



Piotr WYSZOMIRSKI*, Sebastian PRZYTUŁA**

Charakterystyka surowcowa kruszywa dolomitowego na przykładzie kopaliny z Libiąża (region śląsko-krakowski)

Streszczenie: Badania składu chemicznego i mineralnego wykazały, że w analizowanych próbkach skał ze złoża Libiąż – obok dominującego dolomitu – występują zmienne ilości kalcytu. Są one najmniejsze, niemal śladowe, w dolomicie diploporowym i wyraźnie większe w dolomicie kruszonośnym. Obie te odmiany reprezentują dolomity sparytowe o teksturze porowatej i bezładnej. Dolomit diploporowy jest zbudowany z ksenomorficznych, rzadziej hipautomorficznych kryształów dolomitu. Z drugiej strony dwie generacje dolomitu występują w dolomicie kruszonośnym: pierwsza – reprezentowana przez kryształy automorficzne i druga – przez kryształy ksenomorficzne. Na podstawie automatycznej analizy obrazu mikroskopowego badanych próbek stwierdzono, że wyraźnie mniejszą – w porównaniu z dolomitami diploporowymi – porowatością całkowitą charakteryzuje się dolomit kruszonośny.

Parametry fizyczno-mechaniczne dolomitów kruszonośnych – takie jak: wytrzymałość na ściskanie, gęstość pozorną, nasiąkliwość, porowatość całkowita, mrozoodporność – są korzystniejsze w porównaniu z dolomitami diploporowymi. Przemawia to za stosowaniem dolomitów kruszonośnych ze złoża Libiąż do produkcji kruszyw łamanych do betonu. Ponadto, takie ich wykorzystanie jest uzasadnione tym, że odmiana ta nie może być – w przeciwieństwie do dolomitów diploporowych – używana do produkcji elementów kamiennych ze względu na niejednorodną barwę i często zbyt cienkie uławiczenie w złożu.

Słowa kluczowe: dolomit diploporowy, dolomit kruszonośny, Libiąż, kruszywo łamane do betonu

Raw mineral characteristics of dolostone aggregates: an example of the rock from Libiąż (Cracow-Silesian region)

Abstract: Investigations of chemical and mineralogical composition have pointed out that in analysed rock samples of Libiąż deposit – apart from dominant dolomite – occur changeable amounts of calcite. These amounts are the smallest, nearly vestigial, in *Diplopora* dolostones and remarkable greater in ore-bearing ones. Both the varieties of dolostone are represented by sparitic dolostones of porous and random texture. *Diplopora* dolostone is formed by xenomorphic, rarely hipautomorphic crystals of dolomite. On the other hand, two

* Dr hab. inż., prof. AGH, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków; e-mail: pwysz@agh.edu.pl.

** Mgr inż., Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.

generations of dolomite occur in ore-bearing dolostones: the first – represented by automorphic crystals, and the second – by xenomorphic ones. On the basis of automatic analysis of microscopic images of samples studied it has been stated that distinctly smaller – in comparison to *Diplopora* dolostones – total porosity is typical of ore-bearing dolostones.

Physico-mechanical parameters of ore-bearing dolostones – such as: compressive strength, apparent density, water absorption, total porosity, freeze resistance – are more favorable in comparison to *Diplopora* dolostones. It supports applying ore-bearing dolostones of Libiąż deposit for the production of crushed aggregates for concrete. Moreover, it is justified by the fact that ore-bearing dolostones – contrary to *Diplopora* ones – cannot be used as facing stone elements because of diversified color and often very thin bedding in deposit.

Key words: *Diplopora* dolostone, ore-bearing dolostone, Libiąż, crushed aggregates for concrete

Wprowadzenie

Dolomity są szeroko stosowane w wielu dziedzinach przemysłu, ponieważ stanowią typową kopalinę wielosurowcową. W zależności od właściwości wykorzystywane są one m.in. do celów hutniczych (topnik, materiały ogniotrwałe), nawozowych, w przemyśle chemicznym (produkcja magnezu), ceramicznym i szklarskim. Ze względu na swoje właściwości mechaniczne oraz odporność na działanie warunków środowiskowych znajdują szerokie zastosowanie w budownictwie. Dolomit jako materiał budowlany jest wykorzystywany w postaci ciosów, płyt, detali architektonicznych w tym elementów fasadowych, oraz kamienia łamanego; ponadto stosuje się kruszywa dolomitowe w drogownictwie, kolejnictwie i jako składnik betonów (Smakowski, Galos 2007; Galos 2009). Kruszywa dolomitowe mogą być produkowane jako kruszywa łamane zwykle na drodze jednokrotnego kruszenia tych skał lub jako kruszywa łamane granulowane wytwarzane przez co najmniej dwukrotne kruszenie surowca (Małolepszy, Deja 2000). W ocenie ich przydatności brane są pod uwagę na ogół takie parametry techniczne jak wytrzymałość na ściskanie, gęstość pozorna, porowatość, nasiąkliwość, mrozoodporność, a także ścieralność określana najczęściej metodą bębna Los Angeles lub bębna Devala. Aktualnie zwraca się coraz większą uwagę na skład chemiczny i mineralny dolomitów do produkcji kruszyw, co znajduje swoje odzwierciedlenie m.in. w opracowanej kilka lat temu normie PN-EN 12407:2001 pt. „Metody badań kamienia naturalnego. Badania petrograficzne”. W normie tej zalecane jest wykonanie nie tylko badań mikroskopowych płytek cienkich lub zglądów polerowanych ale też przeprowadzenie bardziej szczegółowych badań, takich jak: analiza chemiczna, rentgenowska analiza fazowa i inne analizy przy użyciu metod instrumentalnych w przypadku, gdy podstawowy opis petrograficzny jest niewystarczający.

1. Materiał próbkowy

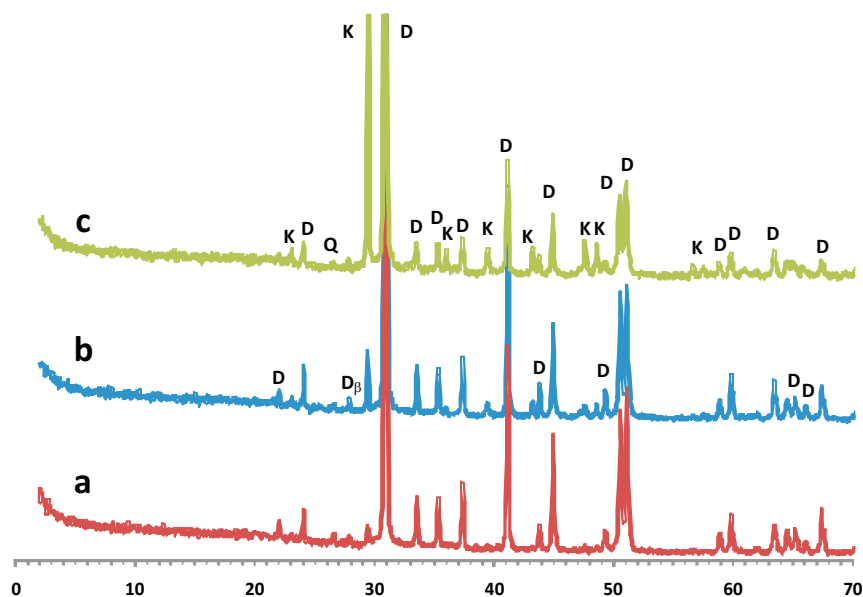
Przedmiotem badań były reprezentatywne próbki dolomitów triasowych, występujących w regionie śląsko-krakowskim. Zostały one pobrane w kamieniołomie Libiąż, który jest czynny w obrębie złoża o tej samej nazwie. Kopaliną w złożu Libiąż są zalegające w górnej jego części dolomity diploporowe (stąd pochodziła próbka 1102), zaś w głębiej położonej części – dolomity kruszczośne (próbka 1103). Granica między tymi dwiema odmianami jest jednak często nieregularna. W obrębie dolomitu diploporowego wydobywanego z gór-

nego poziomu eksploatacyjnego występują niekiedy wkładki dolomitu kruszonośnego, którego próbkę o symbolu 1101 przeznaczono też do badań.

2. Charakterystyka składu mineralnego i chemicznego

2.1. Dolomity diploporowe

Dolomity diploporowe wyróżniają się barwą jasnoszarożółtą. Analiza mikroskopowa badanej skały (próbka 1102) w świetle przechodzącym wskazuje, że jest to dolomit sparytowy o teksturze porowatej i bezładnej. Skała zbudowana jest z ksenomorficznych, rzadziej hipautomorficznych kryształów dolomitu o wielkości rzędu 0,03–0,1 mm. Kryształy dolomitu, zawierające stosunkowo nieliczne mikrowrostki substancji nieprzezroczystej, tworzą strukturę mozaikową. Pomiedzy nimi niekiedy występują nieregularne pory (o średnicy 0,1–0,5 mm), które są ograniczone ścianami kryształów dolomitu. Większość z nich jest całkowicie wypełniona dużymi (0,05–0,1 mm), hipautomorficznymi kryształami dolomitu tworzącego cement druzowy. Niewielka część tego typu przestrzeni jest niezabudowana, co ujawniają obserwacje preparatów nasyconych barwną żywicą epoksydową. Analiza rentgenograficzna opisywanej próbki (rys. 1) ujawnia ponadto występowanie – obok dominują-



Rys. 1. Dyfraktogramy rentgenowskie kopaliny dolomitowej z Libiąża:
a – dolomit diploporowy (próbka 1102), b – dolomit kruszonośny (próbka 1101), c – dolomit kruszonośny (próbka 1103); Symbole: D – dolomit, K – kalcyt, Q – kwarc, β – refleks β

Fig. 1. X-ray patterns of dolomite rock from Libiąż deposit:
a – *Diplopora* dolostone (sample 1102), b – ore-bearing dolostone (sample 1101), c – ore-bearing dolostone (sample 1103); Symbols: D – dolomite, K – calcite, Q – quartz, β – β reflex

cego dolomitu – śladowych ilości kalcytu i kwarcu. Świadczy o tym obecność na dyfraktoqramie bardzo słabych, charakterystycznych refleksów tych faz o wartościach odpowiednio 3,04 Å i 3,34 Å. Na tej podstawie można sądzić, że ich udział w opisywanej próbce nieznacznie tylko przekracza wartości progowe rentgenograficznej wykrywalności tych faz, które w obu przypadkach wynoszą 0,5% mas. (Pawloski 1985).

Analiza mikroskopowa płytek cienkich w świetle przechodzącym, a zwłaszcza tradycyjne metody interpretacji struktury i tekstury niektórych surowców mineralnych, zostały w ostatnich latach poszerzone o elementy komputerowego przetwarzania i automatycznej analizy obrazu (Młynarczuk, Ratajczak, Szydłak 2005). Jest to związane z rozwojem informatyki, a w szczególności ze znacznym wzrostem mocy obliczeniowej sprzętu komputerowego. Automatyczna analiza obrazu stwarza możliwość interpretacji mikrofotografii zarejestrowanych w systemie cyfrowym, co pozwala m.in. na dokonanie oceny porowatości badanej skały. W związku z tym część płytek cienkich do badań mikroskopowych w świetle przechodzącym zaimpregnowano w warunkach podwyższonego ciśnienia żywicą araldytową zabarwioną barwnikiem niebieskim. Tak wykonane preparaty zachowują niezmienną strukturę i teksturę skały, a niebieski barwnik w wyraźny sposób uwypukla przestrzeń porową. Do analizy obrazów cyfrowych wykorzystano program ImageJ 1.43s (<http://rsbweb.nih.gov/ij/>), za pomocą którego analizowano mikrofotografie wykonane przy jednym polaroidzie oraz przy skrzyżowanych polaroidach.

Porowatość całkowita badanego dolomitu diploporowego ze złoża Libiąż (próbka 1102), określona na podstawie automatycznej analizy obrazu zarejestrowanego na 25 mikrofotografiach, wynosi $(5,12 \pm 2,13)\%$.

Dolomit diploporowy charakteryzuje się stosunkowo wysokim stopniem czystości chemicznej (tab. 1). Jego wskaźnik dolomityczności MgO/CaO wynosi 0,6, co stanowi wartość

TABELA 1. Analizy chemiczne dolomitów ze złoża Libiąż

TABLE 1. Chemical analyses of dolostones of Libiąż deposit

| Składnik | Dolomit diploporowy (próbka 1102) | Dolomit kruszczośny (próbka 1101) | Dolomit kruszczośny (próbka 1103) |
|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | % mas. | | |
| SiO ₂ | 0,37 | 0,98 | 0,96 |
| Al ₂ O ₃ | 0,19 | 0,12 | 0,12 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,21 | 0,45 | 3,03 |
| CaO | 31,86 | 31,98 | 35,50 |
| MgO | 21,18 | 18,04 | 15,42 |
| MnO | 0,02 | 0,04 | 0,42 |
| TiO ₂ | 0,007 | 0,007 | < 0,005 |
| Na ₂ O | 0,07 | < 0,01 | 0,06 |
| K ₂ O | 0,04 | < 0,01 | 0,02 |
| P ₂ O ₅ | < 0,01 | 0,02 | < 0,01 |
| Strata prażenia | 47,06 | 46,53 | 45,20 |
| Suma | 101,01 | 98,18 | 98,74 |

niewiele mniejszą w porównaniu z teoretycznie czystym dolomitem (0,72). Wskazuje to na występowanie podrzędnej jedynie ilości kalcytu i potwierdza wyniki analizy rentgenograficznej (rys. 1a). Badana próbka dolomitu diploporowego jest też na ogół uboga w pierwiastki podrzędne i śladowe (tab. 2), co zauważa się np. w odniesieniu do Pb i Ba, a zwłaszcza Sr. Udział tego ostatniego pierwiastka jest wyraźnie mniejszy w porównaniu z przedziałem jego średniej zawartości w dolomitach i wapieniach, podanym przez Kabatę-Pendias i Pendiasa (1993). Z drugiej natomiast strony w omawianym dolomicie diploporowym obserwuje się wyraźnie podwyższoną zawartość Zn w porównaniu z podaną przez tych autorów, co niewątpliwie wiąże się z szeroko opisywanymi w literaturze geologicznej procesami dolomityzacji węglanowych skał triasowych regionu śląsko-krakowskiego.

2.2. Dolomity kruszconośne

Próbka 1101 dolomitu kruszconośnego ze złoża Libiąż reprezentuje odmianę dolomitu drobnosparytowego o teksturze porowatej i bezładnej. Skała zbudowana jest z dwóch generacji kryształów dolomitu z domieszką wodorotlenków żelaza. Pierwszą generację tworzą automorficzne, romboedryczne kryształy o wielkości 0,01–0,05 mm. Kryształy tego typu wykazują zazwyczaj budowę zonalną. Ich wnętrze zawiera znaczną ilość kryptokrystalicznych wodorotlenków żelaza, niekiedy całkowicie wypełniających środek romboedru. Na zewnątrz zaznacza się wyraźna obwódka czystego, pozbawionego wrostków dolomitu. Drugą generację stanowi czysty, pozbawiony rdzawych wrostków dolomit, którego ksenomorficzne kryształy osiągają rozmiary do 0,06 mm wypełniając wolną przestrzeń pomiędzy romboedrami pierwszej generacji. W węglanowym tle nieregularnie rozproszone są niewielkie (do 0,1 mm) skupienia kryptokrystalicznych wodorotlenków żelaza oblepiających powierzchnię romboedrów dolomitu. Analiza rentgenograficzna ujawnia ponadto występowanie podrzędnej ilości kalcytu, o obecności którego świadczy refleks 3,04 Å.

Obserwacje preparatów nasyconych barwną żywicą epoksydową ujawniają obecność znacznej ilości nieregularnych mikroporów o wielkości 0,01–0,1 mm i nieregularnych kształtach ograniczonych krawędziami kryształów dolomitu. Porowatość całkowita, określona przy użyciu programu ImageJ wykorzystanego do obróbki obrazu zarejestrowanego na 25 mikrofotografiach, wynosi $(2,34 \pm 1,15)\%$.

W opisywanej próbce dolomitu kruszconośnego stanowiącej wkładkę w dolomicie diploporowym zaznacza się wyraźny mniejszy udział MgO w porównaniu z jego zawartością w teoretycznie czystym dolomicie (tab. 1). W tym przypadku wskaźnik dolomityczności MgO/CaO wynosi 0,56, co wiąże się z rentgenograficznie stwierdzoną obecnością kalcytu. W odniesieniu do pierwiastków podrzędnych i śladowych zwraca uwagę wzrost zawartości Fe_2O_3 (tab. 1) i Zn (tab. 2) w porównaniu z występującym w sąsiedztwie dolomitem diploporowym. W przeciwieństwie do tego nie zaobserwowano zmian koncentracji Pb.

Próbkę 1103 dolomitu kruszconośnego ze złoża „Libiąż” stanowi dolomit żelazisty, sparytowy, o teksturze porowatej i bezładnej. Żelazisty charakter tej próbki został potwierdzony analizą chemiczną, która wykazała zawartość Fe_2O_3 w ilości przekraczającej 3% mas. (tab. 1). Opisywana skała jest zbudowana z dwóch generacji kryształów dolomitu. Pierwszą z nich tworzą automorficzne zazwyczaj romboedry dolomitu o budowie zonalnej i wielkości

TABELA 2. Pierwiastki podrzędne i śladowe w dolomitach ze złoża Libiąż

TABLE 2. Minor and trace elements in dolostones from Libiąż deposit

| Składnik | Liczba atomowa pierwiastka | Dolomit diploporowy (próbka 1102) | Dolomit kruszczośny (próbka 1101) | Dolomit kruszczośny (próbka 1103) | Przedział zawartości w wapieniach i dolomitach (Kabata-Pendias, Pendias 1993) |
|------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| | | [ppm] | | | |
| Be | 4 | < 1 | < 1 | < 1 | 0,2–2 |
| S [% mas.] | 16 | 0,018 | 0,011 | 0,09 | 0,12 |
| Sc | 21 | 0,2 | 0,2 | < 0,1 | 0,5–1,5 |
| V | 23 | < 5 | 8 | < 5 | 10–45 |
| Cr | 24 | 2 | 2 | 1 | 5–16 |
| Co | 27 | < 1 | < 1 | < 1 | 0,1–3 |
| Ni | 28 | < 1 | 3 | 2 | 7–20 |
| Cu | 29 | 1 | < 1 | < 1 | 2–10 |
| Zn | 30 | 91 | 144 | 534 | 10–25 |
| As | 33 | < 2 | 6 | < 2 | 1–2,4 |
| Se | 34 | < 3 | < 3 | < 3 | 0,03–0,1 |
| Br | 35 | 3 | 2 | 3 | 6 |
| Rb | 37 | < 20 | < 20 | < 20 | 5–30 |
| Sr | 38 | 54 | 48 | 37 | 450–600 |
| Y | 39 | 4 | 1 | 2 | 4–30 |
| Zr | 40 | 5 | 7 | 4 | 20 |
| Mo | 42 | < 2 | < 2 | < 2 | 0,14–0,4 |
| Ag | 47 | < 2 | < 2 | < 2 | 0,14–0,4 |
| Cd | 48 | < 0,5 | 0,5 | 1,2 | 0,035 |
| Sb | 51 | < 0,2 | < 0,2 | < 0,2 | 0,03 |
| Cs | 55 | < 0,5 | < 0,5 | < 0,5 | 0,5–2 |
| Ba | 56 | 11 | 16 | 127 | 50–200 |
| La | 57 | 0,9 | 0,7 | 0,4 | 4–10 |
| Ce | 58 | < 3 | 3 | < 3 | 7–20 |
| Nd | 60 | < 5 | 5 | < 5 | 4,7–9 |
| Sm | 62 | 0,1 | 0,1 | < 0,1 | 1,3–2,1 |
| Eu | 63 | < 0,5 | < 0,1 | < 0,1 | 0,2–0,4 |
| Tb | 65 | < 0,5 | < 0,1 | < 0,1 | 0,2–0,4 |
| Yb | 70 | < 0,5 | < 0,1 | < 0,1 | 0,3–1,6 |
| Lu | 71 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | 0,2 |
| Hf | 72 | < 0,5 | < 0,5 | < 0,5 | 0,3 |
| Ta | 73 | < 1 | < 1 | < 1 | 0,05 |
| W | 74 | < 3 | < 3 | < 3 | 0,4–0,6 |
| Ir [ppb] | 77 | < 5 | < 5 | < 5 | brak danych |
| Au [ppb] | 79 | < 5 | < 5 | < 5 | 0,002–0,006 |
| Hg | 80 | < 1 | < 1 | < 1 | 0,04–0,05 |
| Pb | 82 | 7 | < 5 | 48 | 3–10 |
| Bi | 83 | < 2 | < 2 | < 2 | 0,1–0,2 |
| Th | 90 | < 0,5 | < 0,5 | < 0,5 | 1,7–2,9 |
| U | 92 | 1,6 | 1,8 | 1,4 | 2,2–2,5 |

0,06–0,2 mm. Ich wnętrze wypełnia mieszanina brunatnych, kryptokrystalicznych wodorotlenków żelaza oraz drobnokrystalicznej substancji węglanowej. W niektórych przypadkach wodorotlenki żelaza całkowicie wypełniają wnętrze romboedrów. Tylko cienka, zewnętrzna ich część zbudowana jest z czystego dolomitu. Przestrzeń między romboedrami wypełniają skupienia słabo przeświecających wodorotlenków żelaza oraz druga generacja dolomitu reprezentowana przez pozbawione wrostków, ksenomorficzne kryształy, których kształt ogranicza romboedry dolomitu pierwszej generacji. W obrębie dolomitu występuje też kalcyt, na którego obecność wskazuje zarówno analiza rentgenograficzna (rys. 1c) jak i wyznaczony na podstawie analizy chemicznej (tab. 1) wskaźnik dolomityczności ($MgO/CaO = 0,43$).

Skała zawiera liczne kawerny o nieregularnym kształcie (o wielkości od 1 do kilkadziesiąt mm) wypełnione grubosparytowym dolomitem, którego duże kryształy osiągają wielkość do 1 mm. Obserwacje preparatów nasyconych barwną żywicą epoksydową ujawniają obecność niewielkich (ok. 0,1 mm), nieregularnych pustych przestrzeni ograniczonych krawędziami kryształów dolomitu. Pory tego typu spotyka się zwykle w strefach o podwyższonej koncentracji wodorotlenków żelaza. Porowatość całkowita opisywanej próbki dolomitu kruszczonego, określona na podstawie automatycznej analizy obrazu zarejestrowanego na 25 mikrofotografiach, wynosi $(3,35 \pm 1,91)\%$ (tab. 3).

TABELA 3. Podstawowe właściwości fizyczno-mechaniczne dolomitów ze złoża Libiąż

TABLE 3. Essential physical and mechanical properties of dolostones from Libiąż deposit

| Parametr | Dolomit diploporowy | | Dolomit kruszczoneśny | |
|--------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|-----------------------|-------------|
| | próbka 1102 | wartości średnie wg Bromowicza (2001) | próbka 1101 | próbka 1103 |
| Wytrzymałość na ściskanie [MPa] | 111±4,5 | 102,8 | 121±3,1 | 128±4,6 |
| Gęstość pozorna [g/cm ³] | 2,52 | 2,42 | 2,74 | 2,71 |
| Nasiąkliwość zwykła [%] | 4,67±0,48 | 4,10 | 2,15±0,16 | 1,14±0,33 |
| Nasiąkliwość po gotowaniu [%] | 5,57±0,45 | n.o. | 2,62±0,22 | 1,45±0,28 |
| Porowatość całkowita [%] | 5,12±2,13 | n.o. | 2,34±1,15 | 3,35±1,91 |

n.o. – nie oznaczono

W odniesieniu do pierwiastków śladowych w omawianej próbce dolomitu kruszczonego stwierdzono zdecydowanie podwyższony, typowy dla tych skał udział ołowiu, a zwłaszcza cynku (tab. 2). Z innych pierwiastków śladowych wyróżnia się bar, którego udział mieści się na średnim poziomie zawartości podanej przez Kabatę-Pendias i Pendiasa (1993).

3. Właściwości fizyczno-mechaniczne w aspekcie produkcji kruszywa do betonu

Zakres przeprowadzonych badań obejmował:

- oznaczenie wytrzymałości na ściskanie według PN-EN 1926:2001,
- oznaczenie gęstości pozornej według PN-EN 1936:2001,

- oznaczenie nasiąkliwości zwykłej i po gotowaniu według PN-EN 13755: 2008,
- oznaczenie mrozoodporności według PN-85/B-04102.

W ocenie tej uwzględniono też porowatość całkowitą, którą omówiono wcześniej w rozdziale 2. Wyniki tych badań zestawiono w tabelach 3 i 4.

TABELA 4. Współczynnik odporności na zamrażanie dolomitów ze złoża Libiąż

TABLE 4. Index of freeze resistance of dolostones from Libiąż deposit

| Odmiana skały | Symbol próbki | Średnia wytrzymałość na ściskanie próbek po teście mrozoodporności R'_{cm} [MPa] | Średnia wytrzymałość na ściskanie próbek zanurzonych w wodzie R_{cm} [MPa] | Współczynnik odporności na zamrażanie |
|---------------------|---------------|--|--|---------------------------------------|
| Dolomit diploporowy | 1102 | 93 | 103 | 0,90 |
| Dolomit kruszonośny | 1101 | 107 | 112 | 0,95 |
| Dolomit kruszonośny | 1103 | 113 | 118 | 0,96 |

Na podstawie uzyskanych wyników oznaczenia wytrzymałości na ściskanie dolomitów kruszonośnych (próbki 1101 i 1103) i kryteriów zawartych w normie PN-EN 1926:2001 uznano je za skały o dużej wytrzymałości na ściskanie. Kierując się tymi samymi przesłankami badany dolomit diploporowy (próbka 1102) należy określić jako skałę o średniej wytrzymałości na ściskanie (60–120 MPa), co jest zbieżne m.in. ze spostrzeżeniami Bromowicza (2001). Uzyskane wyniki są też porównywalne ze średnią wartością wytrzymałości na ściskanie dolomitów, która według Smoleńskiej i Rembisia (2002) wynosi 115 MPa.

Dane zamieszczone w tabeli 3 wskazują, że we wszystkich przypadkach wartości gęstości pozornej są wysokie i charakterystyczne dla skał bardzo ciężkich według PN-84/B-01080. Wartości te są jednak zróżnicowane i mieszczą się w zakresie od 2,52 g/cm³ (dolomit diploporowy) do 2,74 g/cm³ (dolomit kruszonośny). Zmienność gęstości pozornej kopaliny ze złoża Libiąż zaznacza się zwłaszcza dla dolomitu diploporowego. Według Bromowicza i in. (2005) mieści się ona w szerokim przedziale od 1,90 g/cm³ do 2,76 g/cm³, co należy wiązać z obecnością w tej skale różnej ilości makroporów.

Z podwyższoną, stwierdzoną w tej pracy wartością gęstości pozornej dolomitu kruszonośnego koresponduje jego wyraźnie mniejsza – w porównaniu z dolomitem diploporowym – nasiąkliwość zwykła (tab. 3). Ponadto nasiąkliwość po gotowaniu jest większa aniżeli nasiąkliwość zwykła, co stanowi ogólną prawidłowość. Uzyskane wyniki oznaczenia nasiąkliwości, zarówno zwykłej jak i po gotowaniu, są w pełni zgodne z wartościami porowatości całkowitej, które zostały wyznaczone metodą automatycznej analizy obrazu mikroskopowego i przedstawione w tabeli 3. Wynika z nich też, że porowatość całkowita dolomitów kruszonośnych jest wyraźnie mniejsza w porównaniu z dolomitami diploporowymi.

Istotną cechą kruszyw łamanych, w tym przeznaczonych do produkcji betonu, jest ich mrozoodporność. Pomiar ten wykonano zgodnie z wymaganiami normy PN-85/B-04102. Do jego przeprowadzenia użyto próbki sześciennie trzech serii (po sześć z każdej), przy czym trzy próbki z każdej z nich zostały poddane cyklicznemu zamrażaniu i rozmrażaniu

w wodzie, a trzy pozostałe stanowiły punkt odniesienia. Taka metodyka postępowania pozwala na określenie wpływu zamrażania i rozmrażania na wytrzymałość materiału i wyznaczenie współczynnika w odporności na zamrażanie. Zależność, na podstawie której został on obliczony jest następująca:

$$w = \frac{R'_{cm}}{R_{cm}}$$

gdzie:

- R'_{cm} – wytrzymałość na ściskanie próbki nasyconej wodą po zakończeniu badania mrozoodporności [MPa],
- R_{cm} – wytrzymałość na ściskanie próbki porównawczej niezamrożonej, która przez cały okres badania mrozoodporności pozostawała w wodzie [MPa].

Wyniki oznaczenia współczynnika odporności na zamrażanie zestawiono w tabeli 4.

Badania mrozoodporności wykazały, iż 25-krotny cykl kolejnego zamrażania i odmrażania nie powoduje zmian analizowanych próbek. Na tej podstawie można więc wnioskować, że w badanych skałach istnieje wystarczająco duża przestrzeń dla powiększającej swoją objętość wody przechodzącej w lód. W konsekwencji ich mrozoodporność jest pełna, a współczynnik w odporności na zamrażanie – wysoki, przy czym najwyższą jego wartość stwierdzono dla dolomitów kruszczośnych.

Podsumowanie

Analiza składu mineralnego wykazała, że w badanych próbkach skał ze złoża Libiąż obok dominującego dolomitu występują zmienne ilości kalcytu. Jest ona najmniejsza, niemal śladowa, w dolomicie diploporowym i wyraźnie większa w dolomicie kruszczośnym. Znajduje to potwierdzenie w wynikach analizy chemicznej, na podstawie których stwierdzono, że największą czystością – a więc i najwyższym udziałem MgO – charakteryzuje się dolomit diploporowy z Libiąża.

Badane próbki – zarówno dolomitu diploporowego jak i kruszczośnego – reprezentują dolomity sparytowe o teksturze porowatej i bezładnej. Dolomit diploporowy jest zbudowany z ksenomorficznych, rzadziej hipautomorficznych kryształów dolomitu, podczas gdy w dolomicie kruszczośnym występują dwie generacje dolomitu: pierwsza – reprezentowana przez kryształy automorficzne i druga – z kryształami ksenomorficznymi.

Na podstawie automatycznej analizy obrazu mikroskopowego badanych próbek stwierdzono, że wyraźnie mniejszą – w porównaniu z dolomitami diploporowymi – porowatością całkowitą charakteryzuje się dolomit kruszczośny.

Wartość parametrów fizyczno-mechanicznych dolomitów kruszczośnych, takich jak: wytrzymałość na ściskanie, gęstość pozorna, nasiąkliwość, porowatość całkowita, mrozoodporność, jest bardziej korzystna w porównaniu z dolomitami diploporowymi. Przemawia to za stosowaniem dolomitów kruszczośnych ze złoża Libiąż do produkcji kruszyw do betonu. Jest to tym bardziej uzasadnione, że są one mniej atrakcyjnym (ze względu np. na

niejednorodność barwy i cienkie niekiedy uławiczenie) aniżeli dolomity diploporowe surowcem do produkcji elementów kamiennych.

Autorzy wyrażają podziękowanie dr. inż. Tadeuszowi Szydlakowi (AGH Kraków) i dr. inż. Zbigniewowi Pędzichowi (AGH Kraków) za liczne dyskusje nt. komputerowej analizy obrazu mikroskopowego. Dziękują także P.T. Recenzentom za cenne uwagi i spostrzeżenia, które zostały wykorzystane w tej pracy.

Praca została wykonana w ramach projektu badawczego N508 477638 pt. „Zmiany tekstury i mikrostruktury w procesie dekarbonatyzacji wybranych dolomitów”, finansowanego w latach 2010–2013 przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- Bromowicz J., 2001 – Ocena możliwości wykorzystania skał z okolic Krakowa do rekonstrukcji kamiennych elementów architektonicznych. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* 17, 1, 5–71.
- Bromowicz J., Figarska-Warchoł B., Karwacki A., Kolasa A., Magiera J., Rembiś M., Smoleńska A., Stańczyk G., 2005 – Waloryzacja polskich złóż kamieni budowlanych i drogowych na tle przepisów Unii Europejskiej. Wyd. UWND AGH, Kraków.
- Galos K., 2009 – Zmiany na rynku kruszyw naturalnych łamanych w Polsce po 2000 roku. *Prace Naukowe Instytutu Górniczo-Politechniki Wrocławskiej* nr 125, str. 43–61.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 1993 – Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Małolepszy J., Deja J., 2000 – Badania właściwości kruszyw do betonów. [W:] J. Małolepszy (red.), *Technologia Betonu. Metody Badań*. Wyd. UWND AGH, Kraków, str. 67–92.
- Młynarczuk M., Ratajczak T., Szydlak T., 2005 – Możliwości zastąpienia tradycyjnych metod pomiaru porowatości skał przez analizę ich obrazu. *Prace Specjalne PTMin.* z. 27, 37–47.
- Pawloski G.A., 1985 – Quantitative determination of mineral content of geological samples by X-ray diffraction. *American Mineralogist* 70, 663–667.
- Smakowski T., Galos K., 2007 – Gospodarka kruszywami naturalnymi łamanymi w Polsce. Monografia „Surowce mineralne Polski. Surowce skalne. Kruszywa mineralne”, str. 249–278, Wyd. IGSMiE PAN.
- Smoleńska A., Rembiś M., 2002 – Geologiczne uwarunkowania możliwości wykorzystania kopaliny jako mineralnych kruszyw budowlanych. *Budownictwo-Technologie-Architektura* nr 4 (20), 43–47.

Strony internetowe:
<http://rsbweb.nih.gov/ij/>

Normy:

- PN-84/B-01080 – Kamień dla budownictwa i drogownictwa – Podział i zastosowanie według własności fizyczno-mechanicznych.
- PN-85/B-04102 – Materiały kamienne – Oznaczanie mrozoodporności metodą bezpośrednią.
- PN-EN 1926:2001 – Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie wytrzymałości na ściskanie.
- PN-EN 1936:2001 – Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie gęstości i gęstości objętościowej oraz całkowitej i otwartej porowatości.
- PN-EN 12407:2001 – Metody badań kamienia naturalnego. Badania petrograficzne.
- PN-EN 13755:2002 – Metody badania kamienia naturalnego. Oznaczanie nasiąkliwości wodą przy ciśnieniu atmosferycznym.