



ZDZISŁAW NAZIEMIEC<sup>1)</sup>  
EWELINA PABIŚ-MAZGAJ<sup>2)</sup>

## PRELIMINARY EVALUATION OF THE ALKALI REACTIVITY OF CRUSHED AGGREGATES FROM GLACIAL DEPOSITS IN NORTHERN POLAND

### WSTĘPNA OCENA REAKTYWNOŚCI ALKALICZNEJ KRUSZYW ŁAMANYCH ZE ŻŁÓŻ POŁODOWCOWYCH REJONU PÓŁNOCNEJ POLSKI

**STRESZCZENIE.** W północno-wschodnim rejonie Polski występuje duże nagromadzenie kruszyw żwirowo-piaskowych pochodzenia polodowcowego. Szczególnie dobre parametry jakościowe posiadają polodowcowe kruszywa grysowe uzyskiwane z przekruszenia otoczków. Obecnie brak jest dokładnego rozpoznania kruszyw pod względem możliwości wystąpienia reakcji alkalia-kruszywo. Pierwszym sposobem oceny reaktywności kruszyw jest przeprowadzenie szczegółowej oceny petrograficznej, która umożliwi identyfikację reaktywnych form krzemionki. W artykule przedstawiono wybrane wyniki badań grysów polodowcowych oraz podano petrograficzną charakterystykę tych kruszyw, ze szczególnym uwzględnieniem obecności tych minerałów, które mogą wejść w reakcje z wodorotlenkami sodu i potasu.

**SŁOWA KLUCZOWE:** kruszywa polodowcowe, reaktywna krzemionka, reaktywność alkaliczna kruszyw.

**ABSTRACT.** There is a large accumulation of gravel-sand aggregates of glacial origin in the north-eastern part of Poland. Crushed aggregates produced by crushing pebbles have particularly good quality parameters. So far the aggregates have not been precisely identified in terms of the alkali-aggregate reaction. The first step in evaluating the reactivity of aggregates is to carry out a detailed petrographic evaluation on the basis of which the reactive forms of silica can be identified. This paper presents selected results of tests carried out on the glacial crushed aggregates and a petrographic characterization of the latter, with special attention paid to the presence of the minerals which can react with sodium and potassium hydroxides.

**KEYWORDS:** alkali-aggregate reactivity, glacial aggregates, reactive silica.

DOI: 10.7409/rabdim.017.014

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

<sup>2)</sup> Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych. Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie, ul. Cementowa 8, 31-983 Kraków; e.pabis@icimb.pl (✉)

## 1. WPROWADZENIE

Zjawisko reaktywności alkalicznej kruszyw jest poważnym problemem, na który w Polsce w ostatnich latach zwraca się coraz więcej uwagi. Mówiąc o reaktywności alkalicznej kruszywa (AAR, ang. *alkali aggregate reactivity*) należy pamiętać, że chodzi tu o reakcje typu alkalia-krzemionka (ASR, ang. *alkali-silica reaction*) oraz reakcje typu alkalia-węglany (ACR, ang. *alkali-carbonate reaction*). W Polsce do problematyki badania reaktywności kruszyw odnosiły się normy: PN-B-06714-47:1988 [1], PN-B-06714-46:1992 [2] oraz PN-B-06714-34:1991 [3]. W badaniach prowadzonych w Instytucie Ceramiki i Materiałów Budowlanych (ICiMB) w Krakowie według procedur opisanych w w/w normach niezwykle rzadko można było stwierdzić, że badane kruszywo jest reaktywne. Krajowe normy dotyczące badań reaktywności alkalicznej kruszyw zostały opracowane w latach siedemdziesiątych XX wieku. Ze względu na ich niewielką skuteczność w diagnozowaniu reaktywności alkalicznej stosowanie tych norm wydaje się nieuzasadnione [4].

W Europie stosuje się metody badania reaktywności oparte na wytycznych podanych w dokumentach RILEM [5]. W USA metodyka oceny kruszywa podana jest w dokumentach AASHTO [6], a badania reaktywności prowadzone są głównie w oparciu o normy ASTM C1260 [7] i ASTM C1293 [8]. Normy ASTM znajdują również zastosowanie w niektórych krajach europejskich (np. Czechy). Procedury badań opisane w dokumentach RILEM i AASHTO są bardzo do siebie zbliżone. Podają one schemat badania reaktywności alkalicznej kruszywa obejmujący dotychczasowe informacje historyczne, badania petrograficzne, chemiczne, wyniki badań przyspieszonej ekspansji beleczek zaprawy wykonanych z udziałem badanego kruszywa i długotrwałe badania betonów. Ponadto w ocenie kruszyw zwraca się dużą uwagę na udokumentowane praktyczne doświadczenia ze stosowania danego kruszywa. W Polsce nie prowadzono dotychczas na większą skalę badań reaktywności kruszyw grysowych wg norm ASTM, czy wytycznych RILEM. Spotkać można jedynie wyniki nielicznych badań żwirów według normy ASTM C1260.

Celem prezentowanej pracy jest ocena reaktywności alkalicznej krajowych kruszyw, głównie polodowcowych, według metod badań stosowanych w USA i Europie. W badaniach prowadzonych w Instytucie Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Oddział w Krakowie oraz w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie, w ramach programu Rozwój Innowacji Drogowych [9], przyjęto metody badań reaktywności wskazane w dokumentach AASHTO oraz RILEM. Praca ma na celu

## 1. INTRODUCTION

Alkali-aggregate reactivity (AAR) is a serious problem which has been receiving increasing attention in Poland in recent years. One should note that the term alkali-aggregate reactivity covers alkali-silica reactions (ASR) and alkali-carbonate reactions (ACR). In Poland aggregate reactivity testing has been governed by the standards: PN-B-06714-47:1988 [1], PN-B-06714-46:1992 [2] and PN-B-06714-34:1991 [3]. Tests conducted in the Institute of Ceramics and Building Materials in Cracow in accordance with the procedures described in the above-mentioned standards extremely rarely showed the tested aggregate to be reactive. The domestic standards concerning alkali-aggregate reactivity tests were developed in the 1970s. Considering their poor effectiveness in diagnosing alkali-aggregate reactivity, the use of these standards seems to be no longer justified [4].

The reactivity testing methods used in Europe are based on the guidelines provided in RILEM documents [5]. In the USA the aggregate evaluation methodology is described in AASHTO documents [6], while reactivity tests are conducted mainly in accordance with the ASTM C1260 [7] and ASTM C1293 [8] standards. The ASTM standards are also used in some of the European countries (e.g. in the Czech Republic). The procedures described in respectively the RILEM and AASHTO documents are very similar to each other. They specify the alkali-aggregate reactivity test setup, including the historical information to date, petrographic examinations, chemical tests, the results of accelerated expansion tests carried out on mortar bars containing the tested aggregate, and long-term tests of concretes. Moreover, the documented practical experience concerning the use of a particular aggregate is an important aspect taken into account in its evaluation. In Poland no tests of crushed aggregates have been conducted in accordance with the ASTM standards or the RILEM guidelines, so far. One can only come across the results of few tests of aggregates carried out in accordance with ASTM C1260 standard.

The aim of this research was to evaluate the alkali-aggregate reactivity of domestic aggregates, mainly the glacial ones, in accordance with the test methods used in the USA and Europe. The reactivity testing methods indicated in the AASHTO and RILEM documents were adopted in the tests conducted as part of the Road Innovations Development (RID) Programme [9] in the Institute of Ceramics and Building Materials, Cracow Division and in the Institute of Fundamental Technological Research,

ukazanie zmienności kruszyw polodowcowych. W związku z powyższym ograniczono się do przedstawienia wyników pojedynczych zakładów eksploatacyjnych kruszyw polodowcowych rejonu północnej Polski. Wybrane zakłady eksploatacyjne trafnie ukazują ich zmienność w zakresie składu petrograficznego.

## 2. METODYKA I MATERIAŁY DO BADAŃ

Do badań reaktywności przeprowadzonych w ramach programu RID pobrano próbki kruszyw z ponad 30 zakładów, usytuowanych w różnych rejonach Polski. Pobierano kruszywa grube, głównie o zawartości ziaren przekruszonych kategorii  $C_{100/0}$  lub  $C_{95/1}$ , ale także żwiry i piaski. Z północny Polski pobrano próbki kruszyw polodowcowych (grynowych), pochodzących z 11 zakładów o wielkości wydobycia rzędu 1 milion ton/rok lub więcej (Rys. 1). Z południowo-wschodniego regionu Polski pobrano próbki kruszyw żwirowych i łamanych (uzyskanych z otoczków) z 6 zakładów eksploatujących złoża pochodzenia rzeczno-ego. Na południowym zachodzie i w centrum naszego kraju nie produkuje się kruszyw grynowych uzyskiwanych z otoczków występujących w złożach żwirów.

Na południowym zachodzie i w regionie świętokrzyskim kruszywa łamane produkowane są ze skał litych. W prezentowanym artykule podano wyniki badań kruszyw pochodzących z północy Polski. Z każdego z wytypowanych do badań zakładów eksploatacyjnych pobrano od jednej do trzech próbek kruszywa, reprezentowanych przez różne frakcje grynowe tj. 5-8, 8-16, 8-11,2, 11,2-16 mm. Badany materiał to grys pochodzący z przekruszenia otoczków polodowcowych. Różna granulacja badanych grynow wynika z odmiennego profilu produkcji w danym zakładzie eksploatacyjnym. Próbki pobrano zgodnie z procedurą opisaną w normie PN EN 932-1 [10]. Dodatkowo, pobrano pojedyncze otoczki jako materiał referencyjny, reprezentujący surowiec wyjściowy, z którego poprzez proces kruszenia uzyskiwany jest grys.

Z pobranych próbek kruszyw wykonano oznaczenia podstawowych cech jakościowych, w zakresie podanym w normach PN-EN 13043 [11] i PN-EN 12620 [12] oraz przeprowadzono badania petrograficzne. Wykonano oznaczenia zawartości pyłów (PN-EN 933-1 [13]), gęstości i nasiąkliwości (PN-EN 1097-6 [14]), odporności na zamrażanie (PN-EN 1367-1 [15] i PN-EN 1367-6 [16]), odporności na rozdrabnianie (PN-EN 1097-2 [17]), odporności na ścieranie (PN-EN 1097-1 [18]) i zawartości ziaren o powierzchni przekruszonej (PN-EN 933-5 [19]). W związku z obszernością prezentowanego zagadnienia, w artykule ograniczono się do omówienia charakteru petrograficznego materiału

Polish Academy of Sciences in Warsaw. Since the aim of this paper is to show the variation of the glacial aggregates, only the results for selected glacial aggregate mines located in northern Poland are reported here. The selected aggregate mines are highly representative of the variation in the petrographic composition of the aggregates.

## 2. TEST METHODS AND MATERIALS

As part of the RID Programme aggregate samples were collected from over 30 aggregate mines located in different regions of Poland. Coarse aggregates, mainly falling into crushed particle content category  $C_{100/0}$  or  $C_{95/1}$ , but also gravels and sands were sampled. From the north of Poland samples of glacial (grit) aggregates, coming from 11 mines with an output of 1 million tons or more per annum (Fig. 1), were collected. From the south-eastern region of Poland samples of gravel and crushed-stone (pebbles) aggregates from 6 mines extracting deposits of fluvial origin were collected. In the south-western and central part of Poland no grit aggregates are produced from pebbles occurring in gravel deposits.

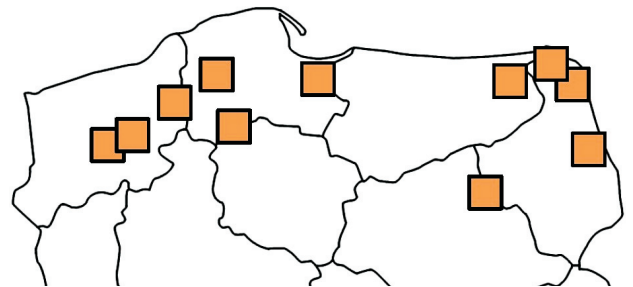


Fig. 1. Locations of reactivity test aggregate sampling points in northern Poland

Rys. 1. Lokalizacja miejsc poboru próbek kruszyw z północy Polski do badań reaktywności

In the southwest and in the Świętokrzyski region crushed aggregates are produced from solid rocks. This paper presents the results of tests carried out on aggregates coming from the north of Poland. One to three aggregate samples, representing different particle size fractions, i.e. 5-8, 8-16, 8-11.2 and 11.2-16 mm, were collected from each of the selected aggregate mines. The tested material was grit produced by crushing glacial pebbles. The different grit particle sizes stem from the differences in the production profile between the aggregate mines. The samples were collected in accordance with the procedure described in standard PN EN 932-1 [10]. In addition, single pebbles were collected as the reference representing the input raw material from which grit is obtained by crushing.

skalnego pobranego z kilku krajowych złóż. Mowa tu o grytach pochodzących z przekruszenia polodowcowych otoczków rejonu północnej Polski. Dodatkowo, w pracy przedstawiono zaobserwowane procesy wtórnego przeobrażenia minerałów występujących w analizowanym materiale skalnym, które mogą mieć wpływ na obniżenie jakości badanych kruszyw.

W związku z brakiem odpowiedniej polskiej normy w zakresie badania petrograficznego pod kątem oceny potencjalnej reaktywności kruszyw, w celu realizacji niniejszej pracy posłużono się dwoma wspomnianymi wcześniej dokumentami funkcjonującymi w tym zakresie: wytycznymi europejskimi RILEM AAR - 1.1 [20] oraz normą ASTM C295 [21]. W myśl metodyki RILEM oraz normy ASTM C295 analiza petrograficzna obejmuje badanie makroskopowe, w zakresie jakościowym i ilościowym oraz badanie mikroskopowe (mikroskopia optyczna w świetle spolaryzowanym przechodzącym). Dodatkowo, często przy identyfikacji poszczególnych składników mineralnych pomocne są inne metody badawcze z zakresu metod analitycznych, takich jak np.: analiza XRD, analiza TG/DSC, analiza XRF oraz elektronowa mikroskopia skaningowa SEM. Makroskopowa analiza jakościowa daje możliwości zidentyfikowania podstawowych typów petrograficznych skał na podstawie uniwersalnych cech makroskopowych tworzących ich minerałów oraz właściwości teksturalno-strukturalnych, typowych dla danej grupy petrograficznej skał.

Ilościowa makroskopowa analiza petrograficzna (tzw. metoda zliczania ziaren) opiera się na rozdzieleniu danej frakcji kruszywa na poszczególne grupy petrograficzne wcześniej zidentyfikowane na podstawie analizy jakościowej. Każde pojedyncze ziarno klasyfikowane jest do konkretnej grupy petrograficznej, a następnie wagowo określany jest udział danej grupy utworów w odniesieniu do całkowitej masy frakcji kruszywa poddanej ilościowej analizie petrograficznej. Na tej podstawie ustalany jest skład petrograficzny kruszywa ze szczególnym uwzględnieniem skał określanych jako skały zawierające minerały potencjalnie reaktywne. W wielu krajach (Dania, Norwegia, Belgia, Holandia i Szwecja) funkcjonuje druga metoda ilościowej oceny reaktywnych składników tzw. metoda punktowego zliczania, prowadzona pod mikroskopem optycznym na cienkich szlifach, która jest również opisana w metodologii zawartej w RILEM. W tym miejscu należy zaznaczyć, iż w niniejszej pracy ilościowa analiza petrograficzna była przeprowadzona makroskopową metodą zliczania ziaren. Analiza ta pozwoliła na ustalenie składu petrograficznego badanych grysów oraz na ilościowe oznaczenie zawartości skał, w których mogą występować minerały potencjalnie reaktywne alkaiczne.

Using the samples the basic quality characteristics of the aggregates were determined as specified in standards PN-EN 13043 [11] and PN-EN 12620 [12] and petrographic examinations were carried out. The fines content (PN-EN 933-1 [13]), the density and the water absorption (PN-EN 1097-6 [14]), the resistance to freezing and thawing (PN-EN 1367-1 [15] and PN-EN 1367-6 [16]), the resistance to crushing (PN-EN 1097-2 [17]), the abrasion resistance (PN-EN 1097-1 [18]) and the percentage of crushed and broken surfaces (PN-EN 933-5 [19]) were determined. Because of the wide extent of the problem, the considerations here are limited to the petrographic character of the rock material collected from a few domestic deposits, i.e. grits produced by crushing glacial pebbles coming from northern Poland. Moreover, the observed processes of the secondary metamorphosis of the minerals occurring in the analysed rock material, which can adversely affect the quality of the tested aggregates, are presented.

Because of the lack of a proper Polish standard for the petrographic examination aimed at evaluating the potential reactivity of aggregates, the two relevant documents mentioned above: European guidelines RILEM AAR - 1.1 [20], and standard ASTM C295 [21] were used for the purpose of this research. According to RILEM and ASTM C295, the petrographic analysis comprises qualitative and quantitative macroscopic examinations and microscopic examinations (polarized light microscopy). In addition, other analytical research methods, such as XRD analysis, TG/DSC analysis, XRF analysis and scanning electron microscopy (SEM) are often helpful in identifying the particular mineral components. A qualitative macroscopic analysis enables one to identify the basic petrographic types of rocks on the basis of the universal macroscopic characteristics of their constituent minerals and the textural-structural properties typical of a given petrographic group of rocks.

A quantitative macroscopic petrographic analysis (the so-called particle counting method) is based on the division of a given aggregate particle size fraction into the individual petrographic groups previously identified by means of a qualitative analysis. Each individual particle is classified into a specific petrographic group and then the percent weight of the given group of formations in the total weight of the aggregate particle size fraction subjected to the quantitative petrographic analysis is determined. On this basis the petrographic composition of the aggregate, taking into special account the rocks considered to contain potentially reactive minerals, is determined. In many countries (Denmark, Norway, Belgium, the Netherlands

### 3. WYNIKI BADAŃ PODSTAWOWYCH WŁAŚCIWOŚCI NORMOWYCH KRUSZYW

Dla wszystkich kruszyw grysowych o zawartości ziaren przekruszonych kategorii  $C_{100/0}$  lub  $C_{95/1}$ , uzyskano kategorię mrozoodporności w wodzie *F1*. W przypadku badania mrozoodporności w soli uzyskano wyniki w zakresie od 1,4% do 4,1% ubytku masy po 10 cyklach zamrażania/odmrażania. Zawartość pyłów w badanych kruszywach wahała się w granicach od 0,1% do 1,0%. Odporność na ścieranie mieściła się w przedziale  $M_{DE} 10 - M_{DE} 20$ . Na szczególną uwagę zasługują wyniki badań odporności na rozdrabnianie (zbiorcze wyniki przedstawiono w Tabl. 1). Kruszywa łamane, uzyskane z przekruszenia otoczków charakteryzowały się stosunkowo dobrymi kategoriami odporności na rozdrabnianie. Dominowały kategorie  $LA_{25}$  i  $LA_{30}$ . Wszystkie podane wyniki wskazują, że grysy produkowane z otoczków polodowcowych (głównie granitowych) zbliżone są jakością do kruszyw łamanych, uzyskiwanych ze skał zwięzłych (litych).

Table 1. Crushing resistance *LA* of aggregates collected for reactivity tests

Tablica 1. Odporność na rozdrabnianie *LA* kruszyw pobranych do badań reaktywności

Coarse aggregates produced by crushing pebbles Kruszywa grube z kruszenia otoczków		Coarse aggregates produced by crushing solid rocks Kruszywa grube ze skał litych		Gravels Żwir	
Crushing resistance category Kategoria odporności na rozdrabnianie	Number of samples Liczba próbek	Crushing resistance category Kategoria odporności na rozdrabnianie	Number of samples Liczba próbek	Crushing resistance category Kategoria odporności na rozdrabnianie	Number of samples Liczba próbek
$LA_{15}$	–	$LA_{15}$	8	$LA_{15}$	–
$LA_{20}$	4	$LA_{20}$	2	$LA_{20}$	–
$LA_{25}$	13	$LA_{25}$	3	$LA_{25}$	1
$LA_{30}$	11	$LA_{30}$	–	$LA_{30}$	2
$LA_{35}$	1	$LA_{35}$	–	$LA_{35}$	1
$LA_{40}$	1	$LA_{40}$	4	$LA_{40}$	1

W przypadku kruszyw żwirowych i grysów uzyskiwanych z kruszenia otoczków produkowanych przez ten sam zakład eksploatujący kruszywa żwirowo-piaskowe z danego złoża, widoczne są różnice w parametrach jakościowych kruszyw (Tabl. 2). Kruszywa łamane (grysowe) posiadały lepsze parametry wytrzymałościowe od kruszyw żwirowych,

and Sweden) another method of quantitatively evaluating reactive components (the so-called point counting method), consisting in examining thin microsections under an optical microscope, also described as part of the methodology contained in RILEM, is generally used. It should be noted here that the quantitative petrographic analysis in this study was carried out using the macroscopic method of particle counting. Owing to this analysis the petrographic composition of the tested grits and their content of rocks in which potentially alkali-reactive minerals can occur were determined.

### 3. RESULTS OF TESTS OF STANDARD BASIC PROPERTIES OF AGGREGATES

All the grit aggregates in crushed particle content category  $C_{100/0}$  or  $C_{95/1}$  showed category *F1* free-thaw durability in the presence of water. As regards their freeze-thaw salt resistance, the weight loss after 10 freeze-thaw cycles amounted to 1.4-4.1%. The fines content in the tested aggregates ranged from 0.1 to 1.0%. The abrasion resistance was in the range:  $M_{DE} 10 - M_{DE} 20$ . The crushing resistance results (summarized in Table 1) deserve special attention. The aggregates produced by crushing pebbles fell into relatively good crushing resistance categories. The categories:  $LA_{25}$  and  $LA_{30}$  predominated. All the presented results indicate that the quality of the grits produced from glacial (mainly granite) pebbles is close to that of crushed aggregates obtained from cohesive (solid) rocks.

In the case the gravel aggregates and the grits produced by crushing pebbles by the same mine extracting gravel-sand aggregates from the particular deposit, differences in the quality parameters of the aggregates are apparent (Table 2). The crushed (grit) aggregates were characterized by better strength parameters than the gravel aggregates

nie poddawanych procesowi kruszenia. Dla grysów stwierdzono wyższą klasę mrozoodporności, większą odporność na rozdrabnianie i mniejszą ścieralność. Wynika to stąd, że kruszywa łamane (grysy) uzyskiwane są głównie z otoczków charakteryzujących się wyższą wytrzymałością mechaniczną.

not subjected to crushing. The grits were found to have a higher freeze-thaw resistance, a higher resistance to crushing and a lower abrasion resistance. This is owing to the fact that the crushed aggregates (grits) are obtained mainly from pebbles characterized by a higher mechanical strength.

Table 2. Characteristics of gravel aggregates and crushed aggregates produced from pebbles  
Tablica 2. Charakterystyka kruszyw żwirowych i kruszyw łamanych z otoczków

Aggregate characteristic / Cecha kruszywa	Test according to standard Badanie według normy	Type of aggregate / Rodzaj kruszywa			
		Gravel aggregate Kruszywo żwirowe		Grit produced from pebbles Grys z otoczków	
		2/8	8/16	5.6/8	8/11.2
Density / Gęstość $\rho_a$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	PN-EN 1097-6	2.71	2.68	2.67	2.67
Water absorption / Nasiąkliwość [%]	PN-EN 1097-6	1.6	1.2	0.6	0.5
Resistance to crushing / Odporność na rozdrabnianie $LA$ [%]	PN-EN 1097-2	30	25	28	19
Abrasion / Ścieralność $M_{DE}$ [%]	PN-EN 1097-1	12	12	11	8
Freeze-thaw durability (weight loss) Mrozoodporność (ubytek masy) [%]	PN-EN 1367-1	0.5	0.4	0.1	0.1
Freeze-thaw salt resistance / Mrozoodporność w soli [%]	PN-EN 1367-6	5.1	–	4.1	–
Flakiness index / Wskaźnik płaskości [%]	PN-EN 933-3	7	7	5	5

Złóża kruszyw żwirowo-piaskowych charakteryzują się zróżnicowanym wskaźnikiem piaskowym. Obecnie najczęściej eksploatowane są złoża o niższym wskaźniku piaskowym. Ze wskaźnikiem piaskowym łączy się zawartość otoczków w eksploatowanym złożu. Wiele zakładów produkujących kruszywa ze złóż żwirowo-piaskowych nie produkuje kruszyw grysowych, ze względu na brak odpowiedniego surowca. Wśród zakładów produkujących grysy z otoczków polodowcowych również występuje duże zróżnicowanie. Najczęściej wielkość produkcji grysów nie przekracza wartości 5-7% ogólnej produkcji kruszyw grubych. Warto więc zwrócić szczególną uwagę na właściwe wykorzystanie kruszyw grysowych produkowanych w północnych regionach Polski. Podejście takie umożliwia bowiem ograniczenie kosztownego transportu grysów uzyskiwanych ze skał magmowych, a produkowanych na południu Polski.

#### 4. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ W ODNIESIENIU DO WYMAGAŃ DLA KRUSZYW STOSOWANYCH W DROGOWNICTWIE

Normy PN-EN 13043 [11] i PN-EN 12620 [12] nie podają wymagań jakościowych dla kruszyw, a jedynie wskazują na

The gravel-sand aggregate deposits are characterized by a varying sand equivalent value. Currently, deposits with a lower sand equivalent value are most often mined. The sand equivalent value is connected with the content of pebbles in a deposit being mined. Many mines extracting aggregates from gravel-sand deposits do not produce grit aggregates due to the lack of a suitable raw material. There are also considerable differences between the mines producing grits from glacial pebbles. The volume of grit production usually does not exceed 5-7% of the total coarse aggregate output. Therefore the proper exploitation of the grit aggregates produced in the northern regions of Poland merits special attention, considering that the expensive transport of the grits produced from igneous rocks in the south of Poland could be reduced in this way.

#### 4. DISCUSSION OF TEST RESULTS WITH REFERENCE TO REQUIREMENTS FOR AGGREGATES USED IN ROAD BUILDING AND MAINTENANCE

Standards PN-EN 13043 [11] and PN-EN 12620 [12] do not specify any quality requirements for aggregates,

zakres badań i podają kategorie przypisane danej właściwości kruszywa. Informacje dotyczące wymagań jakościowych stawianych kruszywom można znaleźć w ogólnych wymaganiach technicznych i specyfikacjach technicznych opracowywanych dla konkretnych celów. W przypadku kruszyw przeznaczonych do betonu konstrukcyjnego i betonu nawierzchniowego cementowego stawiane są najczęściej wymagania dotyczące składu ziarnowego, zawartości pyłów, kształtu kruszywa, zawartości ziaren o powierzchni przekruszonej, odporności na rozdrabnianie, odporności na polerowanie, mrozoodporności w soli, zawartości siarczanów, siarki, chlorków, zawartości zanieczyszczeń i reaktywności alkalicznej. Wymagane jest również podanie deklarowanej gęstości, nasiąkliwości i opisu petrograficznego. Wymagania dotyczące poszczególnych właściwości różnią się między sobą głównie w zależności od warstwy, w której ma być zastosowane kruszywo. Najwyższe wymagania dotyczące poszczególnych właściwości to:

- odporność na rozdrabnianie:  $LA_{20}$  -  $LA_{25}$ ,
- kształt kruszywa:  $FI_{15}$  -  $FI_{20}$ ,
- zawartość pyłów:  $f_1$ ,
- zawartość ziaren o powierzchni przekruszonej:  $C_{100/0}$  -  $C_{95/1}$ ,
- mrozoodporność w soli: ubytek masy < 6%.

Z podanych wyników podstawowych właściwości wynika, że kruszywa grysowe uzyskane z przekruszenia otoczków polodowcowych spełniają ww. wymagania.

## 5. BADANIA PETROGRAFICZNE

### 5.1. BADANIA PETROGRAFICZNE W ASPEKcie REAKTYWNOŚCI ALKALICZNEJ KRUSZYW

W ocenie reaktywności alkaliczno-krzemionkowej kruszyw w pierwszej kolejności wykonuje się badania petrograficzne. Podejście takie zalecane jest zarówno przez RILEM [5] jak i AASHTO [6]. Należy zwrócić uwagę, iż polska norma dotycząca opisu petrograficznego PN-EN 932-3/1999/A1:2004 [22], swoim zakresem nie obejmuje oceny kruszywa pod kątem jego potencjalnej reaktywności, jak ma to miejsce w przypadku metod badań petrograficznych opisanych w wytycznych europejskich RILEM AAR-1.1 [20] oraz w normie ASTM C295 [21]. Norma PN-EN 932-3/1999/A1:2003 ma bardzo ogólny i uproszczony opis. Problem braku adekwatnej normy w zakresie opisu petrograficznego kruszywa przybiera na znaczeniu ponieważ, zgodnie z danymi literaturowymi, właściwy opis petrograficzny stanowi pierwszy etap oceny kruszywa pod kątem

merely indicating the range of tests and defining the categories assigned to a particular property of aggregate. Information about the quality requirements which aggregates must meet can be found in the general requirements and specifications drawn up for specific purposes. In the case of aggregates suitable for structural concrete and pavement-quality cement concrete, requirements concerning their particle size distribution, fines content, shape, percentage of crushed and broken surfaces, resistance to crushing, polishing resistance, freeze-thaw salt resistance, sulphates content, sulphur content, chlorides content, impurities content and alkali reactivity are usually set down. It is also required to specify the declared density and water absorption and to provide a petrographic description. The requirements concerning the particular properties differ depending mainly on the course in which the aggregate is to be used. The highest requirements for the particular properties are:

- resistance to crushing:  $LA_{20}$  -  $LA_{25}$ ,
- aggregate shape:  $FI_{15}$  -  $FI_{20}$ ,
- fines content:  $f_1$ ,
- percentage of crushed and broken surfaces:  $C_{100/0}$  -  $C_{95/1}$ ,
- freeze-thaw salt resistance: weight loss < 6%.

The test results for the basic properties show that the grit aggregates obtained by crushing glacial pebbles satisfy the above requirements.

## 5. PETROGRAPHIC EXAMINATIONS

### 5.1. PETROGRAPHIC EXAMINATIONS FROM ALKALI-AGGREGATE REACTIVITY POINT OF VIEW

In order to evaluate the alkali-silica reactivity of aggregates one should first perform petrographic examinations. This approach is recommended by both RILEM [5] and AASHTO [6]. It should be noted that, unlike the petrographic examinations described in European guidelines RILEM AAR-1.1 [20] and in standard ASTM C295 [21], the Polish standard concerning the petrographic description: PN-EN 932-3/1999/A1:2004 [22] does not cover the evaluation of aggregate from the point of view its potential reactivity. Standard PN-EN 932-3/1999/A1:2003 includes a very general and simplified description. The problem of the lack of an adequate standard becomes increasingly acute since, according to the literature on the subject, a proper petrographic description constitutes the first step in the evaluation of an aggregate from the point of

jego reaktywności alkalicznej. Badania petrograficzne pozwalają na dobranie odpowiedniej metodyki w zakresie dalszej oceny reaktywności alkalicznej kruszywa [4-6]. Ponadto, to właśnie skład mineralny determinuje większość właściwości jakościowych kruszywa, dlatego tak istotne jest dokładne poznanie jego charakteru petrograficznego.

Zarówno dokument europejski RILEM AAR-1.1 jak i norma ASTM C295 jednoznacznie wymieniają składniki mineralne potencjalnie reaktywne alkalicznie oraz skały, w których mogą one występować. Do składników mineralnych potencjalnie reaktywnych wg ASTM C295 należą: opal, chalcedon, krystobalit i trydymit, kwarc w stanie naprężeń, mikrokrystaliczny kwarc, szkło wulkaniczne, syntetyczne szkło krzemionkowe. Wymienione formy mineralne mogą występować w takich skałach jak: skały wulkaniczne od przejściowych do kwaśnych o strukturze szklistej lub kryptokrystalicznej, niektóre skały ilaste, fyllity, szarogłazy, gnejsy, łupki metamorficzne, granity o teksturze gnejsowej, kwarc żyłowy, kwarcyty (pochodzenia metamorficznego), piaskowce, rogowce [21, 23, 24]. W tym miejscu warto wyjaśnić, iż jako kwarc mikrokrystaliczny rozumie się kwarc, którego kryształy mają wielkość  $< 0,100$  mm. Stwierdzenie to wynika z faktu, iż w roku 1992 Grattan-Bellew w swoich badaniach udowodnił, że rozpuszczalność kwarcu wysoce rośnie w przypadku kryształów kwarcu wielkości  $< 100$  mikrometrów. W związku z powyższym, limit 100 mikrometrów przyjęto jako próg mikrokrystaliczności [25].

Dodatkowo, metodyka opisana w wytycznych RILEM wprowadza klasyfikację kruszywa ze względu na możliwość wystąpienia reakcji z alkali: klasa I – kruszywo niereaktywne, klasa II – kruszywo potencjalnie reaktywne, klasa III – kruszywo reaktywne. Ponadto, w przypadku stwierdzenia II i III klasy reaktywności kruszywa określa się jaki rodzaj reakcji alkalicznej jest możliwy w danym kruszywie: S – reakcja krzemionkowo-alkaliczna, C – reakcja węglanowo-alkaliczna oraz SC – reakcja krzemionkowo-alkaliczna i węglanowo-alkaliczna [20]. Wytyczne RILEM oraz norma ASTM C295 wymieniają wszystkie potencjalnie reaktywne składniki mineralne i nie należy traktować ich w sposób obligatoryjny. Skały, które w pewnych obszarach świata zachowują się niereaktywnie, klasyfikowane są jako reaktywne w innych rejonach. Istnieje również sytuacja odwrotna, gdy skały które nie zostały jeszcze zdefiniowane jako reaktywne mogą powodować szkodliwą ekspansję w pewnych obszarach świata. O tym czy dany składnik mineralny będzie powodował szkodliwą ekspansję decyduje wiele czynników m.in.: pochodzenie, cechy strukturalno-teksturalne, stopień deformacji. W tym kontekście nie można stwierdzić, że dany typ skały zawsze będzie klasyfiko-

view of its potential alkali reactivity. On the basis of petrographic examinations one can select a suitable methodology for the further evaluation of the alkali reactivity of the aggregate [4-6]. Moreover, since it is the mineral composition which determines most of the quality properties of an aggregate it is absolutely essential to accurately identify its petrographic character.

Both European document RILEM AAR-1.1 and standard ASTM C295 explicitly name the potentially alkali-reactive minerals and the rocks in which they can occur. According to ASTM C295, the group of potentially reactive mineral components includes: opal, chalcedony, cristobalite and tridymite, quartz in a state of stress, microcrystalline quartz, volcanic glass and synthetic silicate glass. The above mineral forms can occur in such rocks as: volcanic rocks (from intermediate to acidic, with a vitrophyrric or cryptocrystalline structure), some argillaceous rocks, phyllites, greywackes, gneisses, metamorphic schists, granites with a gneiss texture, veined quartz, quartzites (of metamorphic origin), sandstones and cherts [21, 23, 24]. It should be noted here that microcrystalline quartz is understood to be quartz with a crystal size  $< 0.100$  mm. This statement stems from the fact that in 1992 Grattan-Bellew experimentally proved that the solubility of quartz greatly increases in the case of quartz crystals of size  $< 100$  micrometres. Hence the limit of 100 micrometres was adopted as the microcrystallinity threshold [25].

In addition, the methodology described in the RILEM guidelines introduces the following classification of aggregates with regard to the potential occurrence of their reaction with alkali: class I – non-reactive, class II – potentially reactive, class III – reactive. Moreover, in the case of aggregate reactivity class II and III, it is determined what kind of alkali reaction may occur in the particular aggregate: S – an alkali-silica reaction, C – an alkali-carbonate reaction, SC – an alkali-silica and alkali-carbonate reaction [20]. The RILEM guidelines and standard ASTM C295 list all the potentially reactive mineral components, but the list should not be regarded as obligatory. The rocks which in some areas of the world behave non-reactively are classified as reactive in other regions. And vice versa, rocks which have not been classified as reactive can cause deleterious expansion in some areas of the world. Many factors, e.g. the origin, the structural-textural characteristics and the degree of deformation, determine whether a particular component will cause deleterious expansion. Therefore one cannot state that a particular type of rock will always be classified as



wany jako niereaktywny lub reaktywny w betonie, dlatego problem należy rozważać lokalnie [25]. Przykładem mogą być skały granitowe, które w większości krajów klasyfikowane są jako kruszywo I klasy reaktywności. Niemniej, w Portugalii i Hiszpanii skały granitowe przypisywane są do II klasy reaktywności alkalicznej w związku z licznymi przypadkami uszkodzeń konstrukcji betonowych w tych krajach na skutek reakcji ASR [26].

Badania petrograficzne wraz z wynikami badań laboratoryjnych na zaprawach i betonach pozwalają na przyporządkowanie kruszywa do jednej z trzech klas reaktywności, zgodnie z wytycznymi RILEM. Należy mieć na uwadze fakt, że wytyczne RILEM AAR - 1.1. nie podają konkretnych kryteriów odnośnie klasyfikacji kruszywa jako reaktywne, niereaktywne i potencjalnie reaktywne ze względu na ilościowy udział reaktywnych form krzemionki. W celu zaklasyfikowania kruszywa do jednej z trzech klas reaktywności: I, II lub III, zalecane jest stosowanie lokalnych wytycznych, które niestety w przypadku Polski nadal nie zostały jasno określone. Wiele krajów europejskich posiada takie wytyczne ustalone na podstawie wieloletnich badań i obserwacji laboratoryjnych oraz monitoringu konstrukcji betonowych w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych. Mowa tu m.in. o takich krajach jak: Norwegia, Dania, Wielka Brytania, Portugalia, Hiszpania czy Niemcy. Istotą zagadnienia jest fakt, iż limity referencyjne w zakresie obecności reaktywnych form krzemionki oraz kryteria zatwierdzające dany składnik mineralny jako szkodliwy alkalicznie, zmieniają się w zależności od kraju. Przykładem może być zmienny limit w zakresie zawartości skał w których składzie mineralogicznym występuje mikrokrystaliczny kwarc (składnik potencjalnie reaktywny). W przypadku USA ilość ziaren zawierających kwarc mikrokrystaliczny nie może przekroczyć 15%, w Norwegii 20%, a wg portugalskich standardów 2%. Zmienne zakresy dotyczą również skał zawierających kryptokrystaliczny kwarc, niemniej zakres ten zmienia się w mniejszym przedziale bo od 1-5%, w zależności od kraju. Zgodnie z powyższym limity te wynoszą: 2% obj., 5%, 3%, 5%, 1-2% obj. oraz 2% odpowiednio dla: Holandii, USA, Wielkiej Brytanii, Irlandii, Danii oraz Niemiec [27].

Dodatkowo, Norwegia wprowadza klasyfikację skały reaktywności kwarcu w zależności od wymiaru kryształów tj. kryształy kwarcu wielkości > 130 mikrometrów – kwarc nieszkodliwy reaktywnie, kryształy kwarcu wielkości 60-130 mikrometrów – kwarc niepewny reaktywnie, kryształy kwarcu wielkości 10-60 mikrometrów – kwarc reaktywny, kryształy kwarcu wielkości < 10 mikrometrów – kwarc wysoce reaktywny [25, 27]. W Portugalii z kolei do kruszywa II klasy reaktywności zaliczane są kruszywa zawierające

non-reactive or reactive in concrete. Thus the problem should be considered locally [25]. An example here can be granite rocks, which in most countries are classified as reactivity class I aggregate, but in Portugal and Spain granite rocks are assigned to alkali reactivity class II because of the numerous cases of damage to concrete structures in these countries due to alkali-silica reactions [26].

Petrographic examinations together with the results of tests carried out on mortars and concretes enable one to assign an aggregate to one of the three reactivity classes in accordance with the RILEM guidelines. One should bear in mind that the RILEM AAR - 1.1. guidelines do not provide any specific criteria for classifying an aggregate as reactive, non-reactive or potentially reactive depending on the quantitative percentage of the reactive forms of silica. In order to classify an aggregate to one of the three reactivity classes: I, II or III it is recommended to use local guidelines, which in Poland unfortunately have not been clearly set out. Many European countries, e.g. Norway, Denmark, Great Britain, Portugal, Spain and Germany, have such guidelines, developed on the basis of laboratory studies and observations and the monitoring of concrete structures in real service conditions conducted over many years. The problem is that the reference limits for the presence of the reactive forms of silica and the criteria for classifying a particular mineral component as detrimental in terms of alkali reactivity differ between countries. An example here is the wide-ranging limit content of rocks having microcrystalline quartz (a potentially reactive component) in their mineralogical composition. In the USA the amount of particles containing microcrystalline quartz cannot exceed 15%, in Norway – 20% and in Portugal – 2%. The same applies to rocks containing cryptocrystalline quartz, but the limit content varies less, i.e. in the range of 1-5%, amounting to 2% vol., 5%, 3%, 5%, 1-2% vol. and 2% for: Holland, the USA, Great Britain, Ireland, Denmark and Germany, respectively [27].

Furthermore, Norway introduces a scale of quartz reactivity depending on crystal size, i.e. quartz crystal size > 130 micrometres – quartz harmless as regards reactivity, quartz crystal size 60-130 micrometres – quartz uncertain as regards reactivity, quartz crystal size 10-60 micrometres – reactive quartz, quartz crystal size < 10 micrometres – highly reactive quartz [25, 27]. In Portugal aggregates containing > 2% of the reactive forms of silica (including deformed quartz, which in other countries is usually not classified as an alkali-reactive mineral) are classified as reactivity class II aggregates. Furthermore,

> 2% reaktywnych form krzemionki (w tym zdeformowany kwarc, który zazwyczaj w innych krajach nie jest zaliczany do minerałów reaktywnych alkalicznie). Dodatkowo, jak wynika z badań portugalskich naukowców, w przypadku identyfikacji opalu w materiale skalnym kruszywo klasyfikowane jest jako kruszywo III klasy reaktywności. Gdy w kruszywie identyfikuje się trydymit, chalcedon, krystobalit, mikro do kryptokrystaliczny kwarc, kwarc o budowie mozaikowej, zaleca się klasyfikowanie takiego materiału do II klasy reaktywności i przystąpienie do dalszych badań laboratoryjnych (AAR-3 lub AAR-4.1, przy czym metoda AAR-4.1 jest rekomendowana jako najbardziej wiarygodna). Do I klasy reaktywności Portugalczycy zaliczają wapienie bez mikrokrystalicznej krzemionki oraz bazalt bez szkliwa wulkanicznego.

Mówiąc o reaktywności alkalicznej kruszyw należy mieć na uwadze, iż kruszywa mogą być nie tylko źródłem reaktywnych form krzemionki, ale również alkaliów potrzebnych do reakcji z krzemionką. Możliwość uwalniania alkaliów z kruszywa do roztworu w porach betonu jest rozważana od wielu lat przez badaczy [28-31]. Podkreślają oni jednak, że jest to proces bardzo powolny i dotyczy niektórych składników kruszywa, w tym głównie skał zasobnych w skalenie. Jak podają Constantiner i Diamond [29], mikroklin (skaleń potasowy) uwalnia do roztworu w porach betonu jony potasowe, plagioklasy (skalenie sodowe) uwalniają jony sodu, natomiast oligoklaz jony potasu i sodu.

Wpływ alkaliów pochodzących z kruszywa, w kontekście pojawienia się reakcji alkalia-krzemionka, badacze tłumaczą identyfikacją reakcji AAR pomimo zastosowania niskoalkalicznego cementu w betonie. Berube i inni [28] badali i zanalizowali wiele takich przypadków w Kanadzie. Niemniej, omawiane zagadnienie nie jest do końca wyjaśnione i wymaga dalszych badań [31]. Dodatkowo, istotne jest określenie zmienności złoża oraz poznanie jego genezy. Należy mieć na uwadze, iż badając kruszywa z rodzimych złóż problem reaktywności alkalicznej należy rozpatrywać lokalnie, a nie globalnie.

## 5.2. WYNIKI BADAŃ PETROGRAFICZNYCH GRYSÓW POŁODOWCOWYCH REJONU PÓŁNOCNEJ POLSKI

Grysy polodowcowe rejonu północnej części Polski to głównie materiał tarczy fennoskandzkiej charakteryzujący się dużą różnorodnością pod względem mineralogiczno-petrograficznym oraz strukturalno-teksturalnym. Badany materiał został uzyskany w wyniku procesu przekruszenia czwartorzędowych otoczków o genezie lodowcowej (glacialnej – osady akumulacyjne moreny czołowej) oraz

according to Portuguese researchers if opal is identified in a rock material, the aggregate should be classified as reactivity class III aggregate. When tridymite, chalcedony, cristobalite, micro-to-cryptocrystalline quartz and quartz with a mosaic structure are identified in an aggregate, it is recommended to classify this material as belonging to reactivity class II and conduct further laboratory tests (AAR-3 or AAR-4.1, the latter method being recommended as the most reliable). The Portuguese classify limestone without microcrystalline silica and basalt without volcanic glass into reactivity class I.

Considering alkali-aggregate reactivity one should bear in mind that aggregates can be the source of not only the reactive forms of silica, but also of alkali needed for the reaction with silica. The possible release of alkali from the aggregate to the solution in the pores of concrete has been considered by many researchers for many years [28-31]. However, it is emphasized that this process is very slow and pertains only to some components of aggregate, mainly rocks rich in feldspars. Constantiner and Diamond [29] report that microcline (potassium feldspar) releases potassium ions into the pore solution in concrete, plagioclases (sodium feldspars) release sodium ions, and oligoclases - potassium and sodium ions.

The effect of the alkali originating from the aggregate, in the context of the occurrence of the alkali-silica reaction, researchers ascribe to the identified alkali-aggregate reaction, despite the use of low-alkali cement in the concrete. Berube et al. [28] investigated and noted down many such cases in Canada. Nevertheless, this problem has not been fully explained and requires further study [31]. Moreover, it is essential to determine the variation and genesis of the deposit. One should bear in mind that when investigating aggregates coming from native deposits, the alkali reactivity problem should be considered not globally, but locally.

## 5.2. RESULTS OF PETROGRAPHIC EXAMINATIONS OF GLACIAL CRUSHED AGGREGATES FROM NORTHERN POLAND

The glacial crushed aggregates in northern Poland are mainly the Fennoscandian Shield material highly varied in its mineralogical-petrographic and structural-textural aspects. The tested material was obtained by crushing Quaternary pebbles of glacial (frontal moraine accumulation deposits) and fluvioglacial origin. This material had been brought to Poland by the Scandinavian continental glacier in the course of the successive glacial advances [32] and it is represented primarily by crystalline formations (igneous and metamorphic rocks), sedimentary rocks (sandstones and limestones) and secondarily by dolomites.

rzeczolodowcowej (fluwioglacjalnej). Materiał ten został „przywleczony” do Polski przez lądolód skandynawski podczas kolejnych plejstocenijskich nasunięć [32] i reprezentowany jest głównie przez utwory krystaliczne (skały magmowe i metamorficzne), skały osadowe piaskowce i wapień oraz podrzędnie dolomity.

Z danych literaturowych wynika, iż skały krystaliczne wchodzące w skład czwartorzędowych otoczków pochodzenia lodowcowego rejonu północnej Polski to pierwotnie skały stratygraficznie zaliczane do paleoproterozoiku [33]. W związku z różnymi kierunkami transgresji lodowca oraz stadiami zlodowacenia osady glacialne różnią się zawartością utworów magmowych, metamorficznych w stosunku do utworów osadowych na różnych obszarach północnej części Polski. Zmienność tą można zaobserwować poprzez porównanie składu petrograficznego (Tabl. 3) badanego grysu z północno-wschodniej (Rys. 2) oraz północno-zachodniej części Polski (Rys. 3).

According to the literature on the subject, the crystalline rocks contained in the glacial Quaternary pebbles in northern Poland originally were stratigraphic rocks dating from the Paleoproterozoic era [33]. Due to the different directions of glacier transgression and the different glaciation stages the glacial deposits differ in their magmatic and metamorphic formations content from the sedimentary deposits in different areas of the northern part of Poland. This variation can be observed by comparing the petrographic composition (Table 3) of the tested grit from the north-east and north-west parts of Poland (Figs. 2 and 3).

Table 3. Petrographic composition of glacial grits for selected aggregate mines  
Tablica 3. Skład petrograficzny gryśów polodowcowych na przykładzie wybranych zakładów eksploatacyjnych

Petrographic group Grupa petrograficzna	Type of aggregate / Rodzaj kruszywa			
	Glacial grit produced from pebbles from NE Poland Grys polodowcowy z otoczków NE Polska		Glacial grit produced from pebbles from NW Poland Grys polodowcowy z otoczków NW Polska	
	Tested particle size fraction / Badana frakcja [mm]			
	5-8	8-16	8-11.2	11.2-16
	Particular petrographic group content [mass %] Zawartość danej grupy petrograficznej [% masy]			
Sedimentary rocks - carbonate formations / Skały osadowe - utwory węglanowe	6.6	5.4	27.2	13.3
Plutonic igneous rocks / Skały magmowe - plutoniczne Granites with pink and red feldspars / Granity z różowymi i czerwonymi skaleniami	38	33.9	24	40.1
Plutonic igneous rocks / Skały magmowe - plutoniczne Light and dark granitoids / Jasne i ciemne granitoidy	30.7	24.4	11.7	12.2
Volcanic igneous rocks / Skały magmowe - wulkaniczne Quartz and quartzless porphyries / Porfiry kwarcowe i bezkwarcowe	1.2	4.8	1.7	0.8
Metamorphic rocks - gneisses / Skały metamorficzne - gnejsy	–	5.0	2.7	1.7
Rocks belonging to diabase-gabbro group / Skały grupy diabaz - gabro	10.2	8.1	2	2.9
Volcanic rocks - Basalts and Melaphyres / Skały wulkaniczne - Bazalty i Melafiry	1.4	2.1	0.7	0.5
Sandstones + quartzites / Piaskowce + kwarcyty	8.5	15.6	26.8	26.3
Flints + cherts / Krzemienie + czerty	1.0	–	–	–
Siliceous rocks which can contain chalcedony and opal / Skały krzemionkowe mogące zawierać chalcedon i opal	–	–	3.1	2.1
Opokas (gaizes) / Opoki	–	–	0.1	0.1
Single feldspars / Pojedyncze skalenie	3.4	0.7	–	–



Fig. 2. Crushed stones from glacial gravels of NE Poland  
Rys. 2. Grysy pochodzący z przekruszenia otoczków  
polodowcowych rejonu NE Polski



Fig. 3. Crushed stones from glacial gravels of NW Poland  
Rys. 3. Grysy pochodzący z przekruszenia otoczków  
polodowcowych rejonu NW Polski

Z przeprowadzonej jakościowej analizy makroskopowej wynika, iż w materiale skalnym, pochodzącym z przekruszenia otoczków polodowcowych rejonu północnej Polski, dominują skały krystaliczne ze znaczącą przewagą plutonicznych, kwaśnych skał reprezentowanych głównie przez czerwone granity o różnym odcieniu (Rys. 4-6). Granity wykazują strukturę fanerokrystaliczną od drobnokrystalicznej po średniokrystaliczną oraz podrzędnie strukturę porfirowatą (granitoporfirowatą), teksturę zbitą, bezładną. W składzie mineralogicznym czerwonych granitów dominuje różowoczerwony ortoklaz dochodzący miejscami wielkością do 1 cm oraz od szarych po bezbarwne kryształy kwarcu o tłustym połysku na przelamie i kryształy plagioklazów. Podrzędnie obserwuje się blaszki biotyty tworzące kuliste enklawy. Minerale biotyty w granitach wykazują różny stopień zwietrzienia, co objawia się zmianą jego barwy na szarozieloną.

The qualitative macroscopic analysis indicates that crystalline rocks, with a significant preponderance of acidic plutonic rocks represented mainly by red granites of various hues (Figs 4-6), predominate in the rock material. The granites show a phanerocrystalline structure (from finely to medium crystalline) and secondarily, a porphyreous (granite-porphyreous) structure and a (disordered) compact texture. Pinkish-red orthoclase (reaching in places the size of 1 cm), from grey to colourless quartz crystals with a resinous lustre on their fracture surfaces, and plagioclase crystals predominate in the mineralogical composition of the red granites. Secondarily, biotite flakes forming globular enclaves are observed. The biotite minerals in the granites show different degrees of weathering, which manifests itself in the change in the colour of the biotite to greyish-green.



Fig. 4. Porphyritic granite (stereoscopic image on the right)

Rys. 4. Granit o strukturze porfirowatej (po prawej obraz z mikroskopu stereoskopowego)



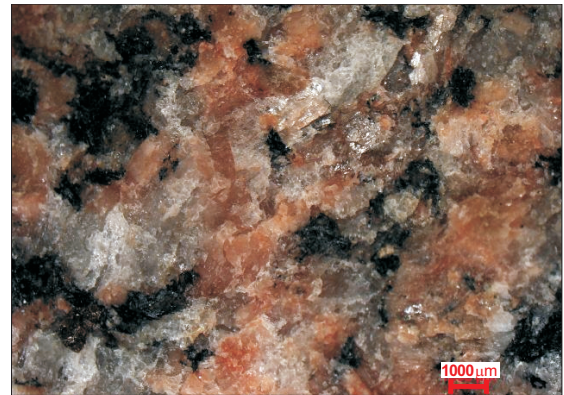


Fig. 5. Phaneritic, medium-grained granite (stereoscopic image on the right)

Rys. 5. Granit o strukturze fanerokrystalicznej, średniokrystalicznej (po prawej obraz z mikroskopu stereoskopowego)



Fig. 6. Phaneritic, medium-grained granite (stereoscopic image on the right)

Rys. 6. Granit o strukturze fanerokrystalicznej, średniokrystalicznej (po prawej obraz z mikroskopu stereoskopowego)

W mniejszej ilości występują jasnoszare granity, bogate w minerały leukokratyczne oraz ciemne granity i granodiority. Ciemne granity reprezentowane są przez granity biotytowe o strukturze średniokrystalicznej, teksturze zbitej, lekko kierunkowej (Rys. 7). W składzie mineralogicznym występują ksenomorficzne, szare kryształy kwarcu, skalenie oraz znaczny udział minerałów maficznych. Minerale maficzne reprezentowane są głównie przez drobnofuseczkowaty biotyt o barwie czarnej z charakterystycznym metalicznym połyskiem, który miejscami staje się matowy i przybiera barwę szarawą, co sugeruje postępujący proces wietrzenia tego minerału. Dodatkowo, w skale obserwuje się hornblendę w postaci czarnych słupków o długości 0,5-1 mm rozproszonych w skale.

Sporadycznie występują skały wulkaniczne, zasadowe czarne bazalty i diabazy, w których w afanitowym cieście skalnym miejscami można zaobserwować bardzo drobne

Light-grey granites (rich in leucocratic minerals), dark granites and granodiorites occur in smaller quantities. Dark granites are represented by biotitic granites with a medium crystalline structure and a slightly oriented compact texture (Fig. 7). Grey xenomorphic quartz crystals, feldspars and a considerable percentage of mafic minerals are present in the mineralogical composition. The mafic minerals are represented mainly by finely flaky black biotite with a characteristic metallic lustre, which in places becomes dull and turns grey, which is indicative of the weathering of this mineral. In addition, hornblende, in the form of 0.5-1 mm long columns dispersed in the rock, is observed in the rock.

Volcanic rocks, black basic basalts and diabases, whose aphanitic rock matrix in places contains very fine phenocrysts of mafic minerals (mainly pyroxene and olivine), occur sporadically. Moreover, red quartz porphyries and

prakryształowy minerałów maficznych (głównie piroksen, oliwin). Ponadto, ze skał wulkanicznych kwaśnych wyróżniono czerwone porfiry kwarcowe oraz obojętne porfiry bezkwarcowe. Ze skał metamorficznych przeważają kwarcyty, jednakże makroskopowo utwory te trudno jednoznacznie zidentyfikować i odróżnić od piaskowca kwarcytowego pochodzenia osadowego. Podrzednie występują okruchy gnejsów odznaczające się mniej lub bardziej wyraźną laminacją. W grupie skał osadowych w grysach dominują piaskowce o strukturze drobnoziarnistej ( $< 0,2$  mm), teksturze zbitej, bezładnej. Miejscami obserwuje się okruchy czerwono-pomarańczowego piaskowca z delikatnie zaznaczoną laminacją równoległą (tekstura kierunkowa – równoległa). Piaskowce o zmiennym spoiwie od silnie scementowanego krzemionkowego przez lekko porowate węglanowe po żelaziste i mieszane. Obserwuje się pojedyncze okruchy piaskowca arkozowego.



neutral quartzless porphyries were distinguished in the acidic rocks. Quartzites predominate in the metamorphic rocks, but it is difficult to unequivocally identify and distinguish these formations from sedimentary quartzitic sandstone. Gneiss particles, characterized by more or less distinct lamination, occur secondarily. Sandstones with a fine-grained ( $< 0.2$  mm) structure and a disordered compact texture predominate in the grits belonging to the group of sedimentary rocks. Red-orange sandstone particles with delicately marked parallel lamination (parallel oriented texture) are observed in places. The binder of the sandstones varies from strongly cemented siliceous, through slightly porous carbonate, to ferruginous and mixed. In places single arkosic sandstone particles are found.



Fig. 7. Biotite granite (stereoscopic image on the right)  
Rys. 7. Granit biotytowy (po prawej obraz z mikroskopu stereoskopowego)

Należy zauważyć, iż grysy pochodzące z zakładów eksploatacyjnych regionu północno-zachodniej Polski wykazują większy udział piaskowców – średnio około 27% niż materiał z północno-wschodniej Polski – średnio około 12%. Podobną tendencję obserwuje się w zakresie ilościowej oceny utworów węglanowych, w grysie z rejonu północno-zachodniego oznaczono średnio około 20% węglanów, a w grysie z rejonu północno-wschodniego średnio około 6%. Materiał węglanowy reprezentowany jest przez jasnoszare, masywne wapienie głównie pochodzenia organodetrytycznego, w których w rozproszonym mikrytowym tle skalnym występują liczne szczątki organiczne. Ponadto, w mikrytowej masie może występować mikrokrystaliczna krzemionka, opal czy chalcedon, zarówno w postaci większych kongregacji jak i w formie rozproszonych, wypełniając szczątki szkieletów organicznych. Podrzednie zidentyfikowano pojedyncze ziarna opok, krzemieni i czertów oraz innych skał krzemionkowych mogących w swoim składzie zawierać chalcedon i opal.

It should be noted that the grits coming from the aggregate mines in the north-west Poland show a higher percentage of sandstones (on average amounting to about 27%) than the material from the north-east Poland (with the average sandstone content of about 12%). A similar tendency is observed for the carbonate formations: the grit from the north-west Poland was found to have an average carbonate content of 20% while that from the north-east Poland – of about 6%. The carbonate material is represented by light-grey massive limestones, mainly of organodetritic origin, in whose dispersed micritic groundmass numerous organic remains occur. Moreover, the micritic mass may contain microcrystalline silica, opal or chalcedony, in the form of larger concretions and in the dispersed form, filling the remains of the organic skeleton. Secondarily, single particles of opokas (gaizes), flints, cherts and other siliceous rocks which may contain chalcedony and opal were identified.

Jak wspomniano wcześniej, problem wietrzenia chemicznego kruszywa może mieć znaczenie w aspekcie reakcji alkali-krzemionka, a zapewne ma wpływ na parametry jakościowe kruszywa. Analizowane grysy w badaniach petrograficznych makroskopowych wykazują zmienny stopień zwietrzenia oraz zmian metasomatycznych, należy jednak pamiętać, że procesy o których mowa są ciężkie do obserwacji w rutynowych makroskopowych badaniach petrograficznych. Niemniej, badania w mikroobszarze dają możliwość identyfikacji zmian i procesów wietrzeniowych z wyraźną identyfikacją produktów tych procesów, które niejednokrotnie towarzyszą reakcjom wietrzeniowym.

Do jednych z najbardziej powszechnych procesów dających się zaobserwować w grysach rejonu północnej Polski należą proces myrmekityzacji – powstawanie „brodawkowych” przerostów plagioklazu i robaczkowatego kwarcu na kontakcie skaleni potasowych i plagioklazów oraz chlorytyzacji – proces przemiany biotyту w chloryt (minerał ilasty) [34]. Dodatkowo, w badanych grysach obserwuje się procesy serycytyzacji plagioklazów, a w dalszym etapie argilityzacji. Efektem końcowym omawianych procesów jest przemiana pierwotnych minerałów w agregaty minerałów ilastych z uwolnieniem jonów sodu i potasu [28-30]. Przykłady zaobserwowanych procesów przeobrażeń w badanym materiale skalnym prezentuje Rys. 8.

As mentioned earlier, the chemical weathering of aggregate can have a bearing on the alkali-silica reaction and certainly it affects the quality parameters of aggregate. Although the macroscopic petrographic examinations reveal varying degrees of weathering and metasomatic changes in the analysed grits, one should bear in mind that such processes are difficult to observe through routine macroscopic petrographic examinations. Nevertheless, examinations within a microregion enable one to identify weathering changes and processes and to clearly identify the products of the processes which often accompany weathering reactions.

To the most common processes observable in the grits of northern Poland belong: myrmekitization – the formation of “verrucous” overgrowths of plagioclase and vermicular quartz at the contact between potassium feldspars and plagioclases, and chloritization – the transformation of biotite into chlorite (a clay mineral) [34]. Furthermore, the sericitization of plagioclases and subsequently their argillitization are observed. The final result of the above processes is the transformation of the primary minerals into concentration of clay minerals with the release of sodium and potassium ions [28-30]. Exemplary transformation processes observed in the investigated rock material are presented in Fig. 8.

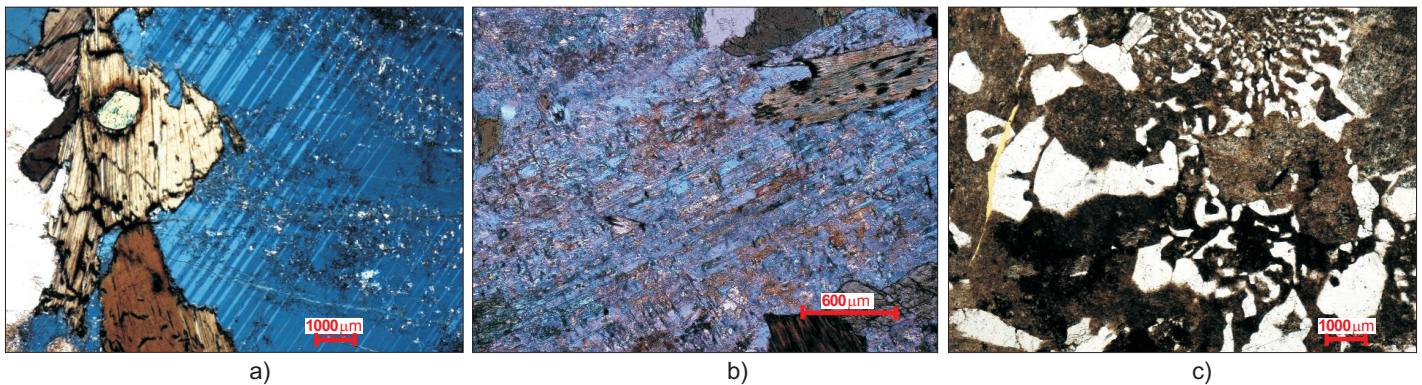
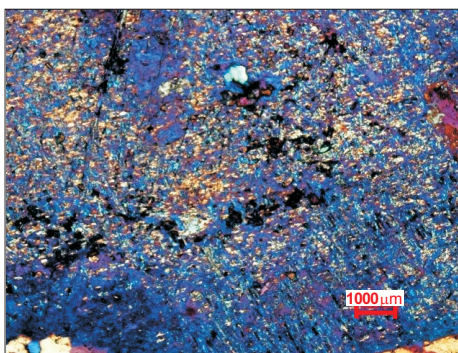


Fig. 8. Weathering of minerals and metasomatic alterations observed in investigated aggregates from north of Poland:

- a) Initiation of sericitic alteration (cross-polarized light – XPL),
- b) argillic alteration (cross-polarized light – XPL),
- c) myrmekitization (plane-polarized light – PPL),
- d) advanced weathering of albite, sericitic alteration (cross-polarized light – XPL)

Rys. 8. Zmiany wietrzeniowe i metasomatyczne w badanych grysach rejonu północnej Polski:

- a) inicjacja procesu serycytyzacji (światło przechodzące, XPL),
- b) proces argilityzacji (światło przechodzące, XPL),
- c) proces myrmekityzacji - przerosty kwarcowo-skaleniowe (światło przechodzące, PPL),
- d) zaawansowany proces wietrzenia albitu – przejście albitu w serycyt, proces serycytyzacji (światło przechodzące, XPL)



d)

### 5.3. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ PETROGRAFICZNYCH

W specyfikacjach technicznych w odniesieniu do składu petrograficznego podawane są następujące wymagania:

- minimum 75% ziaren magmowych i metamorficznych,
- kruszywa grube nie powinny zawierać reaktywnych minerałów krzemionkowych.

W przypadku oceny reaktywności alkalicznej stawiane są następujące wymagania:

- reaktywność alkaliczna określona wg PN-B-06714-34: zwiększenie wymiarów liniowych beleczek nie więcej niż 0,1%,
- potencjalna reaktywność alkaliczna wg PN-B-06714-46: stopień reaktywności alkalicznej 0,
- potencjalna reaktywność alkaliczna wg ASTM C1260-14: zwiększenie wymiarów liniowych beleczek nie więcej niż 0,1%.

Na podstawie uzyskanych wyników makroskopowej analizy petrograficznej dokonano wstępnej oceny reaktywności alkalicznej kruszywa. Niemniej, jak już wspomniano wcześniej w Polsce nadal brak jest jasnych kryteriów jeżeli chodzi o klasyfikację kruszywa zgodnie z wytycznymi RILEM. W związku z powyższym, nie podjęto się klasyfikacji jeżeli chodzi o przyporządkowanie do konkretnej klasy reaktywności (klasa od I do III wg RILEM). Rezultatem badań petrograficznych było więc ilościowe oznaczenie skał klasyfikowanych jako potencjalnie reaktywne według wytycznych europejskich RILEM oraz normy ASTM C295. Wyniki z ilościowym udziałem skał określanych jako potencjalnie reaktywne zamieszczono w Tabl. 4. Dodatkowo, w tablicy zamieszczono ilościowy udział utworów węglanowych i ziaren magmowych oraz metamorficznych w badanych grysach polodowcowych.

W nawiązaniu do wymagań specyfikacji technicznych dotyczących minimalnej zawartości ziaren magmowych i metamorficznych stwierdza się, iż grysy pochodzące z przekruszenia polodowcowych otoczków rejonu północno-wschodniej Polski spełniają to kryterium. Udział ziaren krystalicznych (magmaowych i metamorficznych) w ich przypadku wynosi ponad 75%. Znacznie mniejszy udział ziaren krystalicznych (magmaowych i metamorficznych) obserwuje się w grysach polodowcowych rejonu północno-zachodniej Polski. Należy jednak mieć na uwadze, że podane wartości nie uwzględniają udziału kwarcytów pochodzenia metamorficznego, które są trudne do makroskopowego odróżnienia od piaskowców kwarcytowych pochodzenia osadowego.

### 5.3. DISCUSSION OF PETROGRAPHIC EXAMINATION RESULTS

Technical specifications set down the following requirements for the petrographic composition:

- the minimum of 75% of magmatic and metamorphic particles,
- coarse aggregates should not contain any reactive siliceous minerals.

As regards alkali reactivity, the following requirements are laid down:

- alkali reactivity determined acc. to PN-B-06714-34: the increase in the linear dimensions of the bars should not exceed 0.1%,
- potential alkali reactivity acc. to PN-B-06714-46: the degree of alkali reactivity 0,
- potential alkali reactivity acc. to ASTM C1260-14: the increase in the linear dimensions of the bars should not exceed 0.1%.

A preliminary evaluation of the alkali reactivity of the aggregates was made on the basis of the results of the macroscopic petrographic analysis. However, as mentioned earlier, in Poland there are still no clear-cut criteria for classifying aggregate in accordance with the RILEM guidelines. Therefore no attempt was made to assign the aggregates to any reactivity class (class I to III acc. to RILEM). Thus the result of the petrographic examinations was the quantitative determination of the rocks classified as potentially reactive according to the European RILEM guidelines and the ASTM C295 standard. The results together with the quantitative percentage of the rocks defined as potentially reactive are presented in Table 4. In addition, the table shows the quantitative percentage of carbonate formations and igneous and metamorphic particles in the tested glacial crushed aggregates.

As regards the technical specifications concerning the minimum igneous and metamorphic particle content, the grits produced by crushing glacial pebbles coming from the north-eastern Poland have been found to satisfy this criterion. The percentage of crystalline (igneous and metamorphic) particles in the grits amounts to over 75%. The percentage of crystalline (igneous and metamorphic) particles in the glacial grits coming from the north-western Poland is considerably lower. However, one should note that the presented values do not include the percentage of quartzites of metamorphic origin, which are difficult to macroscopically distinguish from quartzitic sandstones of sedimentary origin.



Table 4. Percentage of rocks classified as potentially reactive, acc. to ASTM C295 and RILEM guidelines, in glacial grits in northern Poland

Tablica 4. Udział skał klasyfikowanych jako potencjalnie reaktywne, wg ASTM C295 oraz wytycznych RILEM, w grysach polodowcowych północnej Polski

Type of aggregate Rodzaj kruszywa	Percentage of rocks which can contain alkali-reactive minerals acc. to ASTM C295 and RILEM [mass %] Udział skał mogących zawierać minerały reaktywne alkalicznie wg ASTM C295 i RILEM [% masy]	Percentage of carbonate formations [mass %] Udział utworów węglanowych [% masy]	Percentage of magmatic and metamorphic (without quartzite) particles [mass %] Udział ziarn magmowych i metamorficznych (bez kwarcytu) [% masy]
Glacial grit produced from pebbles from NE Poland fraction 5-8 Grys polodowcowy z otoczków NE Polska frakcja 5-8	Gneisses / Gnejs 0	6.6	84.9
	Quartz + quartzless porphyries Porfir kwarcowy + porfir bezkwarcowy 1.2		
	Sandstone + quartzite Piaskowiec + kwarcyt 8.5		
	Basaltoids / Bazaltoidy 1.4		
	Flints + cherts Krzemienie + Czerty 1.0		
Glacial grit produced from pebbles from NE Poland fraction 8-16 Grys polodowcowy z otoczków NE Polska frakcja 8-16	Quartz + quartzless porphyries Porfir kwarcowy + porfir bezkwarcowy 4.8	5.4	78.3
	Sandstone + quartzite Piaskowiec + kwarcyt 15.6		
	Basaltoids / Bazaltoidy 2.1		
Glacial grit produced from pebbles from NW Poland fraction 8-11.2 Grys polodowcowy z otoczków NW Polska frakcja 8-11.2	Gneisses / Gnejs 2.7	27.2	42.7
	Quartz + quartzless porphyries Porfir kwarcowy + porfir bezkwarcowy 1.7		
	Basaltoids / Bazaltoidy 0.7		
	Sandstone + quartzites Piaskowiec + kwarcyty 26.8		
	Siliceous rocks with (most probably) chalcedony Skały krzemionkowe z chalcedonem (najprawdopodobniej) 3.1		
	Opokas (gaizes) / Opoka 0.1		
Glacial grit produced from pebbles from NW Poland fraction 11.2-16 Grys polodowcowy z otoczków NW Polska frakcja 11.2-16	Gneisses / Gnejs 1.7	13.3	58.4
	Quartz + quartzless porphyries Porfir kwarcowy + porfir bezkwarcowy 0.8		
	Basaltoids / Bazaltoidy 0.5		
	Sandstone + quartzites Piaskowiec + kwarcyty 26.3		
	Siliceous rocks with (most probably) chalcedony Skały krzemionkowe z chalcedonem (najprawdopodobniej) 2.1		
	Opokas (gaizes) / Opoka 0.1		

W każdym z badanych grysów północnych rejonów Polski zidentyfikowano kilka typów petrograficznych skał klasyfikowanych według wytycznych europejskich RILEM oraz normy ASTM C295, jako skały mogące zawierać minerały potencjalnie reaktywne. Wynika to głównie z bardzo różnorodnego składu petrograficznego badanych kruszyw (grysy polimiktyczne) oraz genezy materiału (materiał polodowcowy). Uzyskane wyniki wstępnej oceny petrograficznej badanych grysów pod kątem reaktywności alkalicznej wskazują, że wymagane jest przeprowadzenie dalszych badań w tym zakresie, poprzez zastosowanie odpowiednich metod laboratoryjnych. Niemniej, udział skał mogących zawierać minerały potencjalnie reaktywne jest zmienny w zależności od lokalizacji. Wyraźnie obserwuje się, że grysy pochodzące z przekruszenia otoczków polodowcowych rejonu północno-wschodniej Polski w swoim składzie petrograficznym zawierają zdecydowanie mniej skał klasyfikowanych jako skały potencjalnie reaktywne niż grysy pochodzące z przekruszenia otoczków polodowcowych rejonu północno-zachodniej Polski. Obecnie kontynuowane są badania mikroskopowe oraz badania opisane w normach ASTM C1260 [7] i ASTM C1293 [8].

## 6. WNIOSKI

Badania realizowane w ramach projektu RID uwzględniają udokumentowanie przydatności zwirowych kruszyw łamanych w technologii betonowych nawierzchni drogowych, wykorzystując światowe rozwiązania oceny reaktywności alkalicznej kruszyw i zapobiegania reakcji AAR. Analizy dokonuje się począwszy od oceny petrograficznej, poprzez normowe badania podstawowych cech użytkowych, do komplementarnych badań reaktywności alkalicznej oraz rozwiązań materiałowych projektowania składu mieszanki betonowej. Przeprowadzone dotychczas badania pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Krajowe kruszywa łamane uzyskiwane z przekruszenia otoczków pochodzenia polodowcowego często dorównują właściwościami kruszywom łamanym uzyskiwanym ze skał litych pochodzenia magmowego.
2. Pod względem petrograficznym kruszywa te mogą zawierać w swym składzie minerały uważane za reaktywne. Przeprowadzone wstępne badania petrograficzne często nie pozwalają zaliczyć ich bezpośrednio do kruszyw bezpiecznych pod względem zagrożenia wystąpienia reakcji alkalia-kruszywo. Nie znaczy to jednak, że kruszywa te są niebezpieczne, ze względu na możliwość wystąpienia reakcji alkalia-kruszywo.

Several petrographic types of rocks, classified according to the European RILEM guidelines and the ASTM C295 standard as rocks which may contain potentially reactive minerals, were identified in each of the tested grits. This is mainly due to the highly varied petrographic composition of the tested aggregates (polymictic grits) and the genesis of the material (glacial material). The results of the preliminary petrographic evaluation of the grits with regard to their alkali reactivity indicate that further relevant research needs to be carried out using proper laboratory methods. Nonetheless, the percentage of rocks which may contain potentially reactive minerals varies depending on the location. It is clearly apparent that the crushed aggregates produced by crushing glacial pebbles coming from the north-eastern part of Poland contain much less rocks classified as potentially reactive rocks than the grits produced by crushing glacial pebbles coming from the north-western part of Poland. Currently, the microscopic examinations and the tests described in the ASTM C1260 [7] and ASTM C1293 standards [8] are being continued.

## 6. CONCLUSIONS

The research conducted as part of the RID project includes the determination of the suitability of crushed gravel aggregates for concrete road pavements, using the world solutions in alkali-aggregate reactivity evaluation and alkali-aggregate reaction prevention. The investigations cover a petrographic evaluation, standard tests of basic performance characteristics, complementary tests of alkali reactivity, and material solutions for the design of concrete mix. From the research to date one can draw the following conclusions:

1. As regards their properties, the domestic crushed aggregates produced by crushing glacial pebbles often match the crushed aggregates obtained from solid rocks of magmatic origin.
2. As regards their petrographic composition, the aggregates may contain minerals considered to be reactive. On the basis of the preliminary petrographic examinations the aggregates often cannot be directly classified as safe in terms of alkali-aggregate reaction hazard. But this does not mean that they are hazardous due to the possibility of occurrence of the alkali-aggregate reaction.
3. Tests on mortars and concretes incorporating the evaluated aggregates need to be carried out in order to properly diagnose the latter as to the possibility of occurrence of the alkali-aggregate reaction. On the basis

3. Właściwe rozpoznanie kruszyw, pod kątem możliwości wystąpienia reakcji alkalia-kruszywo, wymaga przeprowadzenia badań na zaprawach i betonach sporządzonych z udziałem ocenianych kruszyw. Wyniki tych badań pozwalają zaliczyć dane kruszywo do nieszkodliwych w warunkach eksploatacyjnych, bądź też do potencjalnie reaktywnych. Uzyskana ocena umożliwia odpowiednie zaprojektowanie betonu, również poprzez ewentualne zastosowanie dodatków zapobiegających możliwości wystąpienia reakcji alkalia-krzemionka.

## INFORMACJE DODATKOWE

Badania przeprowadzono w ramach projektu badawczego realizowanego w ramach Wspólnego Przedsięwzięcia RID „Rozwój Innowacji Drogowych” w obszarze zagadnienia pt.: „Reaktywność alkaliczna krajowych kruszyw”. Projekt realizowany w ramach konsorcjum: Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie oraz Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN w Warszawie. Badania zostały sfinansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad w latach 2016-2019.

## BIBLIOGRAFIA / REFERENCES

- [1] PN-B-06714-47:1988 Kruszywa mineralne - Badania - Oznaczanie potencjalnej reaktywności alkalicznej - Oznaczanie zawartości krzemionki rozpuszczalnej w wodorku sodowym (NaOH)
- [2] PN-B-06714-46:1992 Kruszywa mineralne - Badania - Oznaczanie potencjalnej reaktywności alkalicznej metodą szybką
- [3] PN-B-06714-34:1991 Kruszywa mineralne - Badania - Oznaczanie reaktywności alkalicznej
- [4] *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
- [5] 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
- [6] 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
- [7] ASTM C1260: Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method), ASTM International, 2014
- [8] ASTM C1293: Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction, ASTM International, 2015
- [9] *Naziemiec Z., Garbacik A., Adamski G.*: Reaktywność alkaliczna krajowych kruszyw. *Kruszywa Mineralne t.1.* Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2017, 123-132
- [10] PN-EN 932-1:1999 Badania podstawowych właściwości kruszyw - Metody pobierania próbek
- [11] PN-EN 13043:2004 Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu
- [12] PN-EN 12620+A1:2010 Kruszywa do betonu
- [13] PN-EN 933-1:2012 Badania geometrycznych właściwości kruszyw - Część 1: Oznaczanie składu ziarnowego - Metoda przesiewania
- [14] PN-EN 1097-6:2013 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw - Część 6: Oznaczanie gęstości ziarn i nasiąkliwości

of the results of the tests one will be able to classify a particular aggregate as harmless or potentially reactive in the service conditions. Owing to the evaluation one will be able to properly design concrete, also by considering the use of additives preventing the alkali-silica reaction from occurring.

## ACKNOWLEDGEMENT

This research was carried out as part of the research project conducted under the Road Innovations Development (RID) Joint Venture, within “The alkali reactivity of domestic aggregates” problem. The project is 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, 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.

- [15] PN-EN 1367-1:2007 Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych - Część 1: Oznaczanie mrozoodporności
- [16] PN-EN 1367-6:2008 Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych - Część 6: Mrozoodporność w obecności soli
- [17] PN-EN 1097-2:2000 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw - Część 2: Metody oznaczania odporności na rozdrabnianie
- [18] PN-EN 1097-1:2011 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw - Część 1: Oznaczanie odporności na ścieranie (mikro-Deval)
- [19] PN-EN 933-5:2000 Badania geometrycznych właściwości kruszyw - Oznaczanie procentowej zawartości ziarn o powierzchniach powstałych w wyniku przekruszenia lub łamania kruszyw grubych
- [20] RILEM Recommended Test Method: AAR-1.1 - Detection of Potential Alkali-Reactivity - Part 1: Petrographic Examination Method. State-of-the-Art Report of the RILEM Technical Committee 219-ACS Vol. 17, Eds. Philip J. Nixon and Ian Sims, Springer Netherlands, 2016
- [21] ASTM C295 Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete, ASTM International, 2012
- [22] PN-EN 932-3/1999/A1:2004 Badania podstawowych właściwości kruszyw - Procedura i terminologia uproszczonego opisu petrograficznego
- [23] *Broekmans M.A.T.M.*: Structural properties of quartz and their potential role for ASR. Materials Characterization, **53**, 2-4, 2004, 129-140
- [24] *Locati F., Marfil S., Baldo E.*: Effect of ductile deformation of quartz-bearing rocks on the alkali-silica reaction. Engineering geology, **116**, 1-2, 2010, 117-128
- [25] *Fernandes I., dos Anjos Riberio M., Matins H.C.B., Noronha F., Soares D., Santos Silva A., Broekmans M.A.T.M., Sims I.*: To be or not to be... Alkali Reactive. A challenge for the petrographic method, 15<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregates Reaction, Sao-Paulo, Brazil, 2016
- [26] *Ramos V., Fernandes I., Santos Silva A., Soares D., Furnier B., Leal S., Noronha F.*: Assessment of the potential reactivity of granitic rocks - Petrography and expansion tests. Cement and Concrete Research, **86**, 2016, 63-77
- [27] *Alaejos P., Lanza V.*: Influence of equivalent reactive quartz content on expansion due to alkali silica reaction. Cement and Concrete Research, **42**, 1, 2012, 99-104
- [28] *Berube M.A., Duchesne J., Dorion J.F., Rivest M.*: Laboratory assessment of alkali contribution by aggregates to concrete and application to concrete structure affected by alkali-silica reactivity. Cement and Concrete Research, **32**, 8, 2002, 1215-1227
- [29] *Constantiner D., Diamond S.*: Alkali release from feldspars into pore solutions. Cement and Concrete Research, **33**, 4, 2003, 549-554
- [30] *Yujiang W., Min D., Mingshu T.*: Alkali release from aggregate and the effect on AAR expansion. Materials and Structures, **41**, 2008, 159-171
- [31] *Owsiak Z.*: Korozja wewnętrzna betonu. Politechnika Świętokrzyska, M66, Kielce, 2015, 73-78
- [32] *Czubala P., Gałazka D., Górska M.*: Eratyki przewodnie w glinach morenowych Polski. Przegląd Geologiczny, **54**, 4, 2006, 352-362
- [33] *Górska-Zabielska M.*: Obszary macierzyste skandynawskich eratyków przewodnych osadów ostatniego zlodowacenia północno-zachodniej i północno-wschodnich Niemiec. Geologos, **14**, 2, 2008, 55-73
- [34] *Manecki A., Makuszyński M.*: Przewodnik do petrografii. AGH Uczelniane wydawnictwo naukowo-dydaktyczne, 2008