

ZDZISŁAW NAZIEMIEC¹⁾

ALKALI-SILICA REACTIVITY OF SELECTED DOMESTIC FINE AGGREGATES

REAKTYWNOŚĆ ALKALICZNO-KRZEMIONKOWA WYBRANYCH KRAJOWYCH KRUSZYW DROBNYCH

STRESZCZENIE. W artykule przedstawiono wybrane informacje dotyczące jakości eksploatowanych i produkowanych w Polsce kruszyw drobnych, a szczególnie piasków naturalnych. Eksploatowane piaski najczęściej spełniają podstawowe wymagania jakościowe stawiane kruszywom drobnym stosowanym w budownictwie drogowym (np. w zakresie ich składu ziarnowego i czystości). Szczegółowo omówiono badania reaktywności alkalicznej piasków naturalnych i tzw. piasków łamanych uzyskiwanych w procesie kruszenia skał zwięzłych. Wyniki uzyskiwane w badaniach reaktywności, prowadzonych według norm krajowych PN-B-06714, wskazują na ich małą wiarygodność. Podano przykłady skróconego opisu petrograficznego wybranych piasków oraz wyniki badań reaktywności przeprowadzonych na beleczkach z zaprawy według normy ASTM C1260. Wartości rozszerzalności liniowych beleczek przyporządkowano geograficznie, nanosząc je na mapę konturową Polski. Badane kruszywa drobne wykazały duże zróżnicowanie jakościowe pod względem ich składu mineralnego i możliwości wystąpienia reakcji typu alkalia-kruszywo. Ponad połowa spośród przebadanych piasków charakteryzowała się ekspansją powyżej 0,1%, co według klasyfikacji AASHTO R-80 odpowiada kruszywom umiarkowanie reaktywnym.

SŁOWA KLUCZOWE: beton, kruszywa drobne, reaktywność alkaliczna kruszyw, właściwości piasków.

ABSTRACT. The paper presents selected information on the quality of the aggregates, especially natural sands, extracted and manufactured in Poland. The sands usually meet the basic quality requirements (e.g. concerning grading and purity) for fine aggregates to be used in road construction. Tests of the alkali reactivity of natural sands and manufactured (by crushing compact rock) sands are described in detail. The results of the reactivity tests carried out in accordance with domestic standards PN-B-06714 show the tests to be poorly reliable. Exemplary abridged petrographic descriptions of selected sands and the results of reactivity tests carried out on mortar beams in accordance with standard ASTM C1260 are presented. The beam linear expansion values were geographically assigned by marking them on a contour map of Poland. The tested fine aggregates were found to greatly vary qualitatively as regards their mineral composition and the likelihood of occurrence of the alkali-aggregate reaction. Over half of the tested sands were characterized by an expansion over 0.1%, which according to the AASHTO R-80 classification means that they are moderately reactive aggregates.

KEYWORDS: alkali-silica reactivity, concrete, fine aggregates, properties of sands.

DOI: 10.7409/rabdim.018.017

¹⁾ Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie, ul. Cementowa 8, 31-983 Kraków; z.naziemiec@icimb.pl

1. WPROWADZENIE

Kruszywo stanowi około 75% objętości betonu. Jakość kruszywa wpływa znacznie na trwałość i zachowanie się betonu w konstrukcji. Do betonu, oprócz kruszyw grubych, stosowane są również kruszywa drobne. Różnorodność stosowanych betonów powoduje, że podanie jednego, optymalnego składu ziarnowego kruszywa (tzw. stosu okrucowego) nie jest możliwe. Ogólnie można przyjąć, że udział kruszywa drobnego w stosie okrucowym wynosi około 33%. Stąd widać, że oprócz właściwości zastosowanych kruszyw grubych, ważna jest również jakość kruszyw drobnych [1].

Od kilku lat dużo uwagi poświęca się zjawisku reaktywności alkalicznej kruszyw. Znajduje to odbicie w licznych pracach badawczych dotyczących tego zagadnienia. Od roku 2016 w Instytucie Ceramiki i Materiałów Budowlanych - Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie oraz w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie realizowany jest projekt „Reaktywność alkaliczna krajowych kruszyw” dotyczący sposobów oceny reaktywności alkalicznej kruszywa oraz zapobiegania reakcji ASR w betonach z kruszyw krajowych, w nawierzchniach dróg i drogowych obiektach inżynierskich. Projekt realizowany jest w ramach programu Rozwój Innowacji Drogowych, a finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz Generalną Dyrekcję Dróg Krajowych i Autostrad. Przedmiotem badań są kruszywa z różnych regionów Polski, ze szczególnym uwzględnieniem regionu północno-wschodniego, który znany jest z dużych zasobów eksploatowanych tam złóż żwirowo-piaskowych [2], [3].

W ramach programu RID do badań pobrano próbki kruszyw grubych, o zawartości ziaren przekruszonych kategorii C100/0 lub C95/1. Przeprowadzono badania podstawowych cech jakościowych pobranych kruszyw, kierując się zapisami zawartymi w normach PN-EN 12620 [4] i PN-EN 13043 [5]. Dla kruszyw spełniających podstawowe wymagania jakościowe przeprowadzono badania petrograficzne i badania reaktywności alkalicznej według norm ASTM C1260 [6] i ASTM C1293 [7]. Wyniki wstępnych badań petrograficznych i badań reaktywności przeprowadzonych według wymienionych norm przedstawiono w artykułach [8] i [9].

Dotychczas stosunkowo niewiele uwagi poświęcano problemowi reaktywności alkalicznej kruszyw drobnych (piasków). Niniejszy artykuł poświęcony jest głównie temu zagadnieniu. W Polsce produkcja piasków i żwirów kształtuje się na poziomie 150-200 mln Mg/rok [10]. Dodając do tego kruszywa łamane ze skał zwięzłych, otrzymamy produkcję kruszyw na poziomie 200-250 mln Mg/rok. Ilość piasków uzyskiwanych w danym zakładzie eksploatującym kruszywa

1. INTRODUCTION

Aggregate amounts to about 75% of the volume of concrete. The quality of aggregate significantly affects the durability and behaviour of the concrete in a structure. Besides coarse aggregates also fine aggregates are used for concretes. Because of the variety of concretes it is not possible to give one optimal particle size distribution (the so-called aggregate skeleton). Generally, one can assume that the fine aggregate fraction in the aggregate skeleton amounts to about 33%. This means that besides the properties of the large aggregates, also the quality of the small aggregates is important [1].

For several years now much attention has been devoted to alkali-aggregate reactivity. This is reflected in numerous studies on this subject. Since 2016 a project entitled “The alkali reactivity of domestic aggregates” has been conducted in the Cracow Glass and Construction Materials Branch of the Institute of Ceramics and Construction Materials and in the Institute of Fundamental Technological Research of Polish Academy of Sciences. The project deals with ways of evaluating alkali-silica reactivity and preventing the ASR reaction in concretes made of domestic aggregates, and in road pavements and road structures. The project is run within the Road Innovations Development (RID) programme and funded by the National Centre for Research and Development and the General Directorate for National Roads and Motorways (GDDKiA). The object of the research are aggregates from different regions of Poland, especially from the north-western region which is known for the large resources of the gravel and sand deposits mined there.

As part of the RID programme, samples of coarse aggregates with crushed and broken surfaces percentage category C100/0 or C95/1 were taken for testing. The basic quality characteristics of the aggregates were tested in accordance with standards PN-EN 12620 [4] and PN-EN 13043 [5]. The aggregates satisfying the basic quality requirements were subjected to petrographic examinations and to alkali reactivity tests in accordance with ASTM C1260 [6] and ASTM C1293 [7]. The results of the preliminary petrographic examinations and the alkali reactivity tests carried out in accordance with the above standards were reported in papers [8] and [9].

So far the alkali reactivity of fine aggregates (sands) has received little attention. This paper is devoted mainly to this subject. The production of gravels and sands in Poland amounts to 150-200 million Mg/a [10]. Adding crushed-stone aggregates obtained from compact rocks to

piaskowo-żwirowe zależy od charakterystycznego dla danego złoża punktu piaskowego. Obecnie wydobycie kruszyw piaskowo-żwirowych prowadzone jest ze złóż o coraz wyższym punkcie piaskowym (60-70%). Przewiduje się, że na przestrzeni najbliższych 10 lat punkt piaskowy eksploatowanych złóż piaskowo-żwirowych zwiększy się o 10% [11]. Piaski klasyfikowane i nieklasyfikowane obecnie zużywa się głównie w budownictwie drogowym (do podbudów) oraz w innych robotach inżynierskich. Szacuje się, że zużycie piasków do tych celów wynosi 80-100 mln Mg/rok [12]. Podane wielkości produkcji piasków wskazują pośrednio na rangę problemu ich jakości. W artykule omówiono najważniejsze cechy jakościowe kruszyw drobnych (piasków i kruszyw drobnych łamanych uzyskiwanych ze skał zwięzłych) oraz przedstawiono wyniki badań ich reaktywności.

2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA KRUSZYW DROBNYCH

Określenie „kruszywo drobne” w nazewnictwie stosowanym w normach jest niejednoznaczne. Przykładowo, w poszczególnych normach dotyczących kruszyw odnosi się ono do następujących wymiarów ziaren:

- według PN-EN 12620 – kruszywo drobne ma wymiary ziaren d/D równe 0/4 mm,
- według PN-EN 13043 – kruszywo drobne – d/D równe 0/2 mm,
- według PN-EN 13139 – kruszywo drobne – d/D równe 0/4 mm,
- według PN-EN 13242 – kruszywo drobne – d/D równe 0/6,3 mm.

Pod nazwą kruszywo drobne mogą występować piaski naturalne, jak i tzw. piaski łamane uzyskiwane ze skał zwięzłych. W sensie geologicznym pod pojęciem piasku rozumie się luźną skałę osadową, średniookruchową, o wielkości ziaren 0.1/2 mm [13]. Piaski utworzone są z minerałów odpornych na wietrzenie, wśród których ilościowo pierwsze miejsce zajmuje kwarc. Piaski kwarcowe są też najbardziej rozpowszechnione. Ponadto w piaskach naturalnych występują skalenie, muskowit, glaukonit i inne minerały. Oprócz piasków kwarcowych wyróżnić można ponad 30 rodzajów piasków. Piaski klasyfikuje się na podstawie różnych cech:

- składu mineralnego (np. piaski kwarcowe, arkozowe i in.),
- struktury (piaski grubo-, średnio- i drobnoziarniste),
- środowiska sedymentacji (piaski morskie, rzeczne, lodowcowe i in.).

the above, one gets the aggregate production figure of 200-250 million Mg/a. The amount of sands extracted from a given sand-gravel mine depends on the sand equivalent value characteristic of the given deposit. Currently, sand-gravel aggregates are extracted from deposits with increasingly higher equivalent sand values (60-70%). It is anticipated that over the next 10 years the sand equivalent value of the sand-gravel deposits mined will increase by 10% [11]. Classified and unclassified sands are currently used mainly in road building (for road-bases) and in other ground engineering works. It is estimated that 80-100 million Mg/a of sands are used for this purpose [12]. The above figures of sand production indirectly indicate the importance of the issue of the quality of the extracted sands. This paper describes the most important quality characteristics of fine aggregates (sands and small crushed-stone aggregates obtained from compact rocks) and the results of tests of their reactivity.

2. THE GENERAL CHARACTERISTICS OF FINE AGGREGATES

The term “fine aggregate” used in the standards is ambiguous. For instance, in the particular standards relating to aggregates it applies to the following aggregate particle dimensions:

- according to PN-EN 12620 – fine aggregate has particles of size $d/D = 0/4$ mm,
- according to PN-EN 13043 – $d/D = 0/2$ mm,
- according to PN-EN 13139 – $d/D = 0/4$ mm,
- according to PN-EN 13242 – $d/D = 0/6.3$ mm.

The term “fine aggregate” covers both natural sands and crushed-stone sands manufactured from compact rocks. Geologically, sand is understood to be medium-clastic loose sedimentary rock with a particle size of 0.1/2 mm [13]. Sands are made up of weathering resistant minerals among which quartz predominates quantitatively. Quartz sands are most common. Natural sands contain also feldspars, muscovite, glauconite and other materials. Apart from quartz sands, one can distinguish over 30 thousand sands. Sands are classified according to their:

- mineralogical composition (e.g. quartz sands, arcose sands, etc.),
- structure (course-, medium- and fine-grained),
- sedimentation environment (sea sands, river sands, glacial sands, etc.).

The quartz content in pure quartz sands reaches 100%. In technical petrography, the term quartz sands is used for

W czystych piaskach kwarcowych zawartość kwarcu zbliża się do 100%. W petrografii technicznej nazwę piaski kwarcowe stosuje się do piasków zawierających więcej niż 90% kwarcu. Piaski różnią się między sobą wielkością i kształtem ziaren. Na przykład piaski lodowcowe są różnoziarniste, o ziarnach ostrokrawędzistych. Piaski rzeczne są zwykle różnoziarniste, o ziarnach obtoczonych [13].

3. WYMAGANIA STAWIANE KRUSZYWOM DROBNYM W BETONACH KONSTRUKCYJNYCH

Wymagania wobec kruszywa drobnego do betonu konstrukcyjnego w budownictwie drogowym podawane są w specyfikacjach technicznych. Dotyczą one następujących właściwości:

- uproszczonego opisu petrograficznego (deklarowanego przez producenta),
- uziarnienia kruszywa,
- zawartości pyłów,
- zawartości siarczanów i siarki całkowitej,
- reaktywności alkalicznej,
- zawartości zanieczyszczeń lekkich i substancji organicznych,
- gęstości ziaren i gęstości nasypowej (wartości deklarowanej).

W zakresie uziarnienia, zawartości pyłów, zawartości zanieczyszczeń lekkich i zawartości substancji organicznych zwykle nie ma większych problemów z osiągnięciem wymaganych parametrów. Piaski często są eksploatowane spod lustra wody i płukane na przesiewaczach wibracyjnych zapatrzonych w natryski wodne. Umożliwia to uzyskanie piasków o zawartości pyłów poniżej 1%. W przypadku kruszyw uzyskiwanych z procesów kruszenia skał zwięzłych powstaje znaczna ilość kruszyw drobnych, a zawartość pyłów może sięgać nawet kilku procent [14]. Wówczas konieczne jest zastosowanie płukania np. na przesiewaczu wibracyjnym. Warto również zwrócić uwagę na różną kancistość poszczególnych rodzajów piasków. Przykładowo wskaźnik przepływu kruszywa drobnego określony według PN-EN 933-6 [15] dla piasku naturalnego 0/2 mm wynosił 27, natomiast dla piasku łamanego 0/2 mm, pochodzącego z tego samego złoża, wynosił 33.

Wymagany skład ziarnowy i czystość piasków można uzyskać, stosując odpowiednie operacje przerobcze. Najczęściej w krajowych zakładach produkcji kruszyw frakcja piaskowa odbierana jest z odwadniacza kubelkowego, do

sands containing over 90% of quartz. Sands differ in their size and shape of their grains. For example, the grains of glacial sands are non-uniform and angular. The grains of river sands are usually non-uniform and rounded [13].

3. REQUIREMENTS FOR FINE AGGREGATES IN STRUCTURAL CONCRETES

The requirements which fine aggregate for structural concrete in road building must meet are given in construction specifications. They apply to the following:

- a simplified petrographic description (declared by the producer),
- the aggregate grading,
- the dust content,
- the sulphate and total surface content,
- the alkali reactivity,
- the light impurities and organic matter content,
- the particle density and the bulk density (declared values).

As regards the aggregate grading, the dust content, the light impurities content and the organic matter content, there is usually no major problem with meeting the required standards. Sands are often extracted from below the water surface and washed using vibrating screens equipped with water sprayers. Consequently, sands with a dust content of less than 1% can be obtained. In the case of aggregates manufactured by crushing compact rocks, a considerable amount of fine aggregates is produced and the dust content can reach a few percent [14]. Then it becomes necessary to apply washing using, e.g. a vibrating screen. One should also note the different angularity of the particular types of sand. For instance, the fine aggregate flow index, determined acc. to standard PN-EN 933-6 [15], for natural sand 0/2 mm amounted to 27, while for crushed rock sand 0/2 mm extracted from the same deposit it amounted to 33.

The required particle composition and purity of sands can be achieved through proper processing operations. In the domestic aggregate manufacturing plants the sand fraction is most often collected from a bucket dewaterer to which the fines from the bottom screen bed are directed. Increasingly often hydrocyclones are employed, making it possible to separate products with a considerably lower cut size than when the bucket dewaterer alone is used.

którego kierowany jest produkt podsitowy z dolnego pokładu przesiewacza. Coraz częściej stosowane są hydrocyklony, w których można wydzielić produkty o znacznie niższym ziarnie podziałowym, niż w przypadku zastosowania samego odwadniacza kubelkowego.

Zanieczyszczenia lekkie i substancje organiczne mogą być usunięte z kruszywa poprzez zastosowanie urządzeń działających na zasadzie osadzarek pulsacyjnych. W tej dziedzinie przeróbki stosowane są urządzenia o nazwach: akwamatory, hydromatory, klasyfikatory pulsacyjne, osadzarki pulsacyjne. Zanieczyszczenia lekkie, jako pływające w wodzie, są w nich oddzielane od cięższego kruszywa [16]. W kruszywach drobnych o ustalonym standardzie najczęściej nie stwierdza się obecności humusu. W badaniach kruszyw prowadzonych w ICiMB w Krakowie uzyskano wyniki dotyczące zawartości siarki, siarczanów i chlorków w kruszywach drobnych, które kształtowały się znacznie poniżej dopuszczalnych poziomów i mieściły się w przedziałach:

- zawartość siarki: < 0,05%,
- zawartość siarczanów rozpuszczalnych w kwasie: < 0,2%,
- zawartość chlorków: < 0,01%.

Problemem w badaniu przydatności piasków do betonów konstrukcyjnych może być określenie ich reaktywności alkalicznej. Jest to badanie długotrwałe, a ponadto ostatnio prowadzone według różnych metod badawczych. Prowadzone w ostatnich latach analizy wielkości wydobycia piasków jak i oceny zasobów geologicznych wskazują na potrzebę właściwego wykorzystania kruszyw drobnych [10], [11]. Ocena reaktywności alkalicznej piasków naturalnych i piasków łamanych ułatwi prowadzenie racjonalnej gospodarki tymi surowcami.

W załączniku 1 Ogólnej Specyfikacji Technicznej GDDKiA, dotyczącym nawierzchni z betonu cementowego, podano instrukcję badania reaktywności kruszyw opartą na metodzie przedstawionej w normie ASTM C1260 oraz RILEM AAR-2. Kruszywo oceniane jest zgodnie z AASHTO R-80 na podstawie wyniku rozszerzalności liniowej beleczek z badanym kruszywem. W zależności od wielkości ekspansji przyjęto kategorie reaktywności, które podano w Tabl. 1.

Light impurities and organic matter can be removed from aggregate by means of devices based on the principle of operation of pulsator jigs. At this stage of processing, such machines as: aquamators, hydromators, pulsatory classifiers and pulsator jigs are used. Since light impurities float in water, they are separated in the machines from the heavier aggregate [16]. In fine aggregates of consistent standard no humus is usually found to be present. Tests carried out on aggregates in ICiMB in Cracow showed that the sulphur content, the sulphate content and the chloride content were considerably below the allowable levels and were within the following ranges:

- the sulphur content: < 0.05%,
- the acid-soluble sulphate content: < 0.2%,
- the chloride content: < 0.01%.

When determining the suitability of sands for structural concretes one can find it difficult to test their alkali reactivity. Such tests last long and recently have begun to be conducted using various testing methods. The conducted analyses of the volumes of the extracted sands and the evaluations of the geological resources indicate that there is a need to properly use fine aggregates [10], [11]. When the alkali reactivity of natural sands and manufactured sands is evaluated, it will become easier to rationally manage these resources.

Annex 1 to the GDDKiA General Technical Specification concerning pavements made of cement concrete includes a guide to aggregate reactivity testing based on the method presented in standard ASTM C1260 and RILEM AAR-2. Aggregate is evaluated in accordance with AASHTO R-80 on the basis of the linear expansion of mortar-bars containing the tested aggregate. Depending on the linear expansion value the reactivity categories presented in Table 1 were adopted.

Table 1. Categories of aggregate reactivity according to AASHTO R-80 depending on changes in length of mortar samples using the test method ASTM C1260 [17]
Tablica 1. Kategorie reaktywności kruszywa według AASHTO R-80 w zależności od zmiany długości próbek zaprawy badanych metodą ASTM C1260 [17]

Category of aggregate reactivity Kategoria reaktywności kruszywa	Descriptive determination of reactivity Opisowe określenie reaktywności	14-day change in beam length [%] 14-dniowa zmiana długości beleczek
R 0	Non-reactive / Niereaktywne	≤ 0.10
R 1	Moderately reactive / Umiarkowanie reaktywne	> 0.10, ≤ 0.30
R 2	Strongly reactive / Silnie reaktywne	> 0.30, ≤ 0.45
R 3	Very strongly reactive / Bardzo silnie reaktywne	> 0.45

4. BADANIA REAKTYWNOŚCI ALKALICZNEJ KRUSZYW DROBNYCH

4.1. DOTYCHCZASOWA METODYKA BADAŃ

W Polsce do problematyki badania reaktywności kruszyw odnosiły się normy: PN-B-06714-47 [18] (wycofana), PN-B-06714-46 [19] oraz PN-B-06714-34 (wycofana) [20]. W badaniach prowadzonych w ICiMB w Krakowie według procedur opisanych w ww. normach niezwykle rzadko można było stwierdzić, że badane kruszywo jest reaktywne. Dla przebadanych w ostatnich latach, według normy PN-B-06714-46, 27 próbek różnych piasków uzyskano wyniki odpowiadające zerowemu stopniowi reaktywności alkalicznej (kruszywa niereaktywne). W przypadku piasków problem stanowiło uziarnienie kruszywa przewidzianego do badania. Badanie przeprowadza się na frakcjach powyżej 1 mm. Tymczasem w piaskach stosowanych do betonów frakcja poniżej 1 mm stanowi często powyżej 60%. Dla przebadanych w ostatnich latach, według normy PN-B-06714-34, 16 próbek kruszyw, uzyskano w każdym przypadku rozszerzalność liniową poniżej 0,1% (najczęściej poniżej 0,04%), co pozwalało uznać dane kruszywo za niereaktywne.

Krajowe normy dotyczące badania reaktywności kruszywa opracowane były w latach siedemdziesiątych XX wieku, a ostatnie wersje pochodzą z lat dziewięćdziesiątych. Ze względu na ich niewielką skuteczność w diagnozowaniu reaktywności alkalicznej stosowanie tych norm wydaje się nieuzasadnione [21].

4.2. METODY I ZAKRESY BADAŃ

W badaniach prowadzonych w Instytucie Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Krakowie stosowane są metody badań reaktywności wskazane w dokumentach AASHTO [22] oraz w dokumentach RILEM [23]. Wytyczne AASHTO oraz RILEM podają schemat badania reaktywności alkalicznej kruszyw obejmujący dotychczasowe informacje historyczne, badania petrograficzne, chemiczne, wyniki badań przyspieszonej ekspansji beleczek zaprawy wykonanych z udziałem badanego kruszywa i długotrwałe badania betonów. Jak wykazały badania petrograficzne przeprowadzone według wskazań RILEM przez Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN w Warszawie, spośród 20 próbek krajowych kruszyw żwirowych 18 zaklasyfikowano do grupy II (kruszywa potencjalnie reaktywne), a dwa kruszywa do grupy III (kruszywa reaktywne) [24]. Opis petrograficzny nie może być jednak jedynym kryterium oceny kruszyw pod

4. TESTING ALKALI REACTIVITY OF FINE AGGREGATES

4.1. THE CURRENT METHODOLOGY OF TESTING

In Poland alkali-aggregate reactivity has been covered by the standards: PN-B-06714-47 [18] (withdrawn), PN-B-06714-46 [19] and PN-B-06714-34 (withdrawn) [20]. According to the tests conducted in ICiMB in Cracow in accordance with the procedures described in the above standards, it is extremely rarely that the tested aggregate is found to be reactive. The tests carried out in recent years on 27 samples of different sands in accordance with standard PN-B-06714-46 showed the sands to be zero alkali reactive (non-reactive aggregates). In the case of the sands, their grading was found to pose a problem. The test is conducted on fractions of above 1 mm. Whereas in the sands used for concretes the below 1 mm fraction often amounts to over 60%. For 16 aggregate samples tested in recent years according to standard PN-B-06714 their linear expansion was found to be below 0.1% (usually below 0.04%) in each case, whereby the tested aggregate could be recognized as non-reactive.

The domestic standards relating to aggregate reactivity testing were developed in the 1970s and their latest versions come from the 1990s. Due to their low effectiveness in diagnosing alkali reactivity the further use of the standards seems to be unjustified [21].

4.2. METHODS AND SCOPES OF TESTS

The reactivity testing methods recommended in the AASHTO documents [22] and the RILEM documents [23] are used in the tests conducted in the Institute of Ceramics and Construction Materials in Cracow. The AASHTO and RILEM guidelines provide an alkali-aggregate reactivity testing scheme comprising the historical data to date, petrographic examinations, chemical tests, the results of accelerated expansion tests on mortar containing the tested aggregate, and long-term tests of concretes. Petrographic examinations carried out in accordance with the RILEM recommendations by the Institute of Fundamental Technological Research of Polish Academy of Sciences in Warsaw showed that from among 20 samples of domestic gravel aggregates 18 belonged to group II (potentially reactive aggregates) and 2 to group III (reactive aggregates) [24]. However, a petrographic description cannot be the only criterion for evaluating aggregates with regard to their alkali reactivity [25]. This means that

kątem reaktywności alkalicznej [25]. Wynika stąd potrzeba prowadzenia dalszych szczegółowych badań reaktywności alkalicznej przy użyciu metod polegających na badaniu wydłużenia próbek poddanych narażeniu na oddziaływanie alkaliów. Podobnie jak w przypadku kruszyw grubych, postępuje się w odniesieniu do kruszyw drobnych.

W ICiMB w Krakowie przeprowadzono badania petrograficzne dla wybranych próbek kruszyw drobnych pod kątem występowania w nich minerałów uważanych za reaktywne. Zasady prowadzenia analizy i interpretacji wyników odpowiadały zaleceniom ASTM C295 [26] i RILEM AAR-1. Kruszywem potencjalnie reaktywnym jest kruszywo zawierające minerały (np. opal, chalcedon, trydymit, krystobalit, kwarc w stanie naprężeń i in.) lub skały (np. krzemienie, rogowiec, piaskowiec, porfiry, bazalty oliwinowe, zwietrzałe granity), które wchodzi w reakcję z alkaliami zawartymi w cemencie. [21], [27]. W celu stwierdzenia obecności minerałów reaktywnych przeprowadzono badania mikroskopowe w świetle przechodzącym i wykonano analizę rentgenograficzną XRD. Obserwacje mikroskopowe wykonano przy użyciu mikroskopu polaryzacyjnego. Badano preparaty mikroskopowe w postaci cienkich szlifów próbek piasków. W celu ilościowego określenia zawartości minerałów przeprowadzono analizę planimetryczną. W uzupełnieniu wykonano oznaczenie składu fazowego przy pomocy dyfraktometru.

4.3. WYNIKI BADAŃ

Wyniki badań składu mineralnego kruszyw drobnych zestawiono w Tabl. 2. Przykładowe zdjęcia mikroskopowe piasku 0/2 mm pochodzącego z zakładu nr 8 pokazano na Rys. 1 i 2. Wydruk z badania rentgenowskiego dla tego samego kruszywa przedstawiono na Rys. 3. Uzyskana ocena petrograficzna jedynie w przypadku kruszywa drobnego łamanego z zakładu nr 16 pozwalała zaliczyć go do grupy I, czyli uznać za kruszywo niereaktywne. Przebadane piaski naturalne na podstawie podanych wyników badań można zaliczyć do grupy II, czyli wymagane są badania rozszerzalności beleczek z zaprawy. Na marginesie warto dodać, że w Polsce brak jest dokładnych kryteriów pozwalających na zaliczenie danego kruszywa do określonej grupy, a w wielu krajach wartości progowe dla poszczególnych minerałów reaktywnych przyjmowane są na różnych poziomach [28].

Dla próbek piasków pobranych z różnych regionów Polski przeprowadzono badania według normy ASTM C1260. Odpowiednikiem badania opisanego w normie ASTM C1260 jest badanie przedstawione w procedurze RILEM AAR-2. Identyczna jest też ocena uzyskiwanych wyników. Badania prowadzone były na beleczkach zaprawy umieszczonych

alkali-concrete reactivity needs to be more closely investigated using methods consisting in determining the elongation of samples exposed to alkali. Similar observations as for coarse aggregates apply to fine aggregates.

In ICiMB in Cracow petrographic tests were carried out on selected samples of fine aggregates to find out if they contained minerals considered to be reactive. The analyses and the interpretation of their results were based on the ASTM C295 [26] and RILEM AAR-1 recommendations. An aggregate containing minerals (e.g. opal, chalcedony, tridymite, cristobalite, highly strained quartz, etc.) or rocks (e.g. flints, hornstones, sandstones, porphyries, olivine basalts, weathered granites) which react with the alkali contained in cement was found to be potentially reactive [21], [27]. In order to find out if reactive minerals were present in the tested aggregates microscopic examinations in transmitted light and XRD analyses were carried out. A polarization microscope was used for the microscopic examinations. The microscopic specimens had the form of thin sections of sand samples. A planimetric analysis was carried out to qualitatively determine the mineral content. Moreover, the phase composition was determined using a diffractometer.

4.3. TEST RESULTS

The mineral composition test results for the fine aggregates are presented in Table 2. Exemplary microscopic photos of 0/2 mm sand coming from the plant no. 8 are shown in Figs 1 and 2. Fig. 2 shows an X-ray examination for the same aggregate. On the basis of the petrographic evaluation only the fine crushed-stone aggregate from the plant no. 16 can be classified into group I, i.e. recognized as a non-reactive aggregate. The tested natural sands can be classified into group II, which means that mortar-bar expansion tests are required. Incidentally, in Poland there are no precise criteria for classifying aggregates into particular groups and in many countries different threshold values are assumed for the particular reactive minerals [28].

The sand samples taken from different regions in Poland were tested according to standard ASTM C1260. An equivalent to the test described in this standard is the test included in the RILEM AAR-2 procedure. Also the evaluation of test results is identical. The tests were carried out on mortar-bars placed in 1 N NaOH and kept at a temperature of 80°C. Cement CEM I 42.5 R with alkali content $Na_2O_{eq} = 0.63\%$ was used in the tests. The reactivity of an aggregate is evaluated on the basis of the expansion of bars after they have been kept in 1 N NaOH for 14 days

w 1-normalnym roztworze NaOH i przetrzymywanych w temperaturze 80°C. W badaniach stosowano cement CEM I 42,5 R o zawartości alkaliów $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = 0,63\%$. Reaktywność kruszywa oceniana jest na podstawie wyników ekspansji beleczek po 14 dniach przetrzymywania w 1-normalnym roztworze NaOH (Tabl. 1). W badaniach piasków uzyskano wyniki ekspansji, czyli rozszerzalności liniowej beleczek ΔL , które przedstawiono w Tabl. 3. Przebieg zmian rozszerzalności beleczek z zaprawy przygotowanej z udziałem różnych kruszyw drobnych przedstawiono na Rys. 4. W przypadku piasku S, a szczególnie piasku SW widać, że jest to kruszywo reaktywne, wolno reagujące.

(Table 1). The test results, i.e. values of linear expansion ΔL of the mortar-bars, are presented in Table 3. The graphs of the linear expansion of the mortar-bars with different fine aggregates are shown in Fig. 4. In the case of sand S, and especially sand SW, it is apparent that they are slowly reacting aggregates.

Table 2. Contents of potentially reactive minerals in selected fine aggregates

Tablica 2. Zawartość minerałów potencjalnie reaktywnych w wybranych kruszywach drobnych

Number of a plant and type of fine aggregate Numer zakładu i rodzaj kruszywa drobnego	Extension acc. to the ASTM C1260 standard Rozszerzalność wg ASTM C1260 [%]	Contents of minerals / Zawartość minerałów [%]						
		quartz / kwarc			opal binder spoiwo opalowe	chalcedony chalcedon	tridymite trydymit	cristobalite krystobalit
		stressed w stanie naprężeń	micro-crystalline mikrokryształiczny	crypto-crystalline krytokryształiczny				
No. / Nr 7 Sand / Piasek 0/2	0.13	12	1.4	2.5	0.0	0.5	0.0	0.0
No. / Nr 8 Sand / Piasek 0/2	0.21	17	2.5	9.6	2.9	2.9	0.0	0.0
No. / Nr 9 Sand / Piasek 0/2	0.08	6.1	4.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
No. 16 / Nr 16 Manufactured sand / Piasek łamany 0/4	0.02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
No. / Nr 17 Sand / Piasek 0/2	0.23	18	2.6	10.1	1.0	2.0	0.0	0.0
No. / Nr 18 Sand / Piasek 0/2	0.12	12	1.4	3.5	0.0	1.6	0.0	0.0

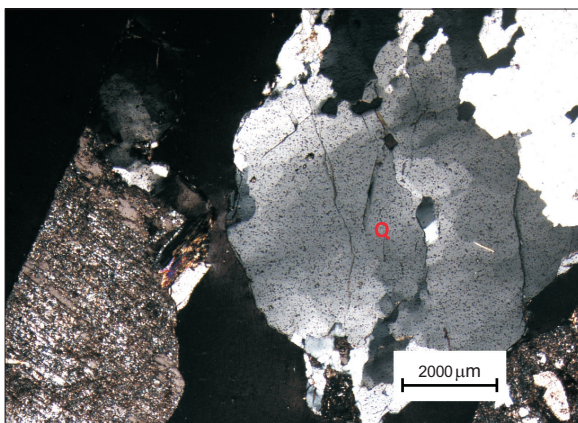


Fig. 1. Sand 0/2 mm from the plant No. 8 – quartz in the state of stress (polarizers X)
Rys. 1. Piasek 0/2 mm z zakładu nr 8 – kwarc w stanie naprężeń (polaryzatory X)

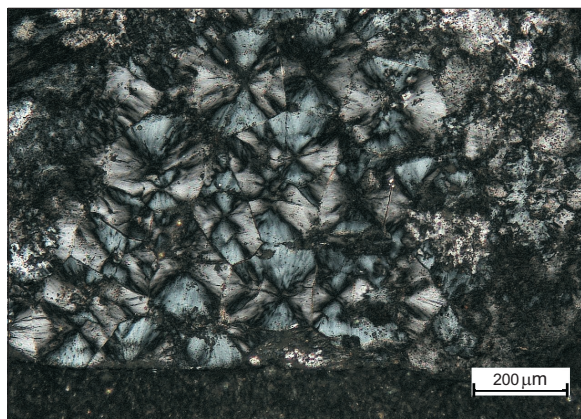


Fig. 2. Sand 0/2 mm from the plant No. 8 – chalcedony rosettes (polarizers X)
Rys. 2. Piasek 0/2 mm z zakładu nr 8 – rozety chalcedonu (polaryzatory X)

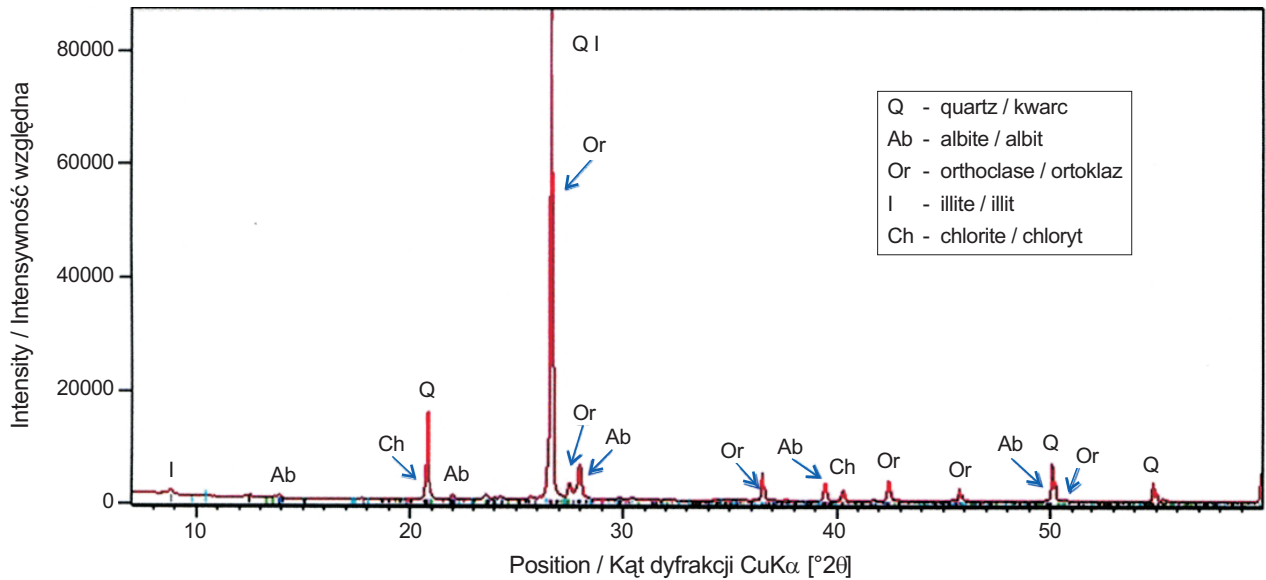


Fig. 3. Diffraction analysis (XRD) of sand 0/2 mm from the plant no. 8

Rys. 3. Analiza rentgenograficzna (XRD) piasku 0/2 mm z zakładu nr 8

Table 3. Linear expansion ΔL of mortar-bars with examined aggregate in tests according to the standard ASTM C1260
Tablica 3. Rozszerzalność liniowa ΔL beleczek z badanym kruszywem, w badaniach według normy ASTM C1260

Plant No. Zakład nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Sand type Rodzaj piasku	0/2	0/2	0/2	0/2	0/5 ^{*)}	0/2	0/2	0/2	0/2	0/2	
ΔL [%]	0.07	0.27	0.26	0.08	0.26	0.20	0.09	0.13	0.21	0.08	
Plant No. Zakład nr	11		12	13	14	15	16	17	18	19	20
Sand type Rodzaj piasku	0/2	0/2 ^{*)}	0/4 ^{*)}	0/2 ^{*)}	0/2 ^{*)}	0/2	0/4 ^{*)}	0/2	0/2	0/1	0/2
ΔL [%]	0.11	0.28	0.18	0.05	0.29	0.27	0.02	0.23	0.12	0.03	0.09

*) Manufactured sand / Piasek łamany

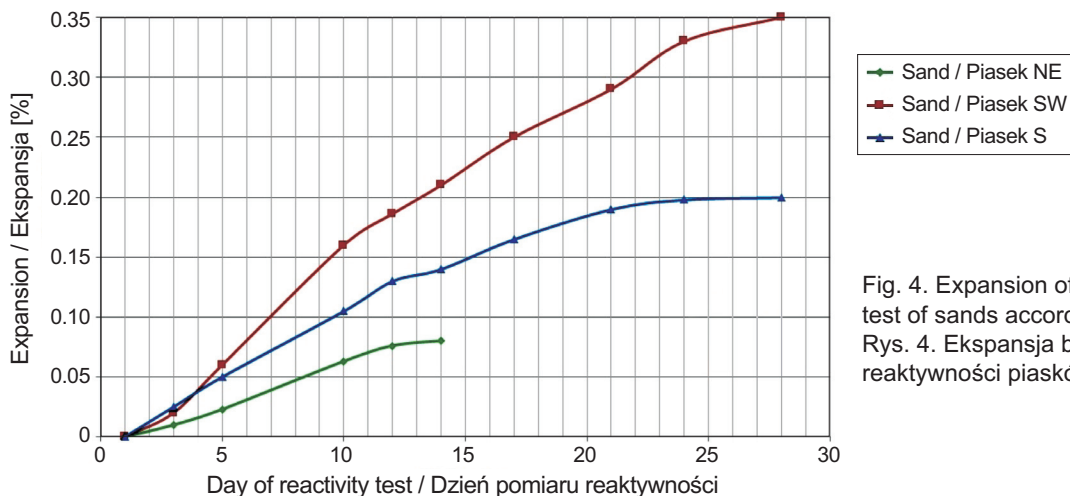


Fig. 4. Expansion of mortar-bars during reactivity test of sands according to ASTM C1260

Rys. 4. Ekspansja beleczek podczas badania reaktywności piasków według ASTM C1260

Mapkę z orientacyjną lokalizacją miejsc poboru próbek oraz nanesionymi wynikami badań według normy ASTM C1260 przedstawiono na Rys. 5. Przyporządkowanie geograficzne złóż surowców mineralnych stosowane jest np. w Niemczech i uwzględnia warunki geologiczne, w jakich dane złoża powstawały [27]. Kolory liczb odzwierciedlają wartości rozszerzalności liniowej ΔL badanych beleczek ($\Delta L < 0,10\%$ - kolor zielony; $0,10\% \leq \Delta L \leq 0,20\%$ - kolor niebieski; $\Delta L > 0,20\%$ - kolor czerwony). Duże wartości rozszerzalności beleczek z zaprawy uzyskano dla piasków pochodzenia rzeczno. Podobne przykłady można znaleźć w innych krajach, gdzie piaski rzeczne o wysokiej zawartości SiO_2 powodowały większe zmiany liniowe w badaniu prowadzonym według ASTM C1260 [29]. W badaniach prowadzonych w Republice Czeskiej stwierdzono duży udział kruszyw drobnych umiarkowanie reaktywnych i silnie reaktywnych, czyli kategorii R 1 i R 2, według klasyfikacji AASHTO R-80 [30], [31].

Warto zwrócić uwagę na różnice jakościowe, jakie mogą występować w przypadku piasków pochodzących z tego samego zakładu eksploatacji kruszyw (zakłady nr 4 i 11). W przypadku zakładu oznaczonego numerem 11 pobrano próbkę piasku naturalnego 0/2 mm i piasku łamanego 0/2 mm. Piasek naturalny składał się głównie z ziaren kwarcu i skaleni alkalicznych. Zakwalifikować go można jako piasek naturalny kwarcowo-skaleniowy. Ponadto stwierdzono w nim niewielką obecność muskowitu, biotyту oraz pojedyncze okruchy skał krystalicznych i osadowych (węglanowych). Natomiast piasek łamany pochodził z procesu kruszenia kruszywa grubego w kruszarce udarowej. W składzie piasku łamanego można było wyróżnić skalenie alkaliczne, głównie różowy ortoklaz, kwarc oraz okruchy skał krystalicznych (czerwony granit). W mniejszej ilości występowały okruchy skał osadowych, głównie wiśniowo-czerwonego drobnoziarnistego piaskowca. Podrzednie zaobserwowano pojedyncze blaszki muskowitu. Makroskopowo materiał ten można zakwalifikować jako niejednorodny piasek łamany. Różny skład mineralny znalazł swoje odzwierciedlenie w zdecydowanie odmiennych wynikach badań reaktywności, przeprowadzonych według normy ASTM C1260 na beleczkach wykonanych z udziałem badanych piasków. Duża zmienność składu mineralnego piasków zbieżna jest z petrograficzną zmiennością eksploatowanych w Polsce żwirów [8], [24]. Znaczne różnice wyników uzyskiwanych w badaniu wg ASTM C1260 występują szczególnie w południowych rejonach Polski, gdzie skład mineralny kruszyw rzecznych zmienia się niekiedy na niewielkim obszarze i jest charakterystyczny dla złóż zlokalizowanych wzdłuż większych rzek.

A map showing approximate locations of the places from which the samples were taken and the results of the tests carried out according to standard ASTM C1260 are shown in Fig. 5. The geographical assignment of industrial mineral deposits is used in, e.g., Germany and takes into account the geological conditions in which the deposits formed [27]. The colours of the numbers reflect the values of linear expansion ΔL of the tested bars ($\Delta L < 0.10\%$ - green, $0.10\% \leq \Delta L \leq 0.20\%$ - blue, $\Delta L > 0.20\%$ - red). High mortar-bars expansion values were obtained for the river sands. Similar examples can be found in other countries where river sands with a high SiO_2 content exhibit greater linear expansion when tested according to ASTM C1260 [29]. Tests carried out in the Czech Republic showed a high percentage of moderately and strongly reactive fine aggregates, i.e. belonging to category R 1 and R 2, according to the AASHTO R-80 classification [30], [31].

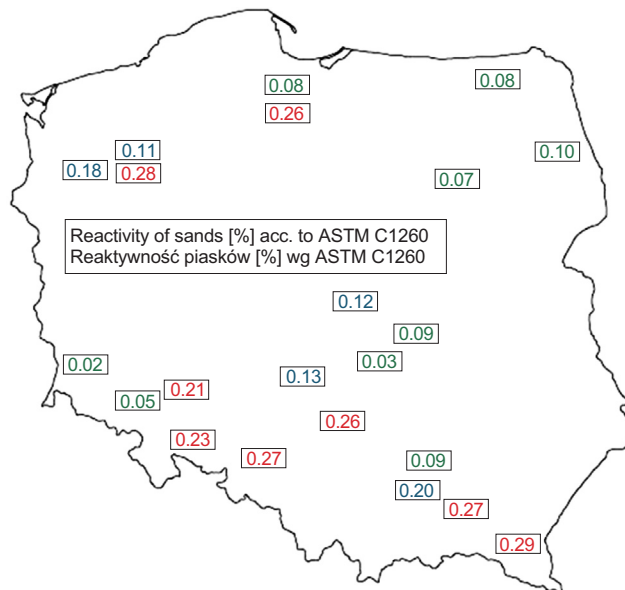


Fig. 5. Sampling places of fine aggregates and test results of reactivity according to ASTM C1260

Rys. 5. Miejsca poboru próbek kruszyw drobnych i wyniki badań reaktywności według ASTM C1260

One should note the qualitative differences which may occur in the case of sands coming from the same aggregate plant (plants no. 4 and 11). In the case of plant no. 11, a sample of 0/2 mm natural sand and a sample of 0/2 mm crushed-stone sand were taken. The natural sand consisted of mainly quartz and alkaline feldspar grains. It can be classified as natural quartz-feldspar sand. Moreover, it was found to contain small amounts of muscovite, biotite and individual particles of crystalline and sedimentary (carbonate) rocks. The crushed-stone aggregate had been

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W ocenie jakości kruszyw drobnych stosowanych w betonach oprócz badań podstawowych cech użytkowych, takich jak skład ziarnowy, zawartość pyłów, zawartość zanieczyszczeń, zawartość określonych związków chemicznych, bardzo ważna jest ocena dotycząca podatności kruszywa na wystąpienie reakcji typu alkalia-kruszywo. Analizując przedstawione wyniki badań reaktywności, nasuwają się następujące wnioski:

1. Stosowane obecnie w Polsce metody badań reaktywności w oparciu o krajowe normy serii PN-B nie dają możliwości uzyskania miarodajnej oceny. Istnieje potrzeba wprowadzenia nowych metod badań, począwszy od oceny petrograficznej, aż do komplementarnych badań reaktywności alkalicznej oraz wprowadzenia rozwiązań materiałowych służących zapobieganiu wystąpienia w betonie reakcji alkalia-kruszywo.
2. W badaniach reaktywności należy zwrócić uwagę nie tylko na kruszywa grube, (co w ostatnich latach znajduje odzwierciedlenie w podejmowanych pracach badawczych), ale także kruszywa drobne (piaski). Jak wykazały przeprowadzone dotychczas badania, krajowe kruszywa drobne charakteryzują się dużą zmiennością składu mineralnego, a w ślad za tym również dużą zmiennością wyników badań podatności na wystąpienie reakcji alkalia-kruszywo.
3. Przeprowadzane wstępne badania petrograficzne często nie pozwalają zaliczyć danego kruszywa do bezpiecznych pod względem możliwości wystąpienia reakcji alkalia-kruszywo. Nie znaczy to jednak, że kruszywa te są niebezpieczne ze względu na możliwość wystąpienia reakcji alkalia-kruszywo. Właściwe rozpoznanie kruszyw pod kątem możliwości wystąpienia reakcji alkalia-kruszywo wymaga przeprowadzenia badań na zaprawach i betonach sporządzonych z udziałem ocenianych kruszyw.
4. W badaniach krajowych kruszyw drobnych przeprowadzonych w ICiMB w Krakowie według normy ASTM C1260, spośród 22 przebadanych próbek w 9 przypadkach uzyskano wynik rozszerzalności wskazujący na kruszywo niereaktywne (kategoria R 0), a w 13 przypadkach wynik klasyfikuje kruszywo jako umiarkowanie reaktywne (kategoria R 1).

W przypadku uzyskania wyniku wskazującego na kruszywo reaktywne możliwe jest odpowiednie zaprojektowanie betonu, na przykład poprzez zastosowanie dodatków mineralnych zapobiegających możliwości wystąpienia reakcji alkalia-krzemionka.

manufactured from coarse aggregate crushed in an impact crusher. In its composition one could distinguish alkali feldspars (mainly pink orthoclase), quartz, and crystalline rock (red granite). Sedimentary rock (mainly cherry-red siltstone) particles would occur in smaller amounts. A minor presence of individual flakes of muscovite was observed. Macroscopically this material can be classified as heterogenous crushed-stone sand. The varied mineral composition was reflected in the markedly different results of reactivity tests carried out according to standard ASTM C1260 on beams containing the sands. The great variation in the mineral composition of the sands corresponds to the petrographic variation of the gravels extracted in Poland [8], [24]. Considerable differences in the results yielded by the test acc. to ASTM C1260 occur particularly in the southern regions of Poland, where the mineral composition of river aggregates varies sometimes within a small area and is characteristic of deposits located along larger rivers.

5. SUMMARY AND CONCLUSIONS

When assessing the quality of fine aggregates for concretes, apart from testing the basic useful qualities, such as particle size distribution, dust content, impurities content and specific chemical compounds content, it is essential to evaluate the susceptibility of the aggregate to the alkali-aggregate reaction. The following conclusions emerge from the analysis of the results of the reactivity tests:

1. The reactivity testing methods based on the PN-B series standards, currently used in Poland, are inadequate to provide a reliable evaluation. There is a need for new testing methods (from a petrographic evaluation to complementary alkali-aggregate reactivity tests) and for material solutions which would prevent the occurrence of the alkali-aggregate reaction in concrete.
2. Reactivity tests should cover not only coarse aggregates (which has been the case in recent years), but also fine aggregates (sands). As the tests carried out to date have shown, domestic fine aggregates are characterized by a wide variation in their mineral composition and consequently, by a great variation in the results of tests of their susceptibility to the alkali-aggregate reaction.
3. Preliminary petrographic examinations are often inadequate to classify a given aggregate as safe as regards the occurrence of the alkali-aggregate reaction. This does not mean, however, that the aggregates pose an alkali-aggregate reaction hazard. In order to properly

INFORMACJE DODATKOWE

W pracy wykorzystano wyniki badań uzyskane w ramach projektu badawczego nr DZP/RID-I-37/6/NCBR/2016 „Reaktywność alkaliczna krajowych kruszyw” realizowanego na podstawie Wspólnego Przedsięwzięcia RID „Rozwój Innowacji Drogowych, realizowanego w latach 2016-2019 przez konsorcjum: Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych - Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie oraz Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN w Warszawie, a finansowanego przez NCBR oraz GDDKiA.

BIBLIOGRAFIA / REFERENCES

- [1] *Neville A.M.*: Właściwości Betonu. Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków, 2012
- [2] *Guzik K., Szlugaj J.*: Baza zasobowa kruszyw naturalnych żwirowo-piaskowych północno-wschodniej Polski wobec planowanych inwestycji drogowych. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, *Studia i Materiały*, **134**, 41, 2012, 105-120
- [3] *Radziszewski P., Pilat J., Radziszewski R., Kowalski K.*: Kruszywa polodowcowe Polski północno-wschodniej do nawierzchni drogowych. *Drogownictwo*, **LXVI**, 7-8, 2011, 226-231
- [4] PN- EN 12620+A1:2010 Kruszywa do betonu
- [5] PN-EN 13043:2004 Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu
- [6] ASTM C1260 Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (The Mortar-Bar Method)
- [7] ASTM C1293 Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction
- [8] *Naziemiec Z., Pabiś-Mazgaj E.*: Preliminary evaluation of the alkali reactivity of crushed aggregates from glacial deposits in Northern Poland. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, **16**, 3, 2017, 203-222, DOI: 10.7409/rabdim.017.014
- [9] *Naziemiec Z., Garbacik A., Adamski G.*: Reaktywność alkaliczna krajowych kruszyw. *Kruszywa Mineralne*, t. 1, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2017, 124-132
- [10] *Kabziński A.*: Czy na ziemi zabraknie piasku?. *Surowce i Maszyny Budowlane*, 4, 2018, 11-13
- [11] *Koziół W., Baic I., Ciepłiński A.*: Kruszywa żwirowo-piaskowe. Tendencje zmian jakości zasobów. *Kruszywa Mineralne*, t. 2, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2018, 69-84
- [12] *Koziół W. i in.*: Kruszywa naturalne i alternatywne - podział, produkcja, zastosowanie. *Kruszywa*, 4, 2015, 22-28
- [13] *Bolewski A., Parachoniak W.*: Petrografia. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, 1982
- [14] *Gawenda T.*: Wpływ rozdrabniania surowców skalnych w różnych kruszarkach i stadiach kruszenia na jakość kruszyw mineralnych. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, **29**, 1, 2013, 53-65
- [15] PN-EN 933-6: 2002 Badania podstawowych właściwości kruszyw - część 6. Ocena właściwości powierzchni - Wskaźnik przepływu kruszywu
- [16] *Gawenda T., Saramak D.*: Influence of selected work parameters of the rolling screen operation on screening effects. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, **50**, 1, 2014, 337-347

diagnose aggregates with regard to the possibility of occurrence of the alkali-concrete reaction it is necessary to carry out tests on mortars and concretes containing the evaluated aggregates.

4. From among the 22 samples tested as part of the testing of domestic fine aggregates in accordance with standard ASTM C1260 in ICiMB in Cracow, in 9 cases the obtained expansion result indicated the aggregate to be non-reactive (category R 0), and in 13 cases the result indicated the aggregate to be moderately reactive (category R 1).

If the test result indicates the aggregate to be reactive, it is possible to appropriately design concrete, using, e.g. mineral admixtures preventing the occurrence of the alkali-silica reaction.

ACKNOWLEDGEMENT

The paper used the results of research obtained as part of the research project no. DZP/RID-I 37/6/NCBR/2016 conducted under the Road Innovations Development (RID) Joint Program, within “The alkali reactivity of domestic aggregates” problem. The project was run by the consortium: the Institute of Ceramics and Building Materials, the Glass and Building Materials Division in Cracow and the Institute of Fundamental Technological Research of Polish Academy of Sciences in Warsaw. The research has been funded by the National Centre of Research and Development and the General Directorate for National Roads and Motorways in the years 2016-2019.

- [17] Ogólna Specyfikacja Techniczna D-05.03.04. Nawierzchnia z betonu cementowego. GDDKiA, Załącznik nr 1 do Zarządzenia nr 23 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 7.06.2018, Warszawa 2018
- [18] PN-B-06714-47:1988 Kruszywa mineralne - Badania - Oznaczanie potencjalnej reaktywności alkalicznej - Oznaczanie zawartości krzemionki rozpuszczalnej w wodrodtlenku sodowym (NaOH)
- [19] PN-B-06714-46:1992 Kruszywa mineralne - Badania - Oznaczanie potencjalnej reaktywności alkalicznej metodą szybką
- [20] PN-B-06714-34:1991 Kruszywa mineralne - Badania - Oznaczanie reaktywności alkalicznej
- [21] *Góralczyk S., Filipczyk M.*: Aktualne badania reaktywności alkalicznej polskich kruszyw. *Kruszywa Mineralne*, t. 1, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2017, 31-41
- [22] AASHTO PP65-11 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 and Highway Transportation Officials, Washington, DC, 2011
- [23] RILEM Recommendations for the Prevention of Damage by Alkali-Aggregate Reactions in New Concrete Structures. State-of-the-Art Report of the RILEM Technical Committee 219-ACS, Vol. 17, Eds. Philip J. Nixon and Ian Sims, Springer Netherlands, 2016
- [24] *Józwiak-Niedźwiedzka D., Gibas K., Glinicki M.A.*: Petrographic identification of reactive minerals in domestic aggregates and their classification according to RILEM and ASTM recommendations. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, **16**, 3, 2017, 223-239, DOI: 10.7409/rabdim.017.015
- [25] *Góralczyk S., Filipczyk M.*: Aktualne badania reaktywności alkalicznej polskich kruszyw - część II. *Kruszywa Mineralne*, t. 2. Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2018, 37-48
- [26] ASTM C295 Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete
- [27] *Gibas K., Józwiak-Niedźwiedzka D., Glinicki M.A.*: Petrograficzna identyfikacja kruszyw podatnych na wystąpienie reakcji alkalicznej w betonie. *Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych*, **X**, 30, 2017, 68-78
- [28] *Pabiś-Mazgaj E., Naziemiec Z., Mierzejewska-Kmieć A.*: Ocena możliwości wystąpienia minerałów potencjalnie reaktywnych alkalicznie w kruszywie polodowcowym. *Kruszywa Mineralne*, t. 2. Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2018, 161-172
- [29] *Hasdemir S., Tugrul A., Yilmaz M.*: Evaluation of the alkali reactivity of natural sands. *Construction and Building Materials*, **29**, 2012, 378-385
- [30] *Lukschová Š., Přikryl R., Pertold Z.*: Evaluation of the alkali-silica reactivity potential of sands. *Magazine of Concrete Research*, **61**, 8, 2009, 645-654
- [31] *Šachlová Š., Přikryl R., Pertold Z.*: Alkali-silica reaction products: comparison between samples from concrete structures and laboratory test specimens. *Materials Characterization*, **61**, 12, 2010, 1379-1393