

## Załącznik 1

### Procedura Badawcza GDDKiA PB/1/18

#### Instrukcja badania reaktywności kruszyw metodą przyśpieszoną 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 wzłużnej.

#### 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) umożliwiająca wykonanie próbek o wymiarach  $25 \pm 2 \times 25 \pm 2 \times 285 \pm 2$  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  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $\text{RH} \geq 95\%$ .
- 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 3 próbek można przyjąć za równą 552 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  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

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. Wsuszyć 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  $< 2\text{mm}$  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  $30,0\text{ MPa}$  zgodnie z PN-EN 197-1<sup>1</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  $250\ \mu\text{m}$  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  $0,1\text{ mm}$ . 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  $2,45\text{ kg}/\text{dm}^3$  lub więcej. W przypadku kruszyw o gęstości mniejszej od  $2,45\text{ kg}/\text{dm}^3$  należy zastosować pkt 8.5.3.1 PB/4/18.

Masa suchych składników koniecznych jednorazowo do wykonania porcji zaprawy cementowej, wystarczającej na 3 próbki, powinna wynosić:  $440\text{ g}$  cementu i  $990\text{ g}$  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 zgodnie z PN-EN 196-1.

8.4.5. Formowanie próbek zaprawy - formować próbki zaprawy w ciągu czasu nie dłuższego niż  $2\text{ min i }15\text{ s}$ , 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

---

<sup>1</sup> Materiał referencyjny do badań spełniający wyszczególnione wymagania można nabyć w Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytucje Ceramiki i Materiałów Budowlanych, ul. Cementowa 8, 31-983 Kraków, +48 12 683 79 11, sekretariat@icimb.lukasiewicz.gov.pl

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  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  i wilgotnością nie mniejszą niż 95% 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:

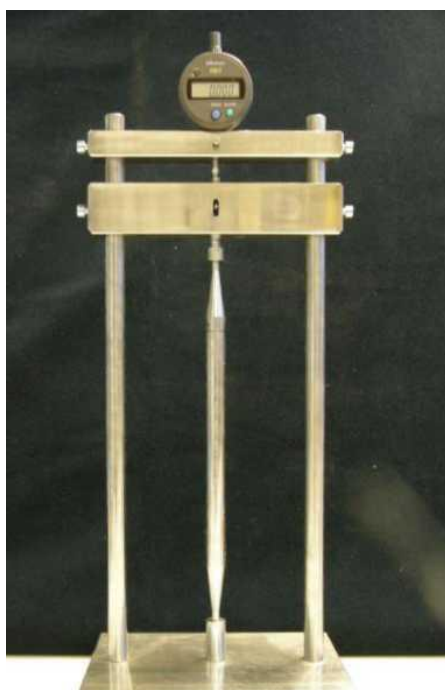
- W literaturze cytowanej w ASTM C1260 stwierdzono, że niektóre granitognejsy i metabazalty wykazują ekspansję w zastosowaniach rzeczywistych, pomimo, że 14-dniowa zmiana długości próbek zaprawy z tymi kruszywami była mniejsza niż 0,10%. W przypadku takich kruszyw zaleca się analizę obserwacji z praktycznych 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, istnieje możliwość uzyskania danych uzupełniających, które potwierdzą, że ekspansja wystąpiła z powodu reakcji alkalia-krzemionka w kruszywie. Źródło takich informacji dodatkowych mogą stanowić: (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.

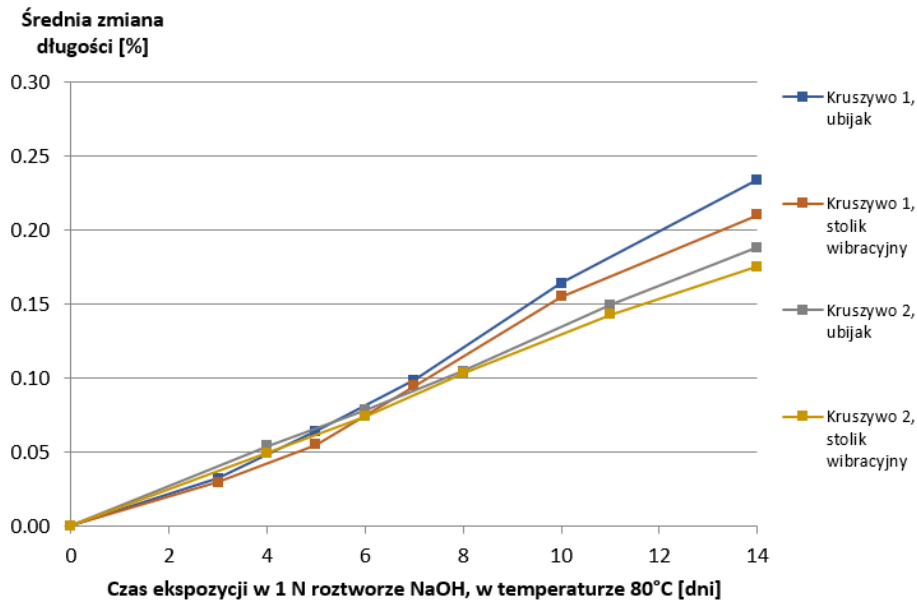
Newralgicznymi elementami metodyki pomiarów wydłużenia próbek zaprawy jest powtarzalność i szybkość wykonania pomiarów długości próbek tuż po wyjęciu z roztworu NaOH. Próbka zaprawy o niewielkim przekroju poprzecznym ulega szybkiemu ochładzaniu i wysychaniu po wyjęciu z roztworu NaOH o temperaturze 80°C. 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±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 przyśpieszoną 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, stolik 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  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{RH} \geq 95\%$ .

- 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  $RH \geq 95\%$  przez cały czas ich przechowywania w komorze termostaticznej.
- 5.8. Komora termostaticzna 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 95%). 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 wyflukanych 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  $\mu\text{m}$ .

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>2</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  $\mu\text{m}$  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  $420\pm 10 \text{ kg}/\text{m}^3$ .

8.3.3.2. Powyższą zawartość cementu stosuje się w wersji podstawowej procedury, gdy

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



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).

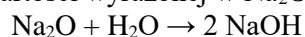
8.3.3.3. Współczynnik wodno-cementowy ( $w/c$ ) należy utrzymać w przedziale od 0,42 do 0,45. Współczynnik  $w/c$  należy wybrać tak, aby osiągnąć wystarczającą urabialność mieszanki, która pozwoli na odpowiednie jej zagęszczenie w formach. Jeżeli niemożliwe jest uzyskanie odpowiedniej urabialności mieszanki 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 <sub>2</sub> O	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  $Na_2O_{eq}$ .

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 kg/m<sup>3</sup> jak w wersji podstawowej procedury, należy ją obniżyć do 1,80 kg/m<sup>3</sup>. 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±2°C w warunkach wysokiej wilgotności (RH≥90%, najlepiej przykryte szczelnie folią) przez 24±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±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  $\text{RH}\geq 95\%$ .

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, 39 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  $16\pm 4\text{h}$ , temp.  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{RH}\geq 95\%$ . Próbkę 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. Próbkę 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). Próbkę 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],

$L_o$  - 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: 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:

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

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

$m_o$  - 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.

### 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 tlenku potasu, tlenku 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

- 14.1. 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.

- 14.2. 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. Zaobserwowane składniki potencjalnie reaktywne w kruszywie należy udokumentować w postaci mikrofotografii wraz z opisem.
- 1.2. Analiza petrograficzna może być również stosowana wg potrzeb w przypadkach konieczności rozpoznania 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 produkty reakcji alkalia-krzemionka w próbkach zaprawy lub betonu należy udokumentować w postaci mikrofotografii wraz z opisem.
- 1.3. 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.*

- 1.4. 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.
- 1.5. 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. Próbki 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 (żwiry, 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. żwiry, 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: wapień, wapień dolomityczny, dolomity wapieniste, dolomity,
- skały przejściowe pomiędzy skałami węglanowymi a okruchowymi: wapień 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 skal 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-skaleniovą, 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 radiolarii i/lub okrzemek)
ziemia okrzemkowa, diatomit, radiolaryt, spongiolit,	chalcedon, opal, kwarc mikrokrystaliczny i/lub kryptokrystaliczny	ziemia okrzemkowa – głównym składnikiem jest opal
krzemień, czert, rogowiec	chalcedon, opal, kwarc mikrokrystaliczny i/lub kryptokrystaliczny	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.

W przypadkach wątpliwych analizę petrograficzną można rozszerzyć o badania składu chemicznego kruszywa wg normy CAN/CS5;A 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 umożliwia 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 zaniżać wartość wydłużenie w przypadku zastosowania popiołu lotnego krzemionkowego o całkowitej zawartości  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} > 4,0\%$ . 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 łopatki 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  $13 \times 15$  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  $20 \pm 2$  °C,  $RH \geq 95\%$ .

**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

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 wydłużenia 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 zaadaptowana 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**

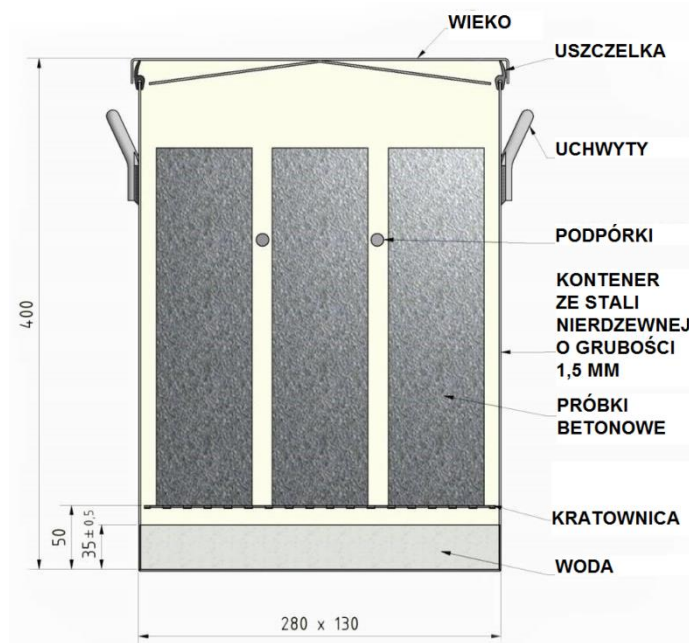
**5.1. Sita** – sita o otworach kwadratowych, z materiału tkanego z drutu/ blachy perforowanej, o wymiarach boku oczka 22,4 mm, 16,0 mm, 8,0 mm, 4,0 mm, 2,0 mm, 1,0 mm, 0,5 mm, 0,25 mm i 0,125 mm zgodne z PN-ISO 565.

**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  $285 \pm 10$  mm i przekroju  $75 \pm 5$  mm. Końce form powinny posiadać płytki z otworami umożliwiające 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  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $\text{RH} \geq 95\%$ .
- 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 95%.

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>3</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 drogowe obiekty inżynierskie. 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:

---

<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

- a) na górną warstwę nawierzchni drogowej
- zawartość cementu: 430 kg/m<sup>3</sup>,
  - 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

Mieszankę 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.



Mieszanekę 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 95% 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 $\geq 95\%$ (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	Nasycanie 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 cieplance 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 termostaticznej 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 termostaticznej 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 termostaticznej 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 cieplno-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 (rozwarcie 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 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 [%]	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ aktywne [%]	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ aktywne [kg/m <sup>3</sup> ]
CEM I NA	420	0,60	$0,60 \cdot 0,85 = 0,51$	$420 \cdot \frac{0,51\%}{100\%} = 2,142$
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
$\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ 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 [%]	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ aktywne [%]	$\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ aktywne [kg/m <sup>3</sup> ]
CEM II/A-S NA	420	0,70	$0,70 \cdot 0,80 = 0,56$	$420 \cdot \frac{0,56\%}{100\%} = 2,352$
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
$\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ w mieszance betonowej [kg/m <sup>3</sup> ]				<b>2,366</b>



Zawartość alkaliów aktywnych w mieszance betonowej wynosi  $2,37 \text{ kg/m}^3$  i jest niższa niż limit  $2,4 \text{ kg/m}^3$  (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	$1,5 \cdot 0,60 = 0,90$	$420 \cdot \frac{0,90\%}{100\%} = 3,78$
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>3,794</b>

Zawartość alkaliów aktywnych w mieszance betonowej wynosi  $3,79 \text{ kg/m}^3$  i jest wyższa niż limit  $2,4 \text{ kg/m}^3$  dla nawierzchni dróg lub  $3,0 \text{ kg/m}^3$  dla drogowych obiektów inżynierskich oraz elementów konstrukcji bardzo trudnych do wymiany lub naprawy (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*0,85=0,561	$280 * \frac{0,561\%}{100\%} = 1,571$
Żużel	120	0,90	0,9*0,3=0,27	$120 * \frac{0,27\%}{100\%} = 0,235$
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>1,909</b>

Zawartość alkaliów aktywnych w mieszance betonowej wynosi 1,91 kg/m<sup>3</sup> i jest niższa niż limit 2,4 kg/m<sup>3</sup> (patrz Tablica 5 Wytycznych Technicznych), zatem składniki i receptura betonu spełniają wymagania Wytycznych Technicznych dla zastosowania kruszywa R1 w obiekcie klasy S3 i środowisku kategorii E3

**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>

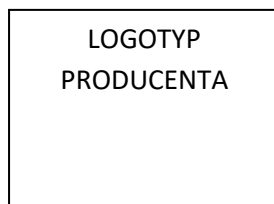
Zawartość alkaliów aktywnych w mieszance betonowej wynosi  $1,47 \text{ kg/m}^3$  i jest niższa niż limit  $2,4 \text{ kg/m}^3$  (patrz Tablica 5 Wytycznych Technicznych), zatem receptura i składniki betonu spełniają wymagania Wytycznych Technicznych dla zastosowania kruszywa R1 w obiekcie klasy S3 i 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  $1,40 \text{ kg/m}^3$  i jest niższa niż limit  $2,4 \text{ kg/m}^3$  (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



**INFORMACJA UZUPEŁNIAJĄCA O WYROBIE BUDOWLANYM**  
**Nr ..... W ODNIESIENIU DO DEKLARACJI WŁAŚCIWOŚCI UŻYTKOWYCH**  
**Nr .....**

Deklarowane właściwości użytkowe wykraczające poza zakres zastosowań określonych w tablicy ZA.1 normy zharmonizowanej EN 12620:2002+A1:2008

1. Niepowtarzalny kod identyfikacyjny typu wyrobu: .....

2. Zamierzone zastosowanie lub zastosowania: .....

3. Producent: .....

4. Deklarowane właściwości: .....

Właściwości	Metoda badawcza	Wartość, kategoria, opis
Opis petrograficzny	GDDKiA <sub>PB/3/18</sub>	Opis uproszczony + identyfikacja składników potencjalnie reaktywnych
Reaktywność alkaliczno-krzemionkowa (ASR)	GDDKiA <sub>PB/1/18</sub>	zgodnie z WT tab. 1
	GDDKiA <sub>PB/2/18</sub>	zgodnie z WT tab. 1

W imieniu producenta podpisał: ....., Pełnomocnik ZKP

.....

Miejsce i data wydania

.....

Podpis

## Załącznik 8

LOGOTYP  
PRODUCENTA

**INFORMACJA UZUPEŁNIAJĄCA O WYROBIE BUDOWLANYM**  
**Nr ..... W ODNIESIENIU DO DEKLARACJI WŁAŚCIWOŚCI UŻYTKOWYCH**  
**Nr .....**

Deklarowane właściwości użytkowe wykraczające poza zakres zastosowań określonych w tablicy ZA.1 normy zharmonizowanej EN 12620:2002+A1:2008

**1. Niepowtarzalny kod identyfikacyjny typu wyrobu: .....**

**2. Zamierzone zastosowanie lub zastosowania: .....**

**3. Producent: .....**

**4. Deklarowane właściwości<sup>1</sup>:**

Właściwości	Metoda badawcza	Wartość, kategoria, opis
Opis petrograficzny	GDDKiA <sub>PB/3/18</sub>	Opis uproszczony + identyfikacja składników potencjalnie reaktywnych + skład chemiczny (SiO <sub>2</sub> , CaO, MgO i Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ),
Reaktywność alkaliczno-węglanowa (ACR)	GDDKiA <sub>PB/2/18</sub> zmodyfikowana	< 0,03% lub ≥ 0,03%
Reaktywność alkaliczno-krzemionkowa (ASR)	GDDKiA <sub>PB/1/18</sub>	zgodnie z WT tab. 1
	GDDKiA <sub>PB/2/18</sub>	zgodnie z WT tab. 1

<sup>1</sup> Zakres deklarowanych właściwości zgodny z WT rozdz. 2.2.2

W imieniu producenta podpisał: ....., Pełnomocnik ZKP

.....

Miejsce i data wydania

.....

Podpis