
PRACE

**Instytutu Ceramiki
i Materiałów Budowlanych**

Scientific Works
of Institute of Ceramics
and Building Materials

Nr 34
(lipiec–wrzesień)

Prace są indeksowane w BazTech i Index Copernicus

ISSN 1899-3230

Rok XI

Warszawa–Opole 2018

EWELINA PABIŚ-MAZGAJ*

Ocena deformacji kwarcu w wybranych surowcach skalnych stosowanych do produkcji kruszyw łamanych do betonu w Polsce

Słowa kluczowe: kwarc, kwarc w stanie naprężeń, faliste wygaszanie światła, reakcja alkalia–krzemionka, ASR.

Celem pracy było określenie stopnia deformacji kwarcu w wybranych surowcach skalnych stosowanych w produkcji kruszyw łamanych do betonu w Polsce.

Kwarc o zdeformowanej strukturze, czyli kwarc w stanie naprężeń, zaliczany jest do składników mogących powodować szkodliwą reakcję alkalia–krzemionka (*Alkali-Silica-Reaction* – ASR) w betonie [3]. Ocena podatności na reakcję ASR odgrywa ważną rolę w wyborze kruszywa do betonu. W pracy do oceny stopnia deformacji struktury kwarcu wykorzystano analizę mikroskopową w świetle przechodzącym. Analizie poddano próbki surowców skalnych stosowanych do produkcji kruszyw łamanych do betonu z 5 zakładów eksploatacyjnych. W przypadku jednej próbki przeprowadzono obrazowanie transmisyjne (TEM). Obserwacje w mikroobszarach umożliwiły identyfikację anomalii optycznych oraz mikrostruktur kwarcu, charakterystycznych dla różnych stopni jego deformacji określonych według klasyfikacji zawartej w publikacji Tiechera i współautorów [5]. Wyniki badań wykazały, że w każdej z badanych próbek, poza próbką K1, identyfikowany był kwarc o różnych stopniach deformacji. Udział kwarcu wykazującego cechy odpowiadające poszczególnym stopniom deformacji struktury był różny w poszczególnych surowcach skalnych, co może mieć wpływ na kształtowanie ich podatności na reakcję alkalia–krzemionka.

1. Wprowadzenie

Kruszywa zawierające reaktywną krzemionkę w reakcji z wodorotlenkami sodu i potasu zawartymi w cieczy porowej w zaprawie lub w betonie powodują ekspansję, która może doprowadzić do destrukcji betonu [1]. Reakcja ta nazywana jest reakcją alkalia–krzemionka ASR [2]. W następstwie reakcji wodorotlenku

* Mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie, Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie, e.pabis@icimb.pl

sodu i potasu z reaktywną krzemionką tworzy się bezpostaciowy żel, który absorbując wodę zwiększa swoją objętość i może spowodować wspomnianą wcześniej destrukcję betonu [3].

Do najbardziej reaktywnych form krzemionki należą opal i szkło krzemionkowe [1], składniki stosunkowo łatwe do identyfikacji. Wśród reaktywnych form krzemionki znajduje się również kwarc w stanie naprężeń, czyli kwarc o zdeformowanej strukturze [1–3]. Jak podaje Owsiak [3], kwarc w stanie naprężeń często występuje w skałach metamorficznych oraz niektórych skałach magmowych, w tym w granitach powszechnie stosowanych do produkcji kruszyw łamanych. Prawdopodobieństwo wystąpienia kwarcu w stanie naprężeń w kruszywie stosowanym do betonu w Polsce jest dużo większe niż obecność w nich opalu czy szkła krzemionkowego. Konieczna jest zatem prawidłowa identyfikacja kwarcu w stanie naprężeń. Jest to zadanie trudne i niekiedy budzące kontrowersje.

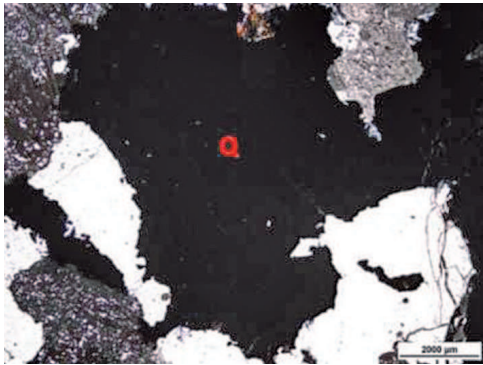
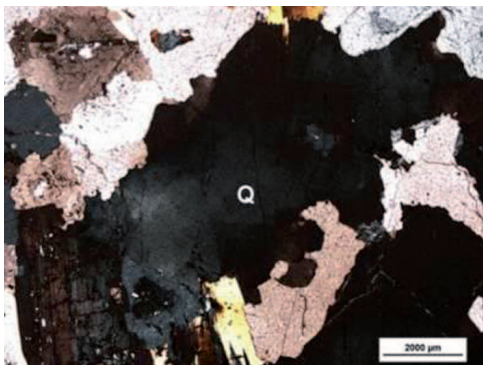
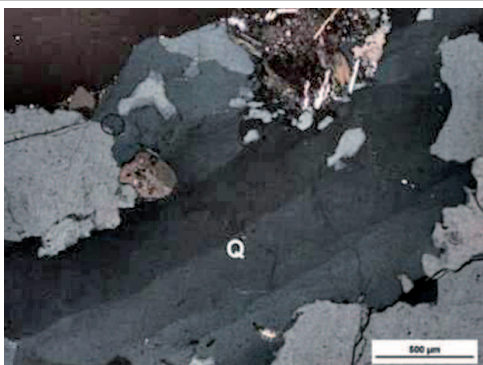
Reaktywność kwarcu zależy od deformacji jego struktury [4–10]. Kwarc o zdeformowanej strukturze jest lepiej rozpuszczalny w środowisku alkalicznym, przez co jego podatność na reakcję ASR jest większa, niż kwarcu pozbawionego deformacji [4]. Odkształcenia struktury kryształu kwarcu są trwałe w postaci anomalii optycznych identyfikowanych mikroskopowo [11–12]. Przykładem anomalii optycznych są m.in. faliste wygaszanie światła oraz pasma deformacji [11–12]. Szczególnie pospolite jest faliste wygaszanie światła które zazwyczaj związane jest z udziałem skały w ruchach tektonicznych po skryształizowaniu kwarcu [11]. W wielu pracach wykazano zależność pomiędzy kątem zanikania światła a wielkością naprężeń, jakim był poddawany kwarc podczas procesu deformacji [13–14]. Wykorzystanie kąta wygaszania światła, jako parametru klasyfikującego stopień reaktywności kwarcu nie jest jednak powszechnie stosowane, głównie ze względu na problemy w zakresie dokładności jego oznaczenia [7]. W ostatnich dwóch dekadach zrodziło się wiele pytań dotyczących wyznaczenia parametru, który będzie wiarygodnie odzwierciedlał zakres deformacji kwarcu i będzie miał zastosowanie praktyczne [7].

Tiecher i in. [5], analizując obserwowane anomalie optyczne i mikrostruktury kryształów kwarcu, zaproponowali klasyfikację ze względu na zakres deformacji. Klasyfikację tę wraz z opisem i przykładowymi mikrofotografiami (ryc. 1–5) przedstawiono w tabeli 1. Badania autorów klasyfikacji [5–6] wykazały, że surowce zawierające głównie kwarc z pasmami deformacji tworzonymi przez linie dyslokacji (2-stopień deformacji wg tab. 1) w badaniach reaktywności alkalicznej kruszyw metodami przyspieszonymi na zaprawach wykazują największą ekspansję. Linie dyslokacji, wyznaczają obszary w sieci krystalicznej kwarcu, gdzie dochodzi do osłabienia wiązania pierwiastka krzemu i tlenu, przez co reakcja z alkalią może zachodzić szybciej [4–7]. Badacze [5] stwierdzili obecność linii dyslokacji również w kryształach kwarcu o umiarkowanym falistym wygaszaniu

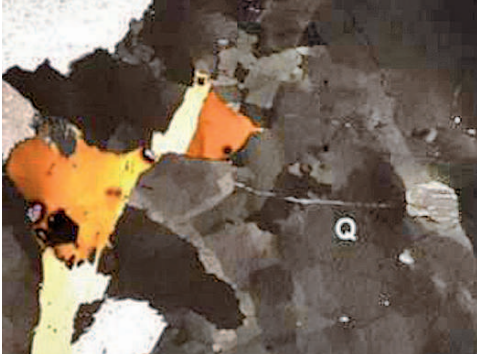
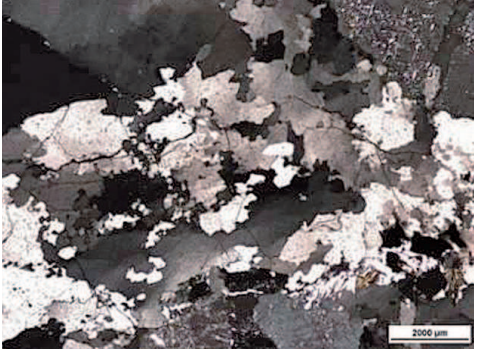
światła (1-stopień deformacji wg tab. 1). Ponadto zauważyli, że ziarna tworzące subziarna (3-stopień deformacji wg tab. 1) są bardziej podatne na reakcję alkalia–krzemionka niż kwarc rekrytaliczny (4-stopień deformacji wg tab. 1), ale mniej podatne niż kryształy kwarcu z pasmami deformacji (2-stopień deformacji wg tab. 1) [5].

Tabela 1

Stopnie deformacji kryształów kwarcu wg Tiecher i in. [5]

Stopień deformacji	Opis	Przykładowa mikrofotografia
Stopień-0 Kwarc niezdeformowany	Kryształy przy obrocie stolika mikroskopu optycznego jednorodnie wygaszają światło.	 Ryc. 1. Kwarc (Q) pozbawiony deformacji
Stopień-1 Kwarc o umiarkowanym wygaszaniu światła	Kryształy przy obrocie stolika mikroskopu optycznego faliście wygaszają światło (w obrazie mikroskopowym widoczne jasne i ciemne pola). Zjawisko to wskazuje na występowanie dyslokacji w sieci krystalicznej,	 Ryc. 2. Kwarc (Q) faliście wygaszający światło
Stopień-2 Kwarc o wyraźnym falistym wygaszaniu światła, tworzenie się pasm deformacji	Falisty charakter zanikania światła jest wyraźny i tworzy dobrze określone strefy wewnątrz kryształu (tworzenie się linii dyslokacji). Strefy te nazywane są pasmami deformacji. <u>Pasma deformacji wyznaczają obszary w sieci krystalicznej kryształów, gdzie wiązania chemiczne są osłabione.</u>	 Ryc. 3. Kwarc (Q) z pasmami deformacji

cd. tab. 1

Stopień deformacji	Opis	Przykładowa mikrofotografia
<p>Stopień-3 Kwarc o wyraźnym, falistym wygaszaniu światła, tworzenie subziaren</p>	<p>Defekty w sieci krystalicznej kwarcu wzrastają, tworząc obszary, gdzie wiązania chemiczne mają skłonność do łatwego zrywania. Ściany subziaren są wyraźnie zaznaczone i znajdują się w obrębie ziarna macierzystego.</p>	 <p>Ryc. 4. Kwarc (Q) o wyraźnym falistym wygaszaniu światła z formującymi się subziarnami</p>
<p>Stopień-4 Tworzenie się kwarcu rekrytalicznego z subziaren</p>	<p>Wydzielenie poszczególnych subziaren jako pojedyncze „nowe” ziarna często zupełnie pozbawione deformacji, ale zazwyczaj o mniejszej wielkości niż ziarno wyjściowe.</p>	 <p>Ryc. 5. Kwarc rekrytaliczny</p>

Badania prowadzone w Polsce nad reaktywnością kruszyw w betonie [3, 15–18] nie obejmowały dotychczas bezpośrednio zagadnień wpływu deformacji kwarcu na kształtowanie podatności kruszyw na reakcję alkalia–krzemionka.

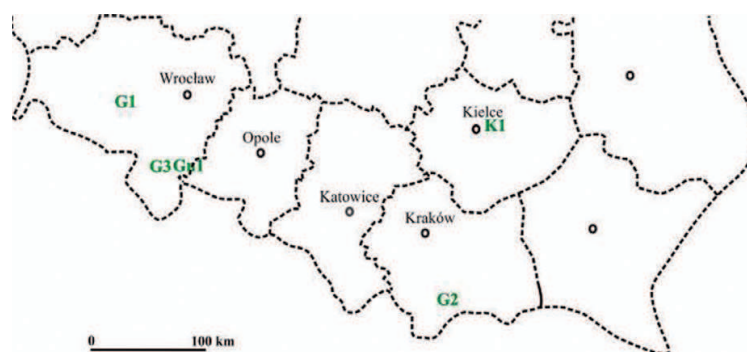
Celem pracy było określenie stopnia deformacji kryształów kwarcu w skałach stosowanych do produkcji kruszyw łamanych do betonu w Polsce. Do badań pobrano próbki skalne z 5 zakładów eksploatacyjnych. Z próbek wykonano preparaty mikroskopowe (cienkie szlify), które następnie poddano obserwacjom przy użyciu mikroskopu polaryzacyjnego, dokonując identyfikacji deformacji struktury kwarcu na podstawie obserwowanych anomalii optycznych.

2. Materiał do badań i metodyka

2.1. Materiał do badań

Materiał do badań stanowiły próbki głębinowych skał magmowych – granity i metamorficznych – kwarcyt i gnejs, stosowanych w produkcji kruszyw łamanych do betonu. Granit został pobrany z trzech zakładów eksploatacyjnych (G1,

G2, G3), kwarcyt z jednego zakładu (K1), podobnie gnejs (GN1). Lokalizację poboru próbek przedstawiono na rycinie 6. Typując miejsca poboru próbek, za kryterium przyjęto wielkość wydobycia oraz znaczenie gospodarcze. Z każdego z zakładów pobrano w sposób losowy po 4 próbki skalne o masie ok. 5 kg każda. Próbki granitu G1, G3 oraz próbka gnejsu GN1 pochodzą z obszaru nazywanego blokiem dolnośląskim, który tworzy kilkanaście odrębnych jednostek tektonicznych, rozdzielonych przez uskoki lub podatne strefy ścinania [19]. Próbka granitu G2 pochodzi z dużego masywu granitowego w Tatrach zawierającego krystaliczny trzon wypiętrzony w miocenie [20]. Materiał wydobywany jest jako otoczaki granitowe z rzek i potoków górskich, a następnie kruszony. Próbka kwarcytu K1 to silnie zdiagenezowany kambryjski piaskowiec kwarcytowy z regionu Gór Świętokrzyskich [20].



Źródło: Ryc. 6–12 – opracowanie własne.

Ryc. 6. Lokalizacja miejsc poboru próbek do badań

2.2. Metodyka

Przed przystąpieniem do realizacji właściwego celu badawczego przeprowadzono analizę petrograficzną pobranych próbek. Badania wykonano używając mikroskopu stereoskopowego–Nikon SZM 460 oraz mikroskopu polaryzacyjnego Nikon Eclipse LV 100 POL. Dodatkowo próbka K1 została poddana obrazowaniu transmisyjnemu (TEM). Identyfikacja stopnia deformacji kryształów kwarcu obejmowała analizę jakościową (rozpoznanie różnych stopni deformacji kryształów kwarcu) oraz analizę ilościową (analiza planimetryczna w mikroobszarze). Pomiar planimetryczny wykonano przy użyciu okularu z krzyżem nici pajęczych o powiększeniu 10x, przy obiektywie o powiększeniu 10x i interwale 0,5 mm, dokonując minimum 2000 zliczeń na danym preparacie. Analiza planimetryczna była powtarzana 5 razy dla każdego preparatu, a jako wynik końcowy wyliczono średnią z 5 pomiarów. Łącznie badaniom poddano 20 preparatów mikroskopowych (po 4 preparaty z każdego surowca skalnego).

3. Charakterystyka petrograficzna materiału do badań

W tabeli 2 przedstawiono skład mineralny badanych próbek, a na rycinie 7 zamieszczono przykładowe mikrofotografie.

Tabela 2

Skład mineralny badanych próbek

Minerał	Granit – G1	Granit – G2	Granit – G3	Kwarcyt – K1	Gnejs – GN1
	zawartość minerału [% v/v]				
Kwarc	30,4	32,0	40,9	98,2	36,1
Skalenie potasowe	32,6	27,4	25,0	0,0	25,8
Plagioklasy	12,5	27,3	16,6	0,0	22,3
Biotyt	7,2	5,5	10,7	0,0	10,1
Muskowit	0,5	1,0	1,0	1,8	3,7
Chloryt	0,9	4,9	0,9	0,0	1,0
Przerosty pertytowe	14,6	0,0	3,2	0,0	0,0
Przerosty myrmekitowe	0,5	0,0	1,5	0,0	1,0
Klinozoisty	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Cyrkon	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Epidot	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Tytanit	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Minerały nieprzeźroczyste	0,2	0,8	0,2	0,0	0,0
Inne minerały trudne do identyfikacji	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0

Źródło: Opracowanie własne.

• Granit – G1

Granit biotytowy barwy jasnoszarej. Struktura równoziarnista, średniokrystaliczna (wielkość kryształów od 2 do 5 mm), miejscami w skale obserwuje się cechy struktury nierównoziarnistej – porfirowatej. Tekstura bezładna, zbita. W obrazie mikroskopowym skała wykazuje strukturę fanerytową, hipautomorficzno-ziarnistą. Skalenie mają kształt od automorficznego do hipautomorficznego, kryształy kwarcu ksenomorficzne wielkości od 0,1 do 3 mm, głównie o „gładkiej” powierzchni. W niewielkiej ilości występuje kwarc mikrokrystaliczny. Plagioklasy głównie o zbliżeniach polisyntetycznych, sporadycznie o budowie zonalnej. Skalenie potasowe oraz plagioklasy częściowo zmętniały i przeobrażone (najprawdopodobniej proces serycytyzacji). Biotyt uległ częściowo procesowi chlorytyzacji.

• Granit – G2

Granit biotytowy barwy jasnoszarej. Struktura równoziarnista, średnioziarnista (wielkość kryształów od 2 do 5 mm). Tekstura bezładna, zbita. W obrazie mi-

kroskopowym skała wykazuje strukturę fanerytową, hipautomorficzno-ziarnistą. Skalenie mają kształt od automorficznego do hipautomorficznego, kryształy kwarcu ksenomorficzne wielkości od 0,4 do 2 mm, głównie o „gładkiej” powierzchni. Plagioklasy głównie o zbliżeniach polisyntetycznych. Skalenie potasowe oraz plagioklasy częściowo zmętniałe i przeobrażone (najprawdopodobniej proces kaolinityzacji i serycytyzacji). Miejscami proces chlorytyzacji biotyту zaawansowany.

• Granit – G3

Granit biotytowy barwy jasnoszarej (z czarnymi punktami biotyту). Struktura równoziarnista, średnioziarnista (wielkość kryształów od 2 do 5 mm). Tekstura bezładna, zbita. W obrazie mikroskopowym skała wykazuje strukturę fanerytową, hipautomorficzno-ziarnistą. Skalenie mają kształt od automorficznego do hipautomorficznego, kryształy kwarcu ksenomorficzne wielkości od 0,1 do 2 mm, miejscami powierzchnia kwarcu jest delikatnie zmętniała. W niewielkiej ilości występuje kwarc mikrokrystaliczny. Plagioklasy głównie o zbliżeniach polisyntetycznych. Skalenie potasowe oraz plagioklasy częściowo zmętniałe i przeobrażone (najprawdopodobniej proces kaolinityzacji i serycytyzacji). Miejscami biotyt ulega procesowi chlorytyzacji.

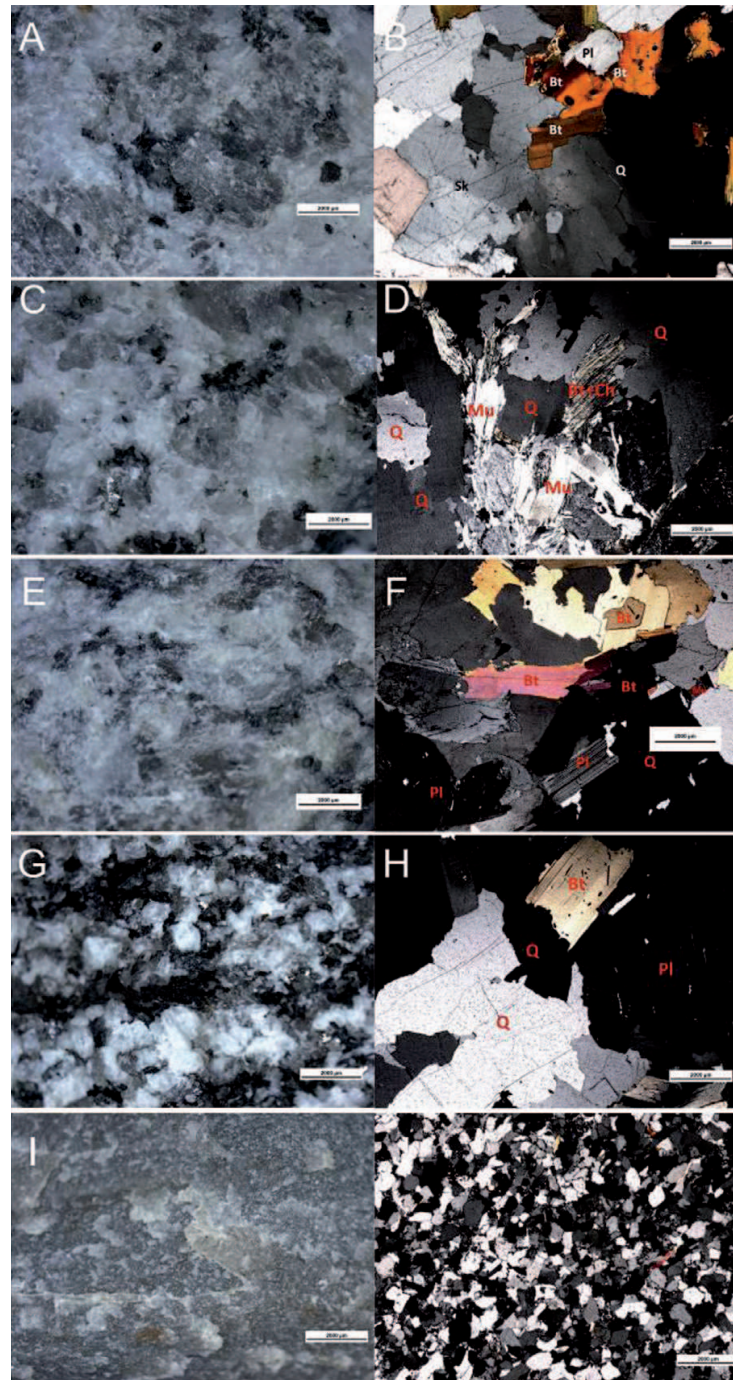
• Kwarcyt – K1

Skała barwy popielatoszarej o gładkim przełamie, twarda. Struktura miejscami zupełnie zlewna, a miejscami drobnokrystaliczna. Tekstura zbita, masywna. W obrazie mikroskopowym skała wykazuje typową strukturę granoblastyczną – mozaikową. Ziarna kwarcu o zbliżonej wielkości (średnio od 0,3 do 0,6 mm), kształt ziaren zarówno izometryczny, jak i wydłużony o zarysach poligonalnych. Miejscami kryształy kwarcu zmętniałe z obwódkami regeneracyjnymi.

• Gnejs – GN1

Skała barwy jasnoszaro-czarnej. Struktura średnioblastyczna, dominują blasty wielkości od 0,2 do 1 mm. Tekstura gnejsowa z charakterystyczną laminacją wydzieloną przez warstwy mikowe (ciemniejsze, cieńsze – miąższości ok. 1 mm) naprzemianległe z warstwami skalenioowo-kwarcowymi (jasne, grubsze – miąższości ok. 2–3 mm).

W obrazie mikroskopowym skała wykazuje strukturę lepidoblastyczną. Kryształy kwarcu wielkości od 0,2 do 2 mm o gładkiej powierzchni. W niewielkiej ilości występuje kwarc mikrokrystaliczny. Plagioklasy głównie o zbliżeniach polisyntetycznych, podrzędnie o budowie zonalnej. Skalenie potasowe oraz plagioklasy w niewielkim stopniu zmętniałe i przeobrażone (najprawdopodobniej proces kaolinityzacji i serycytyzacji). Plagioklasy silnie spękane.



Ryc. 7. Mikrofotografie badanych próbek:
 A–B próbka G1, C–D próbka G2, E–F próbka G3,
 G–H próbka GN1, I–J próbka K1. Po lewej zdjęcia z mikroskopu
 stereoskopowego, po prawej z mikroskopu polaryzacyjnego
 (Q – kwarc, Pl – plagioklasy, Mu – muskowit,
 Bt – biotyt, Ch – chloryt)

4. Wyniki badań i ich omówienie

Wyniki oznaczeń zawartości kwarcu o różnych stopniach zdeformowania struktury, dla próbek G1, G2, G3 i GN-1, przedstawiono w tabeli 3.

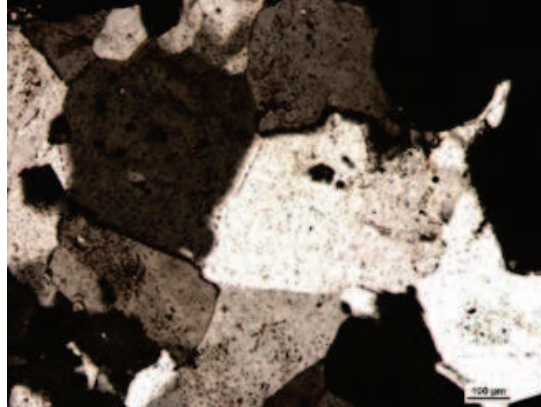
Tabela 3

Zawartość kwarcu o różnych stopniach zdeformowania struktury w badanych próbkach

Próbka	Inne składniki mineralne [% v/v]	Stopień deformacji kwarcu					
		stopień-0	stopień-1	stopień-2	stopień-3	stopień-4	mikrokrystaliczny kwarc
Zawartość kwarcu w odniesieniu do sumy wszystkich minerałów w danej próbce [% v/v]							
Granit – G1	69,6	3,6	9,6	5,2	9,1	2,1	0,8
Granit – G2	68,0	0,8	6,2	7,9	13,3	3,5	0,3
Granit – G3	59,1	7,2	15,4	7,3	8,1	1,7	1,2
Gnejs – GN1	63,9	1,3	18,9	8,2	6,0	1,4	0,3
Zawartość kwarcu w odniesieniu do jego całkowitej zawartości w danej próbce [% v/v]							
Granit – G1		11,8	31,6	17,1	29,9	6,9	2,6
Granit – G2		2,5	19,4	24,7	41,6	10,9	0,9
Granit – G3		17,6	37,7	17,8	19,8	4,2	2,9
Gnejs – GN1		3,6	52,4	22,7	16,6	3,9	0,8

Źródło: Opracowanie własne.

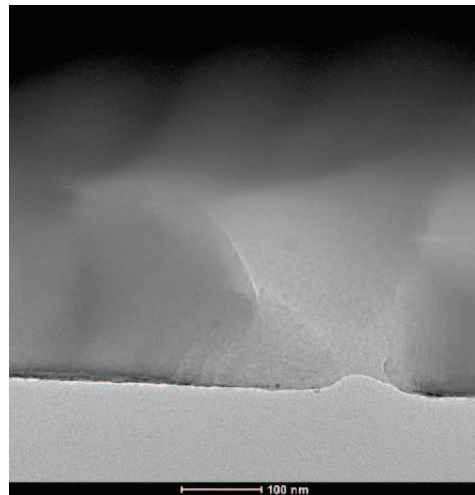
Próbka K1 została przebadana tylko w zakresie jakościowym w związku z rodzajem jej struktury – struktura mozaikowa, która uniemożliwiła prawidłowe przeprowadzenie analizy ilościowej. Kwarc budujący strukturę mozaikową próbki K1 to w większości kwarc rekryształiczny, który w obserwacjach mikroskopowych przy użyciu mikroskopu optycznego nie wykazuje innych anomalii optycznych poza umiarkowanym falistym wygaszaniem światła (1-stopień deformacji wg Tiecher i in. [5]). Niemniej, biorąc pod uwagę fakt, że kwarcyt zaliczany jest do utworów mogących zawierać reaktywne formy krzemionki [2, 21] postanowiono przeprowadzić bardziej szczegółowe badania, które dostarczyły dodatkowych informacji w zakresie zaburzeń kryształów kwarcu budujących próbkę K1. Badanie mikroskopowe (mikroskop polaryzacyjny) przy większym powiększeniu (powiększenie 500x) wykazało, że granice ziaren kwarcu tworzące strukturę mozaikową próbki migrują (ryc. 8), natomiast w obrazowaniu transmisyjnym (TEM) na granicach ziaren kwarcu zaobserwowano zaburzenia – najprawdopodobniej linie dyslokacji (ryc. 9). Dodatkowo, obserwację TEM wykazały, że w kryształach występują inkluzje (ryc. 10). Jak podaje Broekmans [4], występowanie inkluzji i innych chemicznych zanieczyszczeń w kryształach kwarcu wiązane jest z dyslokacjami, strukturalnymi nieregularnościami w sieci krystalicznej.



Ryc. 8. Próbką K1 – migracja granic ziaren.
Mikroskop polaryzacyjny (polaryzatory skrzyżowane – XPL)



Ryc. 9. Próbką K1 – zaburzenia
na granicy ziaren. Obrazowanie
transmisyjne (TEM)



Ryc. 10. Próbką K1 – inkluzja.
Obrazowanie transmisyjne (TEM)

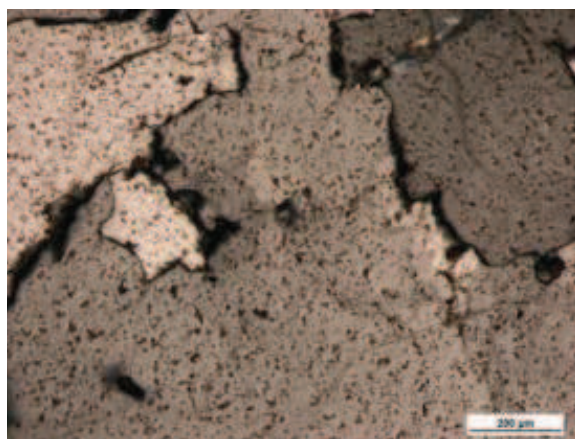
W próbkach G1, G2, G3 i GN1 zidentyfikowano wszystkie wyróżnione [5] stopnie deformacji kwarcu oraz zaobserwowano różne mechanizmy procesu rekrystalizacji. We wszystkich próbkach, poza G2, dominuje kwarc wykazujący umiarkowane faliste wygaszanie światła (1-stopień deformacji wg Tiecher i in. [5]). Szczególną uwagę zwraca duża zawartość kwarcu pozbawionego deformacji (0-stopień deformacji wg Tiecher i in. [5]) w próbce G3, w stosunku do pozostałych próbek. Jak już wspomniano wcześniej, kruszywa zawierające głównie kwarc z pasmami deformacji (2-stopień deformacji wg Tiecher i in. [5]) powodują większą ekspansję zapraw w wyniku reakcji alkalia–krzemionka [5–6]. W związku z powyższym, analizując wyniki zawarte w tabeli 3, można przypuszczać, że wzrost podatność na reakcję ASR badanych próbek będzie kształtować się następująco: G1, G3, G2, GN1. W celu potwierdzenia powyższego przypuszczenia konieczne jest przeprowadzenie badań laboratoryjnych na zaprawach i betonach, co będzie przedmiotem dalszych prac w tym temacie.

Kryształy kwarcu w próbce G1 w porównaniu do pozostałych próbek można ocenić jako umiarkowanie zdeformowane. W próbce zaobserwowano mechanizm rekrytalizacji poprzez migrację granic ziaren (ryc. 11). Powstające w wyniku rekrytalizacji ziarna wykazują umiarkowane faliste wygaszanie światła. Zidentyfikowane subziarna (3-stopień deformacji wg Tiecher i in. [5]) mają wyraźnie wydłużony kształt i miejscami łączą się boczenie z pasmami deformacji. Zaobserwowany kwarc mikrokrystaliczny identyfikowany jest z początkującym procesem rekrytalizacji poprzez mechanizm wpuklania do ziarna o większej gęstości dyslokacji.

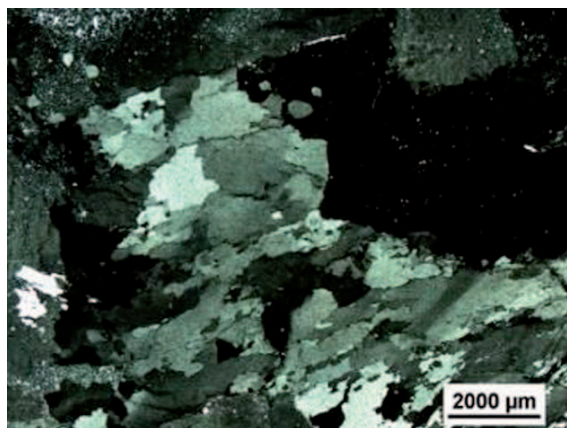
Kryształy kwarcu w próbce G2 są najbardziej zdeformowane spośród badanych próbek. W skale zaobserwowano polikrystaliczny kwarc powstały w wyniku mechanizmu rekrytalizacji polegającej na rotacji subziaren (ryc. 12). Subziarna są silnie wydłużone o zmiennej wielkości, kontakt pomiędzy subziarnami jest ząbkowy.

Kryształy kwarcu w próbce G3 są najmniej zdeformowane spośród badanych próbek. W próbce G3 zaobserwowano mechanizm rekrytalizacji poprzez migrację granic ziaren, ale nie jest on tak intensywny jak w próbce G1. Zidentyfikowane subziarna (3-stopień deformacji wg Tiecher i in. [5]) mają przeważnie izometryczny kształt, tworząc szachownicę. Kwarc mikrokrystaliczny identyfikowany jest z początkującym procesem rekrytalizacji poprzez mechanizm wpuklania do ziarna o większej gęstości dyslokacji.

Kryształy kwarcu w próbce GN1 są nieco bardziej zdeformowane niż kryształy kwarcu w próbce G1. W próbce GN1 najsilniej, spośród badanych próbek, zaznacza się mechanizm rekrytalizacji poprzez migrację granicy ziarna. Powstające w wyniku mechanizmu nowe ziarna kwarcu rekrytalicznego w większości wykazują umiarkowane faliste wygaszanie, stąd w próbce tak duża zawartość kwarcu 1-stopnia deformacji wg Tiecher i in. [5]. Identyfikowane subziarna (3-stopień deformacji wg Tiecher i in. [5]) mają izometryczny kształt i miejscami łączą się boczenie z pasmami deformacji.



Ryc. 11. Próbkę G1 – migracja granic ziaren. Mikroskop polaryzacyjny (polaryzatory skrzyżowane – XPL)



Ryc. 12. Próbką G2 – rotacja subziaren.
Mikroskop polaryzacyjny (polaryzatory
skrzyżowane – XPL)

5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, że zidentyfikowany w próbkach kwarc w stanie naprężeń, czyli kwarc o zdeformowanej (odkształconej) strukturze sieci krystalicznej, ma różny stopień deformacji. We wszystkich próbkach, poza K1, zidentyfikowano kolejne stopnie deformacji, kwarcu wg klasyfikacji zaproponowanej przez Tiecher i in. [5]. Z literatury światowej wynika, że surowce skalne, zawierające głównie kwarc z pasmami deformacji, w badaniach reaktywności alkalicznej kruszyw metodami przyśpieszonymi na zaprawach wykazują największą ekspansję [5–6]. W związku z powyższym, analizując wyniki oznaczeń zawartości kwarcu o różnych stopniach zdeformowania struktury w badanych próbkach, można przypuszczać, że ich podatność na reaktywność alkaliczną będzie wzrastać następująco: G1, G3, G2, GN1.

W przypadku próbki K1 dopiero szczegółowe badania mikroskopowe uwiarydliły inne cechy deformacyjne i mikrostrukturalne kryształów kwarcu poza kwarcem faliście wygaszającym światło (1-stopień deformacji wg Tiecher i in. [5]). Wynika z tego, że w niektórych przypadkach poprawna identyfikacja deformacji kwarcu wymaga przeprowadzenia dodatkowych badań. Identyfikując kwarc o zaburzonej strukturze, należy uwzględnić budowę geologiczną obszaru skąd pochodzi surowiec oraz jego skład mineralogiczny. Obserwowane przerosty mineralne, budowa plagioklazów oraz wtórne przeobrażenia świadczą o szczególnych warunkach i procesach petrogenetycznych, którym poddawany był ośrodek skalny i które częściowo miały wpływ na odkształcenia strukturalne kryształów kwarcu [11, 22]*.

* Praca sfinansowana ze środków na realizację badań naukowych lub prac rozwojowych oraz zadań z nimi związanych służących rozwojowi młodych naukowców w roku 2018. Nr grantu 3NM01B18.

Pragnę podziękować Panu Kamilowi Sobaczak z Laboratorium Mikroskopii i Spektroskopii Elektronowej Uniwersytetu Warszawskiego za wykonanie obrazowania transmisyjnego (TEM) i pomoc w interpretacji identyfikowanych zaburzeń.

Literatura

- [1] Kurdowski W., *Chemia cementu i betonu*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
- [2] Nixon P.J., Sims I. (eds.), *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*, Springer Netherlands, b.m. 2016.
- [3] Owsiak Z., *Korozja wewnętrzna betonu*, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2015.
- [4] Broekmans M.A.T.M., *Structural properties of quartz and their potential role for ASR*, „Materials Characterization” 2004, Vol. 53, No. 2/4, s. 129–140.
- [5] Tiecher F., Gomes M.E.B., Molin D.C.C., Hasparyk N.P., Monteiro P.J.M., *Relationship between Degree of Deformation in Quartz and Silica Dissolution for the Development of Alkali-Silica Reaction in Concrete*, „Materials” 2017, Vol. 10, No. 9, s. 1022.
- [6] Tiecher F., Florindo R.N., Vieira G.L., Gomes M.E.B., Molin D.C.C.D., Lermen R.T., *Influence of Quartz Deformation Structures for Occurrence of the Alkali-Silica Reaction*, „Materials” 2018, Vol. 11, s. 1692.
- [7] Šachlová S., *Microstructure parameters affecting alkali-silica reactivity of aggregates*, „Construction and Building Materials” 2013, Vol. 49, s. 604–610.
- [8] Wenk H.-R., Monteiro P.J.M., Shomglin K., *Relationship between aggregate microstructure and mortar expansion: A case study of deformed granitic rocks from the Santa Rosa mylonite zone*, „Journal Material of Science” 2008, Vol. 23, s. 1278–1285.
- [9] Kerrick D.M., Hooton R.D., *ASR of concrete aggregates quarried from a fault zone: result and petrographic interpretation of accelerated mortar bar tests*, „Cement and Concrete Research” 1992, Vol. 22, No. 5, s. 949–960.
- [10] Wigum B.J., *Examination of microstructural features of Norwegian cataclastic rocks and their use for predicting alkali-reactivity in concrete*, „Engineering Geology” 1995, Vol. 40, No. 3/4, s. 195–214.
- [11] Borkowski M., Sumlikowski K., *Minerały skałotwórcze*, Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1973.
- [12] Kosina R., *Pytania o kwarc deformacyjny i szokowy*, „Rocznik Polskiego Towarzystwa Meteorologicznego” 2014, Vol. 5, s. 52–71.
- [13] DeHills M.S., Corvalán J., *Undulatory extinction in quartz grains of some Chilean granitic rocks of different ages*, „Geological Society of America Bulletin” 1964, Vol. 75, No. 4, s. 363–366.
- [14] Dolar-Mantuan L.M.M., *Undulatory extinction in quartz used for identifying potentially alkali-reactive rocks*, [w:] *Proceedings of the 5 Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Cape Town, South Africa*, Pretoria: National Building Research Institute, Council for Scientific and Industrial Research, Toronto 1981, s. 1–6.
- [15] Nazemiec Z., Garbacz A., Adamski G., *Reaktywność alkaliczna krajowych kruszyw*, [w:] *Kruszywa mineralne*, [red. nauk. W. Glapa], t. 1, Wrocław 2017, s. 123–132.
- [16] Nazemiec Z., Pabiś-Mazgaj E., *Wstępna ocena reaktywności alkalicznej kruszyw łamanych ze złóż polodowcowych rejonu północnej Polski*, „Drogi i Mosty” 2017, nr. 3, s. 203–222.

- [17] N a z i e m i e c Z., *Reaktywność alkaliczno-krzemionkowa kruszyw żwirowych i łamanych*, „Surowce i Maszyny Budowlane” 2017, nr 2/3, s. 42–46.
- [18] J ó ź w i a k – N i e d ź w i e d z k a D., G i b a s K., G l i n i c k i M.A., *Petrograficzna identyfikacja kruszyw podatnych na wystąpienie reakcji alkalicznej w betonie*, „Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych” 2017, nr 31, s. 68–78.
- [19] N a w r o c k i J., B e c k e r A., *Atlas geologiczny Polski*, Państwowy Instytut Geologiczny, Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2017.
- [20] N e y a R., *Surowce mineralne Polski. Kamienie budowlane i drogowe*, Wydawnictwo Instytutu GSMiE PAN, Kraków 2002.
- [21] ASTM C295/C295M-18a – Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.
- [22] M a n e c k i A., M u s z y ń s k i M., *Przewodnik do petrografii*, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 2008.

EWELINA PABIŚ-MAZGAJ

ASSESSMENT OF THE DEFORMATION DEGREE IN QUARTZ
FROM PARTICULAR ROCKS BEING USED AS CRUSHED
AGGREGATES FOR CONCRETE IN POLAND

Keywords: quartz, strained quartz, undulose extinction, alkali-silica reaction, ASR.

The aim of the research was to determine the deformation degree in quartz from particular rocks, which are being applied as crushed aggregates for concrete in Poland. Quartz with deformed structure, that is strained quartz, is determined as constituent which can cause nocuous alkali-silica reaction (ASR) in concrete [3].

Assessment of the susceptibility to alkali-silica reaction of quartz is crucial in the selection of the aggregates for concrete. In order to assess the deformation degree in quartz the optical microscopic analysis in transmitted light was conducted. The study involved the rock samples for crushed aggregate for concrete from 5 different quarries. In case of the one of the samples, the TEM analysis was applied. Examination under the microscope was applied to identify optical anomaly and microstructures related to particular deformation degrees of quartz determined according to the classification contained in the article by Tiecher et al. [4]. The results have indicated that in every sample, except for the K1 sample, the quartz crystals with different deformation degrees were identified. Quantity of the quartz grains featuring different degree of deformation varies in particular samples. That can affect their susceptibility to alkali-silica reaction.