

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 zhamowania niszczącej ekspansji w betonie.

2. BHP

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

3. Dokumenty powołane

AASHTO R 80-17, Standard Practice for Determining the Reactivity of Concrete Aggregates and Selecting Appropriate Measures for Preventing Deleterious Expansion in New Concrete Construction, American Association of State Highway and Transportation Officials

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

RILEM Recommended Test Method: AAR-3—Detection of Potential Alkali-Reactivity—38°C Test Method for Aggregate Combinations Using Concrete Prisms, RILEM Recommendations for the Prevention of Damage by Alkali-Aggregate Reactions in New Concrete Structures. State-of-the-Art Report of the RILEM Technical Committee 219-ACS Vol. 17, Nixon P.J. and Sims I. (Eds.), Springer, 2016

4. Terminologia

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

5. Aparatura

5.1. Sita - o otworach kwadratowych, z materiału tkanego z drutu/ blachy perforowanej o wymiarach boku oczka⁷ 22,4; 16,0; 8,0; 4,0; 2,0; 1,0; 0,5; 0,25 i 0,125 mm, zgodne z PN-ISO 565.

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

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

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

5.5. Komora wilgotnościowa – przeznaczona do przechowywania próbek betonowych w

⁷ Zmiana odnośnie do D-05.03.04. Załącznik 2: dodano wyrażenie „boku oczka”.

warunkach $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$, $\text{RH} > 95\%$.⁸

- 5.6. Formy - formy umożliwiające wykonanie trzech próbek o długości 250 ± 50 mm i boku 75 ± 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 ± 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 $\text{RH} > 95\%$ przez cały czas ich przechowywania w komorze termostatycznej.
- 5.8. Komora termostatyczna ze sterowaniem poziomu temperatury $38,0 \pm 2,0^{\circ}\text{C}$.
- 5.9. Urządzenie pomiarowe - Przyrząd do pomiaru zmian długości stanowi okrągły mikrometr lub inny przyrząd pomiarowy z podziałką 0,001 mm i z dokładnością 0,003⁹ mm. Zakres pomiarowy -przynajmniej ± 10 mm. Konstrukcja przyrządu powinna umożliwiać kontrolę urządzenia pomiarowego przy użyciu pręta referencyjnego z invaru. Zewnętrzna długość pręta kalibracyjnego powinna wynosić $295 \pm 0,1$ 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 referencyjne¹⁰ - 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 20-22,5 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

⁸ Zmiana odnośnie do D-05.03.04. Załącznik 2: uzupełniono opis aparatury.

⁹ Zmiana odnośnie do D-05.03.04. Załącznik 2: doprecyzowanie zgodnie z dokładnością urządzeń dostępnych na rynku

¹⁰ Zmiana odnośnie do D-05.03.04. Załącznik 2: uzupełnienie opisu czopików referencyjnych

bezpieczeństwa. NaOH może powodować bardzo poważne oparzenia lub uszkodzenia niechronionej skóry lub oczu. Zawsze należy stosować właściwe środki ochrony osobistej. Środki powinny obejmować: całkowitą ochronę twarzy, gumowy fartuch i rękawice nieprzepuszczalne dla NaOH.

7. Warunki prowadzenia badań

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

8. Pobieranie próbek kruszywa i przygotowanie próbek betonów

8.1. Wybór kruszywa

Do określenia reaktywności kruszywa należy przygotować jedną lub dwie z następujących kombinacji 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 normy ASTM C1260 i RILEM AAR-2 (według Instrukcji w Załączniku 1). 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 ¹¹ (mm)	Udział 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

8.2. Wybór cementu:

Cement referencyjny - stosować cement portlandzki CEM I 52,5 lub 42,5 R zgodny z PN-EN 197-1 o zawartości alkaliów $0,9 \pm 0,1\%$ wyrażonej jako ekwiwalent tlenku sodu $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ ($\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \times \text{K}_2\text{O}$). Zawartość alkaliów w cemencie należy wyznaczyć na podstawie badań lub certyfikatu od producenta. Aby zwiększyć zawartość alkaliów w mieszance, do $1,25 \pm 0,05\%$ masy cementu, wyrażoną jako ekwiwalent Na_2O , należy dodać NaOH do wody zarobowej.

Uwaga: Zawartość alkaliów wyrażona jako ekwiwalent Na_2O równy 1,25% została przyjęta, aby przyspieszyć proces ewentualnej ekspansji, a nie aby odzwierciedlić warunki zastosowań praktycznych. Przy zawartości cementu 420 kg/m^3 odpowiada to zawartości $5,25 \text{ kg/m}^3$ 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 $420 \pm 10 \text{ kg/m}^3$.

8.3.3.2. Powyższą zawartość cementu stosuje się w wersji podstawowej procedury, gdy ocenie poddawana jest podatność kruszywa na reakcję alkalia-krzemionka w betonie. W wersji z dodatkiem mineralnym, gdy ocenie poddawana jest kombinacja kruszywa i dodatku mineralnego w mieszance betonowej, należy zastąpić część masy cementu odpowiednią masą dodatku mineralnego. Dodatki mineralne powinny wykazywać zgodność z odpowiednimi normami: PN-EN 206,

¹¹ Zmiana odnośnie do D-05.03.04. Załącznik 2: zamieniono „średnicę” na wyrażenie „wymiar boku oczka”

PN-EN 450-1 (popiół lotny), PN-EN 15167-1 (granulowany żużel wielkopieczowy).

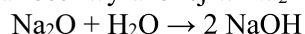
8.3.3.3. Współczynnik wodno-cementowy (w/c) - należy utrzymać w przedziale od 0,42 do 0,45. Współczynnik w/c należy wybrać tak, tak aby osiągnąć wystarczającą urabialność mieszanki, która pozwoli na odpowiednie jej zagęszczenie w formach. Jeżeli niemożliwe jest uzyskanie odpowiedniej urabialności mieszanki 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 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ 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 m³ = 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 $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$.
Poniżej podano sposób przeliczenia wartości wyrażonej w Na_2O na NaOH:



Składnik	Masa molowa
Na_2O	61,98
NaOH	39,997

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

Ilość NaOH jaką należy dodać do mieszanki betonowej:

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

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

Zawartość cementu na 1 m³ = 420 kg
Zawartość popiołu lotnego w betonie = 420 kg x 0,2 = 84 kg
Zawartość cementu w betonie = 420 kg x 0,8 = 336 kg
Zawartość alkaliów w betonie = 336 kg x 0,90% = 3,02 kg
Wymagana zawartość alkaliów w betonie = 336 kg x 1,25% = 4,20 kg
Ilość alkaliów niezbędna do dodania do mieszanki betonowej = 4,20 kg - 3,02 kg = 1,18 kg
Wyliczona ilość alkaliów jaką należy dodać do mieszanki betonowej (1,18 kg) jest wyrażona jako $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$.

Ilość NaOH jaką należy dodać do mieszanki betonowej:

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

8.3.3.5. W przypadku procedury zmodyfikowanej, przeznaczonej do rozpoznania reaktywności alkalia-węglany, zawartość cementu pozostaje bez zmian. Modyfikacja dotyczy zawartości alkaliów w mieszance betonowej: zamiast 5,25 kg/m³ jak w wersji podstawowej procedury, należy ją obniżyć do 1,80 kg/m³. 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 termostaticznej w temperaturze $38 \pm 2^\circ\text{C}$ przy zachowaniu warunków wysokiej wilgotności względnej powietrza w pojemnikach z próbkami $\text{RH} > 95\%$.
- 9.3. Dalsze pomiary - wykonywać okresowo kolejne odczyty zmian liniowych długości próbek betonowych (L_x) oraz masy próbek (m_x) po upływie 7 i 28 dni oraz 2, 4, 13, 26 i 52 tygodni od zaformowania. Nie należy wykonywać pomiarów pośrednich. W przypadku wolno reagujących kruszyw, bazując na lokalnym doświadczeniu, można wydłużyć czas przechowywania próbek w komorze termostaticznej do 2 lat, z pomiarem co 3 miesiące w okresie drugiego roku. Przed każdym pomiarem wyjąć pojemniki z próbkami z komory termostaticznej i przenieść do komory wilgotnościowej na 16 ± 4 h, temp. 23°C , $\text{RH} > 95\%$. 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° ($\uparrow\downarrow$) jeżeli przechowywane są w pionie lub o 90° 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°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:

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

ΔL - zmiana długości próbki [%],

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

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

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

Uwaga¹²: 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 (Δm) w każdym okresie przechowywania zgodnie ze wzorem:

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

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

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

Przedstawić średnią zmianę masy z trzech próbek betonowych.

11. Dopuszczalna różnica między wynikami

11.1. Badania wykonane w różnych laboratoriach

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

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

¹²Uzupełnienie odnośnie do D-05.03.04. Załącznik 2

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 różni się od urządzeń wyspecyfikowanych powyżej.

14. Interpretacja wyników badania, modyfikacja procedury¹³

- 14.1. W przypadku klasyfikacji kruszywa jako co najmniej umiarkowanie reaktywne (patrz p.12) należy wykazać, że zaobserwowane wydłużenie próbek betonu nadmierna ekspansja jest wynikiem reakcji alkalia-krzemionka. W tym celu należy przeprowadzić analizę petrograficzną wg ASTM C856 betonu w próbkach po zakończeniu badania według niniejszej procedury. Celem analizy petrograficznej jest potwierdzenie obecności składników reaktywnych w ziarnach kruszywa oraz identyfikacji produktów reakcji alkalia-krzemionka.
- 14.2. W przypadku kruszyw umiarkowanie reaktywnych można stosować środki zaradcze w postaci dodatków mineralnych (pucolana lub żużel), aby zapobiegać szkodliwej ekspansji betonu. Ilość zastosowanego dodatku mineralnego do mieszanki betonowej, przeznaczony do budowy obiektu w rzeczywistych warunkach eksploatacji, powinna wynosić, co najmniej tyle ile wynosił ich dodatek podczas badania próbek betonowych zgodnie z niniejszą procedurą. Średnia ekspansja próbek betonowych, wykonanych z dodatkiem mineralnym, po 2 latach badania zgodnie z niniejszą procedurą powinna być mniejsza niż 0,04%, aby uznać skuteczność zapobiegania szkodliwej reakcji alkalia-krzemionka.
- 14.3. W przypadku kruszywa, w którym stwierdzono występowanie składników potencjalnie podatnych na reakcję alkalia-węglany, dodatkowo wykonuje się badanie ekspansji próbek betonu wg zmodyfikowanej procedury PB/2/18. Modyfikacja procedury polega na obniżeniu zawartości alkaliów w mieszance betonowej z $5,25 \text{ kg/m}^3$ do $1,80 \text{ kg/m}^3$ przez zastąpienie wskazanego cementu innym o odpowiednio obniżonej zawartości alkaliów. Badanie przeprowadza się przy jednej kombinacji składu kruszyw: badane kruszywo grube połączone z niereaktywnym kruszywem drobnym. Należy zwiększyć liczbę próbek betonu do 6. Pozostałe wymagania odnośnie do właściwości cementu, przygotowania kruszywa, wykonania próbek betonu i ich przechowywania pozostają niezmiennie.

Sprawdzenie podatności na reakcję alkalia-węglany dokonuje się na podstawie wydłużenia próbek betonu o składzie zmodyfikowanym j.w. po 12 miesiącach przechowywania. Jeżeli średnie wydłużenie próbek betonu wyniesie co najmniej 0,03%, to kruszywo jest podatne na reakcję ACR i jako takie nie może być wykorzystywane do produkcji betonu przeznaczony 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,

¹³ Uzupełnienie w stosunku do D-05.03.04. Załącznik 2

niezbędna jest opinia eksperta wykluczająca możliwość wystąpienia reakcji alkalia-węglany.

- 14.4. Jeżeli ekspansja próbek betonu wyznaczona we PB/2/18 wskazuje na inną kategorię reaktywności niż ekspansja próbek zaprawy wg PB/1/18, należy wyjaśnić przyczyny niezgodności. Opinia eksperta w tej sprawie powinna opierać się na doświadczeniach z praktycznych zastosowań i wynikach rozszerzonych badań wskazanych w uwadze 1 do tablicy 1 w zasadniczej części Wytycznych.

Przed powtórzeniem badań kontrowersyjnych należy szczegółowo przeanalizować metodykę badawczą. Uwagi odnośnie metodyki badań przyspieszonych zawarto w PB/1/18 p.14. Istotność wyników badań metodą długoterminową należy przeanalizować przez odniesienie do ilości wymywanych alkaliów z próbek betonu i reprezentatywności próbki kruszywa. Stwierdzenie znaczącej redukcji zawartości alkaliów w próbkach betonu wskutek długoterminowego wymywania do otoczenia, przekraczającej 20% zawartości wyjściowej, wskazuje na konieczność korekty stosowanej metodyki badań. Newralgicznym elementem metodyki pomiarów wydłużenia próbek betonu jest wymywanie alkaliów z betonu podczas długotrwałego przechowywania w wysokiej wilgotności powietrza i podwyższonej temperaturze przez co najmniej 12 miesięcy. Utrzymanie niezmienności stężenia alkaliów w cieczy porowej próbek betonu jest warunkiem koniecznym wiarygodnej oceny reaktywności metodą długoterminową. Metodyka badawcza ASTM C1293 i RILEM AAR-3 nie zapewnia pełnej kontroli stałości stężenia alkaliów w betonie. W literaturze raportowano redukcję stężenia alkaliów sięgającą 30-40%, co zasadniczo zmienia warunki oddziaływania na reaktywne składniki kruszywa w betonie.