

Załącznik 5

Procedura Badawcza GDDKiA PB/5/18

Określenie potencjalnej reaktywności mieszaniny kruszyw mineralnych w betonie w warunkach cyklicznego oddziaływania temperatury 60°C i zewnętrznego dostępu alkaliów

1. Przedmiot i zakres

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

2. BHP

Zagadnienia bezpieczeństwa i higieny pracy, których należy przestrzegać przy przeprowadzaniu badań, zostały szczegółowo opisane w RILEM Recommended Test Method: AAR-12. 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

RILEM Recommended Test Method: 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 (projekt 07.03.2019)

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.

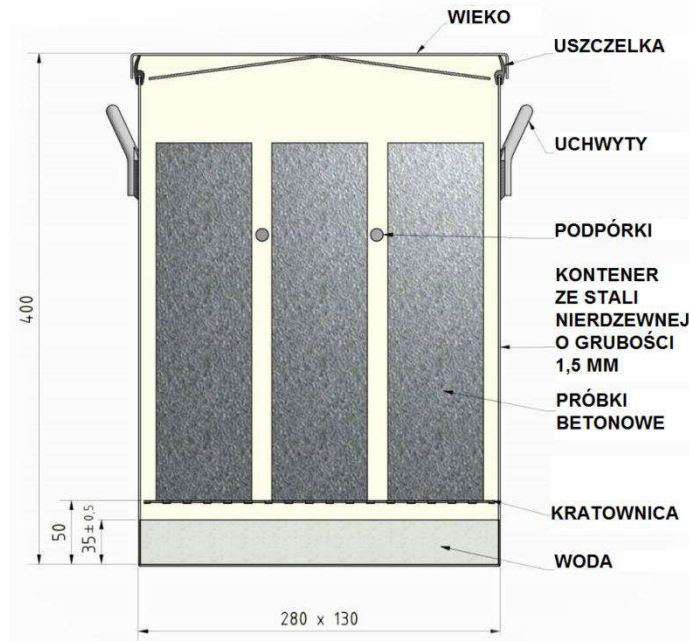
5.2. Waga – do 10 kg, umożliwiająca ważenie próbek betonowych z dokładnością do 1 g.

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 250 ± 50 mm i przekroju 75 ± 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 $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$, $\text{RH} > 95\%$.
- 5.10. Cieplarnia 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 – odstępy 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 ± 5 mm (*Uwaga 1*). Próbkę umieszczane są w kontenerach 15 mm nad powierzchnią wody. Poziom wody należy monitorować, uzupełniać w razie potrzeby lub wymieniać wodę na świeżą uprzednio czyszcząc wnętrze kontenera. Kontenery projektowane są tak, aby pomieścić 3 próbki w pozycji pionowej. Dopuszcza się stosowanie kontenerów na 6 próbek (odpowiednie wymiary 400 x 280 x 230 mm).

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



Rysunek Z5.1. Schemat kontenera z wymiarami w mm

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

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

Uwaga 3: Preferowana i zdecydowanie zalecana na tym etapie badania jest temperatura 20°C . Niezależnie od przyjętej temperatury (20°C do 27°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°C wymaga ponownego rozważenia kryteriów oceny odporności na reakcję alkalia-kruszywo.

Przed każdym pomiarem próbki należy wystudzić w zamkniętych kontenerach przez 24 ± 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 ml 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 maksymalnym wymiarze ziarna 22,4 mm. Kruszywo powinno mieć suchą powierzchnię. Proporcje frakcji kruszywa podano w pkt. 7.1.

6.5. Cement – w zależności od celu badania (ocena reaktywności mieszaniny kruszyw lub weryfikacja receptury betonu) stosuje się następujące rodzaje cementu:

- cement referencyjny - cement portlandzki CEM I 42,5 R lub N zgodny z PN-EN 197-1 o zawartości alkaliów $0,9 \pm 0,1\%$;
- cement niskoalkaliczny NA - cement portlandzki CEM I NA zgodny z PN-B-19707 (zawartość alkaliów w cemencie wynika z projektu receptury betonu; zawartość alkaliów powinna być znana).

Uwaga 4: Możliwość wykorzystania cementów z dodatkami mineralnymi w tej procedurze badawczej nie została jeszcze dostatecznie zweryfikowana.

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

Mieszankę betonową należy zaprojektować zgodnie ze specyfikacjami na nawierzchnie lub obiekty inżynierskie. Przyjęte założenia wyróżniają receptury betonu napowietrzonego o dwóch wariantach składu, dotyczących zwłaszcza zawartości cementu i uziarnienia stosu kruszywa, z uwagi na konieczność rozróżnienia betonu w górnej warstwie nawierzchni z kruszywem odkrytym oraz betonu w warstwie dolnej nawierzchni lub w drogowym obiekcie inżynierskim.

Przyjmuje się następujące ograniczenia recepturowe dotyczące podstawowych składników mieszanki betonowej:

- a) na górną warstwę nawierzchni drogowej
 - zawartość cementu: 430 kg/m^3 ,
 - współczynnik $w/c = 0,40$,
 - zawartość powietrza 5,5% - 6,5%,
 - proporcje kruszywa: 30% kruszywo drobne 0/2 mm, 70% kruszywo łamane 2/8 mm,
- b) na dolną warstwę nawierzchni drogowej (lub na drogowy obiekt inżynierski)

- zawartość cementu: 360 kg/m³,
- współczynnik $w/c = 0,45$,
- zawartość powietrza 4,0% - 5,0%,
- proporcje kruszywa: 30% kruszywo drobne 0/2 mm, 15% kruszywo łamane 2/8 mm, 25% kruszywo łamane 8/16 mm, 30% kruszywo łamane 16/22 mm,
- krzywa uziarnienia powinna mieścić się w granicach zalecanych krzywych granicznych według „Katalogu typowych konstrukcji drogowych obiektów mostowych i przepustów” lub Ogólnej Specyfikacji Technicznej D - 05.03.04 „Nawierzchnia z Betonu Cementowego”.

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 $\text{RH } 65 \pm 5\%$.

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. Stosować wibracje mechaniczne, nie dopuścić do segregacji kruszywa i unikać w miarę możliwości wygładzania powierzchni po zawibrowaniu.

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

Uwaga 5: Warto zapisać masę zakrytej formy bezpośrednio po zaformowaniu oraz bezpośrednio przed wyjęciem próbek z formy, aby zapewnić 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 ± 2 h	W formach, zabezpieczone przed utratą wilgoci w temp. 20 ± 2°C
6 dni	20 ± 2°C, RH > 95% (komora wilgotnościowa)
14 dni	20 ± 2°C, RH = 65 ± 5% (komora klimatyczna)
6 dni	60 ± 2°C, RH > 98% (termostatyczna komora kondensatu)
1 dzień	20 ± 2°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 ± 2°C przez 24 ± 2 godziny.
- Po upływie 1. doby próbki wyjąć z form w pomieszczeniu laboratoryjnym o temperaturze 20 ± 2°C i wilgotności względnej powietrza 65 ± 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±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 ± 2°C i minimalnej wilgotności względnej powietrza 95%.
- W 7. dobie próbki przenieść do komory klimatycznej na 14 dni, zapewniając temperaturę 20 ± 2°C i wilgotność względną powietrza 65 ± 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 ± 2°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 ± 2 h w pomieszczeniu o temperaturze 20 ± 2°C.
- Po wystygnięciu przeprowadzić pomiar zerowy. Masa próbek, odległość pomiędzy czopikami (początkowa zmiana długości l_0) oraz rezonansowa częstość drgań powinny

być określane w pomieszczeniu laboratoryjnym w temperaturze $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ i wilgotności względnej powietrza $65 \pm 5\%$.

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°C i zewnętrznego dostępu alkaliów

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

- Po pomiarze masy, zmian długości oraz częstości drgań rezonansowych próbki umieścić w cieplarni laboratoryjnej z wymuszonym obiegiem powietrza na 5 dni w temperaturze $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Po 5 dniach wyjąć próbki z cieplarki. Powinny stygnąć w zamkniętych pojemnikach plastikowych przez 4 ± 1 godzinę w temperaturze $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ i wilgotności względnej powietrza $65 \pm 5\%$.

- Następnie przechowywać próbki w szczelnie zamkniętych pojemnikach plastikowych z roztworem chlorku sodu (3% lub 10%) przez 48 ± 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. Kontenery umieścić na 6 dni w termostatycznej komorze kondensatu, temperatura $60 \pm 2^{\circ}\text{C}$ oraz minimalna względna wilgotność powietrza 98%.

- Po upływie 6 dni kontenery z próbkami należy wyjąć z termostatycznej komory kondensatu i szczelnie zamknięte przechowywać w pomieszczeniu o temperaturze $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ przez 24 ± 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 $65 \pm 5\%$.

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

10. Pomiary

Ważenie i pomiar każdej próbki nie może trwać dłużej niż 2 minuty, aby zapobiec jej wysychaniu. Pręty referencyjne 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 μm należy powtórzyć pomiary. Po zakończeniu pomiarów sprawdzić poziom wody w kontenerach i termostatycznej komorze kondensatu - w razie potrzeby uzupełnić braki wodą destylowaną lub dejonizowaną.

Pomiary należy wykonywać z następującą dokładnością:

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

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:

- ε_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:

- Δm_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:

ΔE_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.

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

(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.

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 ASTM C856 po zakończeniu badania według niniejszej procedury. Celem analizy petrograficznej jest potwierdzenie obecności składników reaktywnych w ziarnach kruszywa oraz identyfikacji produktów reakcji alkalia-krzemionka.

13. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Recepturę mieszanki betonowej z informacją o właściwościach i pochodzeniu składników:
 - cement,
 - kruszywo,
 - woda,
 - domieszki.
2. Właściwości mieszanki betonowej:
 - konsystencja,
 - gęstość mieszanki,
 - zawartość powietrza,
 - temperatura mieszanki.
3. Wymiary próbek i stężenie roztworu NaCl.
4. Zawartość alkaliów 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, wycieki, przebarwienia, odpryski lub deformacje próbek. Informacje dodatkowe o warunkach wykonania próbek, jeżeli były wykonane na placu budowy.