego krzemionkowo-wapiennego – 78.

Ogółem 157 prób naturalnego kruszywa przekruszonego.

W IPPT PAN badaniu i analizie poddano 45 różnych kruszyw:

- grubych, 31 (27 ze skał litych oraz 4 przekruszonych ze złóż polodowcowych),
- drobnych, 14 (4 pochodzenia rzecznego, 9 kopalnych i 1 łamany).

Na rysunkach Z7.1 i 2 przedstawiono lokalizację miejsc poboru próbek w ramach projektu ASR-RID w aspekcie ich kategorii reaktywności. W tabelach Z7.1-4 zestawiono wyniki badań reaktywności kruszyw przeprowadzonych w ramach programu badawczego Projektu ASR-RID.



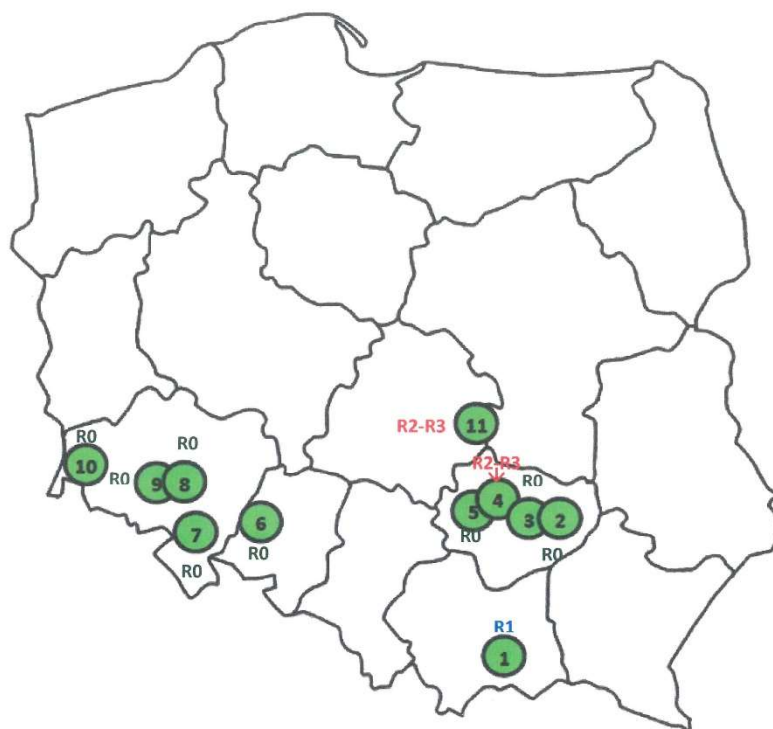
Kategoria reaktywności kruszywa

R0 – niereaktywne

R1 – umiarkowanie reaktywne

R2-R3 – silnie i bardzo silnie reaktywne

**Rysunek Z7.1. Rozmieszczenie kruszyw łamanych pochodzących z przekruszenia skał o genezie lodowcowej i rzeczno-lodowcowego w Polsce z podziałem na kategorie reaktywności**



Kategoria reaktywności kruszywa

R0 – niereaktywne

R1 – umiarkowanie reaktywne

R2-R3 – silnie i bardzo silnie reaktywne

**Rysunek Z7.2. Rozmieszczenie kruszyw łamanych ze skał litych w Polsce z podziałem na kategorie reaktywności**

**Tabela Z7.1. Klasyfikacja kruszywa wg kategorii reaktywności - OSiMB**

Badane kruszywo		Parametry reaktywności kruszywa					
		Sc [mmol/l]	Reaktywność	Ekspansja zaprawy [%]	Ekspansja betonu [%]	Klasyfikacja kruszyw wg Tabelicy 1 Wytycznych Technicznych	
		ASTM C289	Analiza petrograficzna wg RILEM AAR-1	ASTM C 1260 po 14 dniach	ASTM C1293 po 365 dniach		
Kruszywo ze skały litej	Skaly Magmowe	Granit	15,2-16,4	II-S	0,043 - 0,034	0,014	R0
			15,9	II-S	0,048	nb	R0
			28,1	II-S	0,124	nb	R1
			nb	II-S	0,051	nb	R0
			nb	II-S	0,058	nb	R0
		Granodioryt	nb	II-S	0,11	nb	R1
			nb	II-S	0,050	0,013	R0
			Bazalt	31,4-33,5	II-S	0,002-0,02	0,000
		Melafir	13,5	II-S	0,002	nb	R0
			nb	II-S	0,223-0,264	nb	R1
	nb		II-S	0,162-0,227	nb	R1	
	Gabro	nb	II-S	0,014	nb	R0	
		nb	II-S	0,012	nb	R0	
	Diabaz	nb	II-S	0,16-0,241	nb	R1	
	Porfir	nb	II-S	0,191-0,127	0,008	R1*)	
	Skaly metamorficzne	Amfibolit	10,5	II-S	0,009	0,025	R0
		Gnejs	nb	II-S	0,061	nb	R0
			nb	II-S	0,089	nb	R0
Skaly	Kwarcyt	23-55,7	II-S	0,284-0,360	0,036	R1	

Wytyczne techniczne klasyfikacji kruszyw krajowych i zapobiegania reakcji alkalicznej w betonie stosowanym w nawierzchniach dróg i drogowych obiektach inżynierskich, aktualizacja listopad 2021

	<b>Piaskowiec</b>		110,3	II-S	0,276	nb	R1
	<b>Dolomit krystaliczny</b>		430	I	-0,001	0,030	R0
	<b>Wapień krystaliczny</b>		14	I	-0,015	0,015	R0
			2,4	I	0,000	0,001	R0
<b>Kruszywa pochodzenia rzeczniolodowcowego</b>			1,44-4,88	II-S	0,05-0,096	0,033	R0
			nb	II-S	0,135-0,20	nb	R1
			nb	II-S	0,08-0,083	nb	R0
			8,2	II-SC	0,224	nb	R1
			3,8-4,1	II-SC	0,172-0,227	nb	R1
			nb	III-S	0,171-0,279	0,082	R1
			nb	II-SC	0,291-0,382	nb	R2
			nb	II-SC	0,244-0,281	nb	R1
			nb	II-SC	0,218-0,242	nb	R1
			105,6	II-S	0,199	nb	R1
			97,4-101,2	II-S	0,229	nb	R1
			146-225	II-S	0,334	0,11	R2
			24,2-44,6	II-S	0,238-0,267	nb	R1
			104-109	II-S	0,089-0,123	nb	R1
			nb	II-SC	0,255	nb	R1
		nb	II-SC	0,339-0,396	0,085	R2	
Nb- niebadane							

**Tabela Z7.2. Klasyfikacja kruszywa grubego wg kategorii reaktywności – IPPT PAN**

Lp.	nazwa kruszywa	kopalnia	ekspansja próbek zapraw, %		ekspansja próbek betonowych, %	kategoria reaktywności kruszywa
			Metoda przyspieszona PB/1/18 (w 80°C i 1 M NaOH)		Metoda długoterminowa PB/2/18 (w 38°C i RH >95%)	
			cement Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> = 0.88%	cement Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> = 1.12%	cement Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> = 0.88%	
			14 dni	14 dni	365 dni	
1	bazalt	█	0,01	0,01	0,03	R0
2	porfir	█	0,15	0,16	0,04	R1
3	melafir	█	0,19	nb	nb	R1
4	melafir	█	0,19	nb	nb	R1
5	melafir	█	0,19	nb	nb	R1
6	granit	█	0,05	0,07	0,04	R0
7	granit	█	0,05	0,08	0,03	R0
8	granit	█	0,08	0,10	0,05	R1*
9	granit	█	0,06	0,08	0,05	R1*
10	granit	█	0,07	0,09	0,04	R0
11	granit	█	0,04	0,04	nb	R0
12	gabro	█	0,02	0,02	nb	R0
13	gabro	█	0,00	0,01	nb	R0
14	granodioryt	█	0,09	0,13	0,025 (180 dni)	R1
15	szarogłaz	█	0,26	0,27	0,09	R1
16	szarogłaz	█	0,31	0,27	nb	R2
17	piaskowiec	█	0,27	nb	nb	R1
18	piaskowiec	█	0,34	nb	nb	R2
19	wapień	█	0,03	0,04	0,03	R0
20	wapień	█	0,00	nb	0,03	R0
21	wapień	█	0,03	nb	0,020 (180 dni)	R0
22	wapień	█	0,00	nb	nb	R0
23	wapień dolomityczny	█	0,01	nb	nb	R0
24	dolomit	█	0,06	nb	0,03	R0
25	kwarcyt	█	nb	0,36	nb	R2
26	granitognejs	█	0,13	0,17	nb	R1
27	amfibolit	█	0,05	nb	0,028 (180 dni)	R0

28	grys ze skał polodowcowych	██████	0,09	0,09	0,03	R0
29	grys ze skał polodowcowych	██████	0,26	0,25	0,05	R1
30	grys ze skał polodowcowych	██████	0,08	0,09	0,04	R1
31	grys ze skał polodowcowych	██████	0,11	nb	nb	R1

**\* Uwagi dotyczące szczególnego przypadku reaktywności granitów**

W obszarze obowiązywania „Katalogu typowych konstrukcji drogowych obiektów mostowych i przepustów” (Ministerstwo Infrastruktury, 13.06.2019) stwierdza się, że „krajowe doświadczenia potwierdzają przydatność kruszyw grubych łamanych ze skał, takich jak: bazalt, granit, amfibolit, gabbro”. Mimo to występują przypadki niezgodności oceny reaktywności alkalicznej kruszyw ze skał granitowych określanej różnymi metodami. Nie jest oczywiste, że metoda długoterminowa badania ekspansji próbek betonowych jest tu decydująca, jeżeli długoletnie obserwacje obiektów inżynierskich potwierdzają oczekiwaną trwałość. Dane literaturowe podają [1], że granity występujące w różnych krajach, np. Portugalia, Norwegia czy Malezja mogą wykazywać podatność na reakcję alkaliczną, ale wynika ona z różnych powodów. Stwierdzono, że w reakcji bierze udział kwarc odkształcony i mikrokrystaliczny kwarc, również że żel ASR tworzy się w gruboziarnistym i zasadniczo pozbawionym odkształceń kwarcu. Zróżnicowanie reaktywności może być związane ze zróżnicowaniem kąta wygaszania w ziarnach kwarcu odkształconego. W przypadku dwóch kruszyw granitowych (wiersz 8 i 9 w tabeli 2) stwierdzono niezgodność klasyfikacji na podstawie ekspansji próbek zaprawy i betonu, przy wydłużeniach bliskich kryterium R0. W takim przypadku wymagana jest ocena eksperta, która powinna być oparta m.in. o rozpoznanie produktów reakcji w betonie. Należy wziąć pod uwagę jednorodność mineralogiczną kruszywa oraz dane historyczne, dotyczące zastosowania tego kruszywa w już istniejących drogowych obiektach inżynierskich i betonowych nawierzchniach dróg.

[1] D. Józwiak-Niedźwiedzka, A. Antolik, K. Dziedzic, M.A. Glinicki, K. Gibas, Weryfikacja odporności wybranych kruszyw ze skał magmowych na reakcję z alkalią, Roads and Bridges - Drogi i Mosty, 18, 1, 2019, 67-83; doi: 10.7409/rabdim.019.005

**Tabela Z7.3. Klasyfikacja reaktywności kruszywa drobnego – OSiMB i IPPT PAN**

Lp.	jednostka przeprowadzająca badanie	nazwa kruszywa	kopalnia	ekspansja próbek zapraw, %		ekspansja próbek betonowych, %	przyczyna ekspansji, reaktywny składnik	kategoria reaktywności kruszywa
				ekspansja w 80°C i 1 M NaOH wg OST Zał. 1 (PB/1/18)		ekspansja w 38°C i RH >95% wg OST Zał. 2(PB/2/18)		
				CEMENT Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> = 0,88%	CEMENT Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> = 1,12%	CEMENT Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> = 0,88%		
				14 dni	14 dni	365 dni		
1	IPPT PAN	piasek	██████	0,24	0,27	—	kwarce krypto., mikro	R1
2		piasek przesiany wg ASTM C1260	██████	0,27	0,30	—	kwarce krypto., mikro	R1
3		piasek	██████	0,04	0,07	—	—	R0
4		piasek	██████	0,12	—	—	—	R0
5		piasek	██████	0,14	—	—	—	R0
6		piasek	██████	0,09	—	—	—	R0
7		piasek	██████	0,23	—	—	kwarce krypto., mikro	R1
8		piasek	██████	0,18	—	—	kwarce krypto., mikro	R1
9		piasek	██████	0,08	—	—	—	R0
10		piasek	██████	0,32	—	—	kwarce krypto., mikro	R2
11		piasek	██████	0,14	—	—	—	R0
12		piasek	██████	0,15	—	—	—	R0
13		piasek	██████	0,28	—	—	kwarce krypto., mikro	R1
14		piasek	██████	0,01	0,02	—	—	R0
15	OSiMB	piasek	██████	0,26	—	—	nb	R1
16		piasek	██████	0,14	—	—	—	R0
17		piasek	██████	0,13	—	—	—	R0

nb – nie badano



**Tabela Z7.4. Wyniki badania reaktywności mieszaniny kruszyw mineralnych w betonie w warunkach cyklicznego oddziaływania temperatury 60°C i zewnętrznego dostępu alkaliów wg PB/5/18– IPPT PAN**

Lp.	kruszywo grube		kruszywo drobne		cement	zawartość cementu, kg/m <sup>3</sup>	w/c	ekspansja próbek betonowych, %
	nazwa kruszywa	kopalnia	nazwa kruszywa	kopalnia				
1	granit	██████	piasek wapienny	██████	CEM I 42,5 R	360	0,45	0,026
2			piasek kwarcowy kopalny	██████	CEM I 42,5 R	360	0,45	0,037
3			piasek kwarcowy rzeczny	██████	CEM I 42,5 R	360	0,45	0,087
4	granit	██████	piasek wapienny	██████	CEM I 42,5 R	360	0,45	0,024
5	granit	██████	piasek wapienny	██████	CEM I 42,5 R	360	0,45	0,021
6	granit	██████	piasek wapienny	██████	CEM I 42,5 R	360	0,45	0,016
7	granodioryt	██████	piasek wapienny	██████	CEM I 42,5 R	360	0,45	0,032
8			piasek kwarcowy rzeczny	██████	CEM I 42,5 R	360	0,45	0,076
9	amfibolit	██████	piasek wapienny	██████	CEM I 42,5 R	360	0,45	0,018
10			piasek kwarcowy kopalny	██████	CEM I 42,5 R	360	0,45	0,026
11			piasek kwarcowy rzeczny	██████	CEM I 42,5 R	360	0,45	0,045
12	amfibolit	██████	piasek kwarcowy kopalny	██████	CEM I 42,5 R	360	0,45	0,027
13			piasek kwarcowy rzeczny	██████	CEM I 42,5 R	360	0,45	0,045
14	grys ze skał polodowcowych	██████	piasek kwarcowy rzeczny	██████	CEM I 42,5 R	360	0,45	0,112

Wytyczne techniczne klasyfikacji kruszyw krajowych i zapobiegania reakcji alkalicznej w betonie stosowanym w nawierzchniach dróg i drogowych obiektach inżynierskich, aktualizacja listopad 2021

15	grys ze skał polodowcowych	■	piasek kwarcowy rzeczny	■	CEM I 42,5 R	360	0,45	0,053
16	grys ze skał polodowcowych	■	piasek kwarcowy rzeczny	■	CEM I 42,5 R	360	0,45	0,042
17	wapień	■	piasek wapienny	■	CEM I 42,5 R	360	0,45	0,023
18			piasek kwarcowy kopalny	■	CEM I 42,5 R	360	0,45	0,029

(KONIEC)



**Końcowy wynik Projektu: REAKTYWNOŚĆ ALKALICZNA KRAJOWYCH KRUSZYW  
(DZP/RID-I-37/6/NCBR/2016)**

**realizowanego w ramach Wspólnego Przedsięwzięcia Rozwój Innowacji  
Drogowych, finansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań  
i Rozwoju oraz Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad**