

ZDZISŁAWA OWSIAK<sup>1</sup>  
PRZEMYSŁAW CZAPIK<sup>2</sup>

Kielce University of Technology  
Faculty of Civil and Environmental Engineering  
al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7  
25-314 Kielce, Poland

<sup>1</sup> e-mail: owsiak@tu.kielce.pl

<sup>2</sup> e-mail: p.czapik@tu.kielce.pl

# METHODS OF INVESTIGATION OF ALKALI-CARBONATE REACTION IN CONCRETE BASED ON THE TESTS OF AGGREGATE REACTIVITY

## Abstract

*There are numerous methods of testing aggregate reactivity, most of which can be classified into a few basic groups, with regard to the object of research. With the knowledge on what particular methods are capable of, it is possible to plan the appropriate course of action. It is especially important when the reaction mechanisms are not exactly known, as in the case of the reaction of alkalis with carbonate aggregate (ACR). The properties of these aggregates make the application of testing methods different than those for silica aggregates not only advisable, but sometimes also necessary. The tests on the reactivity of silica aggregates provide the basis for the formulation of the majority of standards for AAR testing that are in force today. The objective of this paper is to present the methodology of ACR testing, taking into consideration the properties of this aggregate.*

**Keywords:** carbonate aggregate, alkali-carbonate reaction, testing methods

## 1. Introduction

The alkali-carbonate reaction (ACR) is the second cause (after the alkali-silica reaction – ASR) of the inner concrete corrosion, resulting from the unfavourable interaction between cement and aggregate. It leads to the emergence of a swelling gel, causing the increase of the concrete volume, accompanied with the emergence of cracks decreasing its strength and increasing its absorbability. The mechanism of alkali-carbonate reaction is less known than the mechanism of the more common alkali-silica reaction. That is the reason why the majority of the testing methods of the alkali-aggregate reaction have been developed for the alkali-silica reaction. Furthermore, it is presently believed, as in the case of Katayama [1, 2], that the alkali-carbonate reaction is in fact a kind of alkali-silica reaction, and it is the cryptocrystalline quartz or opal present in the aggregate that is responsible for the expansion of the concrete with carbonate aggregate. According to other theories, the essential effect of the alkali-carbonate reaction is connected with the process of dedolomitization and the formation of brucite, or with the swelling of clayish minerals

present in aggregate, or with the action of osmotic forces resulting from the activity of clayish minerals surrounding the carbonate grain as a semi-permeable membrane (it lets the water molecules through, but stops sodium and potassium ions) [3]. As there is a multitude of factors that could theoretically evoke the expansion of concrete with carbonate aggregate, and since the exact mechanisms of the process are unknown, the methods testing whether a particular aggregate is reactive should be very carefully selected. It is especially important in this case, since many tests aiming at the detection of an aggregate reactivity are of the long-term character.

## 2. Methods of testing

In order to systematize numerous methods testing the alkali-aggregate reaction, they can be divided into three basic groups, with regard to their objectives. This division is presented as a diagram in Figure 1. In order to examine the reactive aggregate it is recommended that tests be conducted starting with group I and finishing with group III. Group I includes tests concerning the composition and properties

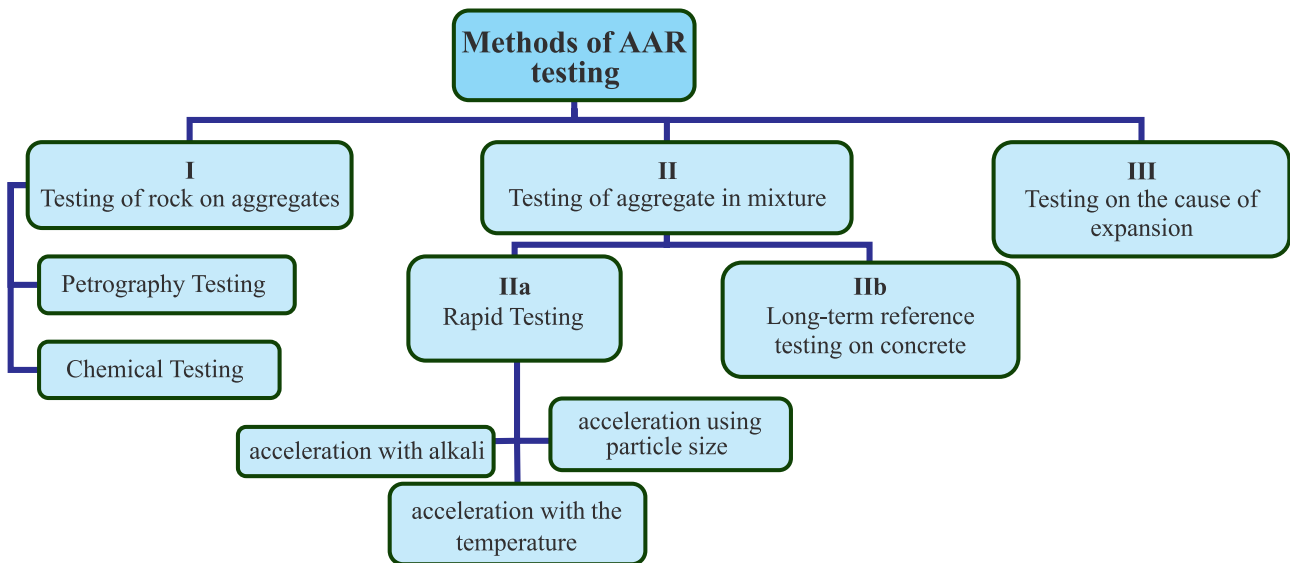


Fig. 1. Distribution methods of AAR testing

of the aggregate itself. Among those tests one can distinguish chemical and petrographic tests aiming at the detection of potentially reactive phases in the aggregate and determining whether their number poses a threat for the concrete durability. The chemical tests are described i.a. in RILEM AAS-1 annex [4], or in ASTM C289-07 [2], or in the standard being in force in Poland PN-B-06714-47 [5]. Tests of this type may lead to the loss of the aggregate weight, caused by the fact that a part of its components pass into the NaOH solution as a result of the reaction with alkalis, taking place in a particular time. Similar tests are conducted also using  $\text{HBF}_4$  or HCl in the case of carbonate aggregates [4]. Most standards expect that such tests should be conducted in a heightened temperature in order to shorten their duration. Examining dolomite rocks specified in the standard ASTM C586-05 [6], which is a certain modification of the above method, can also be included among the methods testing the aggregate properties. Instead of defining the change in weight, the method defines the length changes in the rock cylinder. The rock is designed as the concrete aggregate and is immersed in 1 N NaOH solution in the room temperature.

The reactive components of aggregates can be also detected through their X-ray powder diffraction (XRD) or observations with the use of the optical microscope and through SEM combined with EDS analysis. One should however take into consideration the limitations of those methods.

Group I tests enable the detection of potentially reactive aggregate. However, the tests do not give a full picture of how a particular aggregate will behave

when added to the concrete mixture. A short time required to do those tests is the advantage of this tests, therefore they are suitable for the initial detection of potentially reactive aggregate.

It is only the group II tests that give the full answer to the question of whether a particular aggregate will react with the alkalis in concrete. Those tests deal with the interaction of aggregates with the environment in which they will find themselves. This interaction results in the changes of the sample lengths measured e.g. with a Graf-Kaufman apparatus. During those tests one can also observe the development of cracks on the concrete surface. But, the analysis of the cracks formation is dealt with by group III tests. In this group one can distinguish two subgroups. The first subgroup includes accelerated tests, in which the mixture composition and the conditions in which the reaction takes place, are modified. The second subgroup includes tests on concrete samples, performed in the conditions comparable to the operational ones (ASTM C1293-08B [7], RILEM AAR-3 [8]). Due to the above reasons these tests take the longest time to be performed.

In order to accelerate the tests, the applied mixtures contain only the most reactive aggregate fractions (ASTM C227-10 C441-05, C1567-08 [7], RILEM AAR-2, 5 [8]), or alternatively the tests are conducted in heightened temperature (ASTM C1567-08 [7], RILEM AAS-2, 4, 5 [8]), or the amount of alkali in the system is increased (ASTM C1567-08 [7]). Frequently both modifications are used in order to shorten the testing time. Due to the way they are conducted these tests provide only the qualitative information

on whether a particular aggregate is reactive. It is only the examination of concrete samples performed in ordinary conditions that can give the quantitative information on the behaviour of an aggregate in concrete.

Group III tests are designed to provide information on the cause of the concrete swelling, on the course of the reaction mechanism and on the changes in the concrete microstructure. In order to obtain this information, the most frequently conducted tests include X-ray powder diffraction (XRD) and SEM analysis combined with EDS analysis in micro-areas.

The research material for this investigation may come from the powdered samples from group II tests, but this means the investigation can only be conducted after the tests on mortar or concrete samples have been finished, and such tests may take many weeks to be performed. Sample investigations after petrographic research are also possible, however their limitations should be borne in mind. For that reason the samples designed exclusively for group III tests are also obtained. Separate bars are made and after being powdered they provide material solely for those tests. The investigation of samples cut out of the rock cylinder immersed in the cement paste permits a thorough examination of the changes in the composition and microstructure resulting from alkali-aggregate reaction taking place in different concrete micro-zones [9].

### 3. Testing of carbonate aggregates

The initial stage of the test on aggregate's susceptibility to their reaction with alkali, regardless of the kind of the aggregate, should be the petrographic test, as suggested by RILEM AAR-0 [8]. It is during those tests that it can be confirmed whether a particular aggregate is in fact carbonate and its reactivity can be initially defined (typically either the lack of reactivity or else a medium or high level of reactivity). In the chemical tests commonly applied for silica aggregate the content of the soaked grains is defined for the aggregate immersed in NaOH solution and the content of the silica dissolved in the solution is also defined.

Testing carbonate aggregates, obtained as a result of crushing massive rock, makes it possible to follow the changes in the linear dimensions of the samples cut out from the rock destined for aggregate. It is not possible in the case of silica aggregates (which may also appear as eg. gravel).

The ASTM C586-05 [6] standard is an example of such a test. The obtained value of the length difference

has the advantage of being translated directly into the key effect of the alkali-aggregate reaction, i.e. the concrete expansion. It is especially important, as the exact mechanism resulting in this volume increase is unknown. Hence it is difficult to translate the weight changes of the carbonate aggregate subjected to NaOH into its reactivity. This method permits e.g. defining to what extent the aggregate expansion can be accumulated by the cement paste. In comparison to chemical tests measuring the weight loss, the C586-05 test takes a long time to be conducted (in ordinary conditions) and it is a disadvantage of this method.

While examining the composition of the carbonate aggregate using the XRD or SEM-EDS, the limitation of these methods should be borne in mind [2]. SEM-EDS testing may not detect tiny, dispersed quartz crystals contained in the aggregate. Detecting the presence of amorphous phases like opal may also cause difficulties, as they are nearly invisible in the X-ray diffractogram.

In the accelerated tests on the carbonate aggregate samples in order for the clearest results to be obtained in the shortest possible time, it is recommended that the coarser aggregate fractions be used (typically 4-10 mm) [10, 11]. It may result from the fact that a considerable part of the ACR reaction for the finer aggregate may already take place at an early hydration stage on its surface, whereas for the coarser aggregate it occurs later, when the concrete has hardened, since the alkalis must first enter into the inner structure of the aggregate with its reactive phases. The increased reactivity of these carbonate aggregate fractions can be explained (assuming that  $ACR = ASR$ ) by the fact that most of the alkali gel emerging in the alkali-silicate reaction (ASR) around large grains remain unchanged through the process of carbonatization, which permits the expansion increase. Furthermore, in contrast to small grains, in the large ones it is more difficult to limit the pressure exerted by the ASR gel filling the pores resulting from the dedolomitization [1].

The ACR acceleration is achieved by higher temperatures of the sample storage, as in the case of the ASR acceleration, where samples are usually stored at 80°C. Among the ACR tests there are also those conducted at higher temperatures 150°C [11], i.e. in hydrothermal conditions, which can largely shorten the time required for the test to be performed and for the clearer results to be obtained. In these tests one should be concerned whether the processes correspond to those taking place at room temperature. The expansion acceleration is also facilitated by the fact that, with a

defined alkali content in the system, the cements with lower alkali content are used in the tests and the missing amount of alkali is added with the molding water [11].

Examining the ACR course and the changes that it makes in the concrete microstructure is more complicated than in the case of ASR. It is caused by the fact that the mechanisms of this reaction are not yet fully known. It is necessary not only to investigate the emergence of the gel resulting from the ASR, but also to pay attention to changes connected with the dedolomitization process, the action of the osmotic forces [1, 3]. Nevertheless, carbonate aggregates make it possible to take rock samples, which can then be immersed in the cement paste, thus facilitating the investigation of appropriate zones of the system [9]. Such samples facilitate the selection of places for SEM observation.

#### 4. Conclusions

Although testing carbonate aggregate reactivity is based on the same principles as testing silicate aggregate, ACR has its own special character. Therefore its testing should be conducted in a modified way. In the case of carbonate aggregate the research can be conducted on rock segments and at higher temperatures. Since the ACR mechanism is not yet fully known, several testing methods should be applied. It is a matter of great importance that the obtained tests results are as accurate as possible. It should also be remembered that the X-ray examination of the aggregate, while enabling the identification of its many components, is not a perfect method as it does not detect the reactive silica.

#### References

- [1] Katayama T.: *Materials Characterization* 53 (2004), pp. 85-104: How to Identify carbonate rock reaction in concrete.
- [2] Grattan-Bellew P.E., Mitchell L.D., Mergeson J., Min D.: *Cement and Concrete Research* 40 (2010), pp. 556-562: Is Alkali-Carbonate Reaction Just a Variant of Alkali-Silica Reaction ACR = ASR.
- [3] Kurdowski, W.: *Chemia cementu i betonu*. SPC, Kraków 2010.
- [4] Sims I., Nixon P.: *Materials and Structures* 36 (2003), pp. 480-496: RILEM recommended Test Method AAR-1: Detection of Potential Alkali-Reactivity Potential of Aggregates – Petrographic method.
- [5] PN-B-06714-47:1988 *Mineral aggregates. Testing. Determination of potential alkali reactivity. Determination of soluble silica in sodium hydroxide content*.
- [6] ASTM C586–05 *Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Carbonate Rocks as Concrete Aggregates*.
- [7] Thomas M. et al. *Cement and Concrete Research* 36 (2006), pp. 1842-1856: The Test Methods for Evaluating Preventive for Controlling Expansion Due to Alkali-Silica Reaction in Concrete.
- [8] Sims I., Nixon P.: *Materials and Structures* 36 (2003), pp. 472-479: RILEM recommended Test Method AAR-0: Detection of Alkali-Reactivity Potential in Concrete – Outline guide to the use of RILEM methods In assessment of aggregates for potential alkali-reactivity.
- [9] Tong L., Tang M.: *Cement and Concrete Research* 21 (1999), pp. 361-373: Expansion Mechanism of Alkali-Dolomite and Alkali-Magnesite Reaction.
- [10] Sommer H., Sims I., Nixon P.: *Materials and Structures* 38 (2005): AAR-5, pp. 787-792: Rapid Preliminary screening test for carbonate aggregates.
- [11] Xu Z., Lan X., Deng M., Tang M.: *Cement and Concrete Research* 32 (2002), pp. 851-857: A New Accelerated Method for Determining the Potential Alkali-Carbonate Reactivity.



Zdzisława Owsiak  
Przemysław Czapik

# Metody badań reakcji alkalia-węglany w betonie na tle badań reaktywności kruszywa

## 1. Wstęp

Reakcja alkaliów z kruszywem węglanowym (ACR) jest drugą po reakcji alkaliów z krzemionką (ASR) przyczyną korozji wewnętrznej betonu, będącą wynikiem niekorzystnego oddziaływania zachodzącego pomiędzy cementem, a kruszywem. Skutkiem tego jest powstanie pęczniącego żelu powodującego zwiększenie się objętości betonu (czemu towarzyszy powstawanie rys, obniżających jego wytrzymałość) i zwiększającego jego nasiąkliwość. Mechanizm reakcji alkaliów z węglanami, jest mniej poznany niż mechanizm bardziej rozpowszechnionego zjawiska reakcji alkaliów z krzemionką. Z tych powodów większość metod badań reakcji alkaliów z kruszywem jest opracowywanych dla reakcji alkalia-krzemionka. Co więcej, funkcjonuje obecnie pogląd prezentowany przez Katayamę [1, 2], że w rzeczywistości reakcja alkalia-węglany jest odmianą reakcji alkalia-krzemionka i za ekspansję betonu z kruszywem węglanowym odpowiedzialny jest zawarty w kruszywie kryptokrystaliczny kwarc lub opal. Inne teorie wiążą zasadnicze działanie reakcji alkalia-węglany z procesem dedolomityzacji i powstawaniem burcytu, bądź pęcznieniem minerałów ilastych zawartych w kruszywie, albo działaniem sił osmotycznych powstałych wskutek działania minerałów ilastych otaczających ziarno węglanowe jak półprzepuszczalna membrana (przepuszcza cząstki wody, a nie przepuszcza jonów sodu i potasu) [3]. Z względu na taką mnogość czynników mogących teoretycznie wywołać ekspansję betonu z kruszywem węglanowym oraz z uwagi na nieznaną dokładnych mechanizmów tego procesu, należy uważnie dobierać metody badań służących do określenia czy dane kruszywo jest reaktywne. Jest to szczególnie ważne w tym przypadku gdyż znaczna część badań, mających wykryć reaktywność kruszywa są badaniami długoterminowymi.

## 2. Metody badań

Celem uporządkowania licznych metod badań reakcji kruszyw z alkaliomii można je podzielić na trzy zasadnicze grupy, ze względu na cele ich przeprowa-

dzania. Podział ten schematycznie ukazano na rysunku 1. W celu badania reaktywnego kruszywa zalecane jest przeprowadzanie badań w kolejności od grupy pierwszej do trzeciej. Do pierwszej z nich wchodzi badania dotyczące składu i właściwości samego kruszywa. Wśród tych badań można wyróżnić badania chemiczne i petrograficzne, mające na celu wykrycie obecności potencjalnie reaktywnych faz w kruszywie i określenie czy ich ilość zagraża trwałości betonu. Badania chemiczne opisywane są m.in. w RILEM AAS-1 [4], albo ASTM C289-07 [2], czy w obowiązujące w Polsce normie PN-B-06714-47:1988 [5]. W wyniku badań tego rodzaju może powstać ubytek masy kruszywa spowodowany przejściem części jego składników do roztworu NaOH w wyniku reakcji z alkaliomii, zachodzącej w określonym czasie. Podobne badania przeprowadza się też z użyciem  $\text{HBF}_4$  czy w wypadku kruszyw węglanowych HCl [4]. Większość norm przewiduje wykonywanie takich badań w podwyższonej temperaturze w celu skrócenia czasu ich trwania.

Do badań właściwości kruszywa, można też zaliczyć badanie skał dolomitowych przewidziane normą ASTM C586-05 [6], które jest pewną modyfikacją powyższej metody. Określane w nim są zamiast zmian masy, zmiany długości walca skały przeznaczonej na kruszywo do betonu zanurzonej w 1 N roztworze NaOH, w temperaturze pokojowej.

Reaktywne składniki kruszyw można też wykrywać poprzez ich analizę rentgenowską (XRD) oraz obserwacje pod mikroskopem optycznym i SEM w połączeniu z analizą EDS. Należy tu jednak mieć na uwadze ograniczenia tych metod.

Dzięki badaniom należącym do pierwszej grupy można wykryć potencjalnie reaktywne kruszywo, ale nie dają one pełnej odpowiedzi, jak dane kruszywo zachowa się po zastosowaniu go do mieszanki betonowej. Zaletą badań petrograficznych jest jednak szybki czas ich wykonywania, dlatego nadają się do wstępnego wykrywania potencjalnie reaktywnego kruszywa.

Pełną odpowiedź na pytanie czy dane kruszywo będzie reagować z alkaliami w betonie dają dopiero badania z drugiej grupy. Obiektem tych badań jest wzajemne oddziaływanie kruszyw, ze środowiskiem, w którym będą się znajdować (matrycą cementową, w której są zanurzone), czego wynikiem są zmiany długości próbek (wykonywanych w formie belek o różnych wymiarach) mierzonych np. aparatem Graf-Kaufmana. Podczas tych badań obserwować też można rozwój spękań na powierzchni betonu, ale analiza powstawania spękań w betonie wchodzi już w obszar badań z grupy trzeciej. W tej grupie badań można wyróżnić dwie podgrupy. Do pierwszej z nich wchodzi badania przyspieszone, w których modyfikuje się skład mieszanek i warunki w jakich zachodzi reakcja kruszywa z alkaliami. Do drugiej podgrupy zalicza się badania na próbkach betonowych, wykonywane w warunkach zbliżonych do eksploatacyjnych (ASTM C1293-08B [7], RILEM AAR-3 [8]). Z tych względów są to badania o najdłuższym czasie trwania.

W celu przyspieszenia wykonywania badania zwykle stosuje się mieszanki, w których wykorzystuje się tylko najbardziej reaktywne frakcje kruszywa (ASTM C227-10, C441-05, C1567-08 [7], RILEM AAR-2 i 5 [8]) albo wykonuje się je w podwyższonej temperaturze (ASTM C1567-08 [7], RILEM AAS-2, 4, 5 [8]), lub zwiększa się ilość alkaliów w układzie (ASTM C1567-08 [7]). Często w celu skrócenia czasu badania stosuje się obie powyższe modyfikacje. Ze względu na ich stosowanie badania te dają nam tylko jakościową informację na temat czy kruszywo jest reaktywne. Dopiero badanie próbek betonowych w warunkach normalnych pozwala na uzyskanie ilościowej informacji o zachowaniu się kruszywa w betonie.

Przeznaczeniem badań należących do trzeciej grupy jest uzyskanie informacji co spowodowało pęcznienie betonu, jak zachodzi mechanizm reakcji i jak zmienia się mikrostruktura betonu. W tym celu najczęściej przeprowadza się badanie rentgenograficzne XRD oraz obserwacje SEM połączoną z analizą EDS w mikroobszarach. W tym etapie badań funkcjonują też normy RILEM AAR-6, 7 i 8.

Materiału badawczego do tych badań mogą dostarczyć sproszkowane próbki z badań należących do grupy drugiej, ale wymusza to wykonywanie badań dopiero po zakończeniu, (mogących trwać wiele tygodni) badań próbek zaprawowych lub betonowych. Zdarzają się też badania próbek po badaniach petrograficznych, przy czym należy pamiętać o ich ograniczeniach. Z tej przyczyny wykonuje się też próbki przeznaczone jedynie do badań trzeciej grupy, pole-

gające na wykonaniu oddzielnych beleczek, które po sproszkowaniu mają zapewnić tylko materiał do tych badań. Dokładne badania zmian składu i mikrostruktury, wynikających z zachodzenia reakcji alkalia-kruszywo w różnych mikrostrefach betonu umożliwiają badania próbek wyciętych z walca skalnego zanurzonego w zaczynie cementowym [6].

### 3. Badania kruszywa węglanowego

Przystępując do badania kruszywa na jego podatność na reakcję z alkaliami, niezależnie od jego rodzaju, jak sugeruje RILEM AAR-0 [8], należy rozpocząć od badań petrograficznych. To właśnie w ich trakcie potwierdza się czy rzeczywiście badane kruszywo jest węglanowe oraz wstępnie określa się jego reaktywność (zwykle jej brak albo średni bądź wysoki poziom). Badania chemiczne opracowywane są zwykle dla kruszywa krzemionkowego i oprócz ubytku masy (oprócz części, które przeszły do roztworu) odseparowywane są również rozmiękłe ziarna, w których zaszła reakcja, określa się również ilość reaktywnej krzemionki z przesączu. Tej dodatkowej operacji nie wykonuje się dla kruszywa węglanowego (chyba, że zakłada się  $ACR = ASR$ ).

Badania kruszyw węglanowych, pozyskiwanych w wyniku kruszenia litej skały, umożliwiają – w przeciwieństwie do kruszyw krzemionkowych (które mogą występować też w formie żwiru lub gruzu) – śledzenie zmian wymiarów liniowych próbek wyciętych z skały przeznaczonej na kruszywo. Przykład takiego badania prezentuje norma ASTM C586-05 [6]. Uzyskany wynik zmian długości ma tę zaletę, że przedkłada się on bezpośrednio na kluczowy efekt reakcji alkaliów z kruszywem jakim jest ekspansja betonu. Jest to ważne, gdyż nie znamy dokładnego mechanizmu reakcji, których wynikiem jest ten wzrost objętości z czym wiąże się trudność przenoszenia zmian masy kruszywa węglanowego poddanemu działaniu NaOH na jego reaktywność. Dzięki tej metodzie można też na przykład określić w jakim stopniu rozszerzanie się kruszywa może zostać zakumulowane przez matrycę cementową. Wadą metody C586-05 jest jednak długi czas przeprowadzania badania (w warunkach normalnych) w porównaniu z badaniami chemicznymi mierzącymi ubytek masy.

Badając skład kruszywa węglanowego metodą XRD, albo SEM-EDS, pamiętać należy o ograniczeniach tych metod [2]. Badanie SEM-EDS może nie wykryć rozproszonych, niewielkich kryształów kwarcu zawartych w kruszywie. Problem stanowi też może obecność faz amorficznych (np. opalu), któ-

re na dyfraktogramie rentgenowskim zaznaczają się jedynie podniesieniem tła.

W badaniach przyspieszonych próbek z kruszywem węglanowym, w celu uzyskania jak najwyraźniejszych wyników, w jak najkrótszym czasie zalecane jest stosowanie grubszych frakcji kruszywa (zwykle 4-10 mm) [10, 11]. Wynikać to może, z tego, że znaczna część reakcji ACR dla drobniejszego kruszywa może się odbyć jeszcze we wczesnym etapie hydratacji na jego powierzchni, natomiast dla kruszywa grubszego odbywa się ona później, gdy beton stwardnieje, gdyż najpierw alkalia muszą wnikać do wnętrza kruszywa, w którym znajdują się jego reaktywne fazy. Zwiększoną reaktywność tych frakcji kruszywa węglanowego można tłumaczyć (zakładając  $ACR = ASR$ ) tym, że większość alkalicznego żelu powstałego w reakcji alkalia-krzemionka (ASR) wokół dużych ziarn pozostaje niezmienną przez proces karbonatyzacji, co umożliwia narastanie ekspansji. Ponadto w przeciwieństwie do małych ziarn, w dużych ziarnach trudniej jest zniwelować ciśnienie wytwarzane przez żel ASR wypełniający pory wytworzone w wyniku dedolomityzacji [1].

Przyspieszenia reakcji ACR uzyskuje się stosując podwyższone temperatury przechowywania próbek, podobnie jak dla przyspieszenia reakcji ASR, kiedy zwykle próbki przechowywane są w temperaturze 80°C. Dla badań ACR można jednak spotkać przykłady badań przeprowadzanych w wyższej temperaturze, 150°C [11], czyli już w warunkach hydrotermalnych, które w większym stopniu mogą skrócić czas potrzebny na przeprowadzenie badania i uzyskanie wyraźniejszych wyników. W takich badaniach należy jednak mieć na uwadze czy zachodzące procesy opowiadają tym zachodzącym w temperaturze pokojowej. Przyspieszeniu ekspansji sprzyja też, przy ustalonej zawartości alkaliów w układzie, używanie do badań cementów o mniejszej zawartości alkaliów i dodawanie brakującej ilości alkaliów wraz z wodą zarobową [11].

Badania przebiegu reakcji ACR i zmian, które wywołuje ona w mikrostrukturze betonu są bardziej skomplikowane niż ma to miejsce w przypadku reakcji ASR. Powodem tego są jeszcze nie w pełni poznane mechanizmy tej reakcji. Potrzebne jest również (oprócz badania występowania żelu będącego wynikiem reakcji alkaliów z krzemianami), zwrócenie uwagi na zmiany związane z procesem dedolomityzacji, czy działaniem sił osmotycznych [2, 4]. Kruszywa węglanowe umożliwiają jednak pobieranie próbek skalnych, które następnie można zanurzać

w zaczynie cementowym, po czym łatwo badać odpowiednie strefy tego układu [6]. Takie próbki umożliwiają łatwy wybór miejsc do obserwacji SEM.

#### 4. Podsumowanie

Badanie reaktywności kruszywa węglanowego (choć opiera się na tych samych zasadach co badanie reaktywności kruszywa krzemionkowego), w celu optymalizacji powinno przebiegać w zmodyfikowany sposób, nawet przy założeniu, że jest to tylko specyficzny rodzaj reakcji z uwagi na mechanizmy towarzyszące procesom ekspansji. Trzeba też pamiętać o dodatkowych możliwościach jakie stwarza badanie tego kruszywa, czyli przeprowadzaniu badań na wycinkach skały, oraz wyższej temperaturze w badaniach przyspieszonych. Jest to ważne, gdyż uzyskiwanie jak najdokładniejszych wyników badań jest szczególnie istotne, gdyż nieznanne są dokładne mechanizmy reakcji ACR. Nie należy również zapominać, że badania rentgenograficzne kruszywa, choć pozwalają zidentyfikować wiele jego składników, nie są idealne i mogą nie rozpoznać w kruszywie krzemionki, która czyni je reaktywnym.