

## CHARAKTERYSTYKA PIASKOWCÓW LGOCKICH POZIOMU DOLNEGO JAKO MATERIAŁU BUDOWLANEGO ZASTOSOWANEGO W KAMIENNYCH OBIEKTACH DROGI KRZYŻOWEJ W KALWARII ZEBRZYDOWSKIEJ

### CHARACTERISTIC OF THE LOWER LGOTA SANDSTONES AS A BUILDING MATERIAL USED IN STONE STRUCTURES OF THE WAY OF THE CROSS IN KALWARIA ZEBRZYDOWSKA

PRZEMYSŁAW NOWAK<sup>1</sup>

**Abstrakt.** W artykule przedstawiono krótką charakterystykę piaskowców lgockich poziomu dolnego jako materiału budowlanego użytego do budowy kaplic Drogi Krzyżowej w Kalwarii Zebrzydowskiej. Badania makroskopowe i mikroskopowe próbek pochodzących z kaplic i z lokalnych odsłoneń wykazały, że głównym miejscem pozyskiwania materiału kamiennego był usytuowany na zboczach góry Żarek kamieniołom Maria Magdalena. Wydzielono dwie odmiany strukturalne piaskowca dolnolgockiego użytego w budowach sakralnych Kalwarii Zebrzydowskiej. Pierwsza odmiana to jasnobezowy piaskowiec o strukturze bezładnej i z reguły średnioziarnistej tekstury. Druga odmiana to ciemnobezowy piaskowiec o strukturze bezładnej, często zaburzony nieregularnymi smugami i przebarwieniami, czasem laminowany, o średnio- i gruboziarnistej teksturze. Ze względu na to, że piaskowiec występuje w grubych ławicach o miąższości do 1,8 m, był on używany jako materiał budowlany. Ławice z reguły nie wykazują spękań, co umożliwia uzyskanie dużych gabarytowo bloków. Właściwości fizyczno-mechaniczne piaskowca wynikają ze składu mineralnego, zawartości i typu spoiwa (głównie ilastego) oraz jego tekstury i struktury. Jest to szczególnie widoczne w przypadku nasiąkliwości wagowej, wynoszącej średnio 7,5%. Stanowi ona jedną z głównych cech mających negatywny wpływ na stan zachowania kamienia. Pomimo tego, piaskowiec lgocki poziomu dolnego wydaje się być bardzo atrakcyjnym materiałem budowlanym, który mógłby stanowić alternatywę dla powszechnie stosowanego w budownictwie piaskowca istebniańskiego. Usytuowanie złoża Maria Magdalena w granicach obszaru wpisanego na Listę Światowego Dziedzictwa UNESCO wyklucza jednak możliwość rozpoczęcia eksploatacji na większą skalę.

**Słowa kluczowe:** deterioracja, kamień budowlany, piaskowce lgockie poziomu dolnego, Kalwaria Zebrzydowska.

**Abstract.** The paper briefly presents the characteristics of the Lower Lgota sandstones as a building material used in chapel buildings of the Way of the Cross in Kalwaria Zebrzydowska. Macro- and microscopic examinations of rock samples show that the Maria Magdalena quarry situated on the slopes of the Żarek Hill was the main source of the building material. Two structural varieties of the Lower Lgota sandstone used in the Kalwaria sacral buildings can be distinguished. The first variety, structureless and usually of medium-grained texture, is light-beige. The other one is dark-beige, structureless with medium- and coarse-grained texture, often disturbed by rusty streaks. Lamination is sometimes observed in this rock type. Due to a considerable thickness of sandstone layers, which can reach 1.8 m, the sandstones were used as a building material. The layers, as a rule, have no fractures and, therefore, could be quarried as large stone blocks. Physical and mechanical properties of these sandstones result from the mineral composition of the grain framework, the amount and type of cement (mainly clayey) as well as from the rock texture and structure. These properties imply, in particular, water absorbability whose mean value is 7.5%. These properties have main negative influence on stone preservation. Despite these limitations, the Lower Lgota sandstones represent a very attractive construction material. It could be an alternative to other Carpathian sandstones, particularly to the Istebna sandstones, commonly used for building purposes. The Maria Magdalena quarry, however, is situated inside the UNESCO World Heritage Site of Kalwaria Zebrzydowska. This position precludes any potential large-scale exploitation of the Lower Lgota sandstones.

**Key words:** deterioration, building stone, Lower Lgota sandstones, Kalwaria Zebrzydowska.

<sup>1</sup> Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;  
e-mail: pnowak@geol.agh.edu.pl

Kaplice Drogi Krzyżowej w Kalwarii Zebrzydowskiej, wpisane na Listę Światowego Dziedzictwa UNESCO, stanowią jeden z nielicznych przykładów zastosowania piaskowca łgockiego poziomu dolnego w architekturze. Cały kalwaryjski kompleks sakralny powstał na przełomie XVI i XVII w. z inicjatywy rodu Zebrzydowskich, zarządzających tymi ziemiami. Pomysłodawcą i pierwszym fundatorem był rezydujący na zamku w Lanckoronie starosta krakowski, Mikołaj Zebrzydowski. Od strony technicznej, realizację całego przedsięwzięcia nadzorował belgijski architekt, Paweł Baduarth (Wyczawski, 2006).

Materiał do budowy kaplic na zboczach góry Żarek wydobyto ze znajdującego się na jej południowym zboczu złoża piaskowca dolnołgockiego o historycznej nazwie Maria Magdalena. Potwierdzają to badania makroskopowe skał w lokalnych odsłonięciach i mikroskopowe w płytkach cienkich wykonanych z dostępnych drobnych fragmentów budowlanej oraz z próbek pobranych w złożu. Zarośnięty obecnie lasem kamieniołom stanowi jednocześnie najlepsze, pokazujące najpełniejszy profil, odsłonięcie warstw łgockich poziomu dolnego. Poza Kalwarią Zebrzydowską odsłonięcia piaskowca dolnołgockiego zaobserwowano jedynie w obrębie przełęczy Straconka (Beskid Mały) oraz w rejonie pasma Barnasiówki (Beskid Średni). Tak niewielka liczba odsłonień wiąże się z soczewowym charakterem występowania i niewielką miąższością warstw dolnołgockich, szacowaną na około 20 m (Bilan, 2003).

Pełny profil najlepiej odsłoniętej, wschodniej ściany kamieniołomu Maria Magdalena (fig. 1), liczy w przybliżeniu 21 m. Znajdujące się tam warstwy zapadają monoklinalnie pod kątem  $52^\circ$  i są odwrócone. W profilu zdecydowanie przeważają piaskowce (91,6% miąższości). Łupki stanowią 8,4%. Dla scharakteryzowania piaskowców występujących w odsłonięciu przyjęto wydzielenia wprowadzone przez Ghibaudo (1992). Piaskowce dolnołgockie odsłaniające się na południowym zboczu góry Żarek zostały zaklasyfikowane do facji S (piaskowce), a w jej obrębie wydzielono 2 subfacje: mS (piaskowce masywne) i mLS (piaskowce masywne i laminowane). Przeważają piaskowce subfacji mS, stanowiące 50,4% miąższości profilu, podczas gdy udział subfacji mLS wynosi 37,2%. Ponadto w profilu występują też piaskowce facji SM (piaskowce i mułowce) subfacji LSM (laminowane), stanowiące 4% miąższości profilu. Znaczenie surowcowe mają jedynie piaskowce subfacji mS i mLS występujące w grubych, na ogół nie spękanych ławicach o miąższościach dochodzących do 1,8 m. Wyjątek stanowią ławice piaskowca w skrajnych częściach profilu, mające rozległy system nieregularnych spęknięć. W środkowej części profilu znajdują się najgrubsze ławice piaskowca, spośród których tylko na nielicznych zaznaczają się pojedyncze pęknięcia wzdłuż płaszczyzn równoległych do powierzchni uławiczenia. Charakter występowania piaskowców subfacji mS i mLS w złożu sugeruje możliwość uzyskiwania materiału o rozmiarach bloków  $1,0 \times 1,0 \times 0,8$  m, a nawet większych. Jest to niezwykle istotna wskazówka w kontekście oceny wpływu wykształcenia piaskowca łgockiego poziomu dolnego na zastosowane w kalwaryjskich kapliczkach roz-



Fig. 1. Wschodnia ściana kamieniołomu Maria Magdalena (fot. P. Nowak)

East wall of the Maria Magdalena quarry (phot. P. Nowak)

wiązania architektoniczne. O potencjale blocznym piaskowca ze złoża Maria Magdalena świadczą duże gabaryty niektórych elementów architektonicznych zastosowanych w kaplicach drogi krzyżowej. Przykładem mogą być kolumny, ambonki i cokoły wykonane niejednokrotnie z pojedynczych bloków piaskowca. Prawdopodobnie ze względu na oszczędność materiału, mury kaplic zostały wzniesione w technice *opus emplectum* i *opus incertum*, co pozwoliło budowniczym na wykorzystanie materiału pochodzącego ze spękanych ławic oraz gruzu powstałego przy obróbce większych bloków.

Poza blocznością, piaskowiec dolnołgocki ma również walor estetyczny. Występuje w kilku odcieniach, jest jednolity, laminowany lub zaburzony nieregularnymi smugami i prezentuje się niezwykle efektownie. Jest to szczególnie dobrze widoczne w wielobarwnych elewacjach odnowionych kaplic, np. Ratusza Piłata. Na podstawie badań makro- i mikroskopowych wyróżniono kilka odmian zastosowanego do budowy kaplic piaskowca. Zróżnicowanie w wykształceniu oraz barwie pozwoliło na wydzielenie w jego obrębie dwóch odmian strukturalnych, a wśród nich dodatkowo jeszcze kolorystycznych. Jedną z nich jest piaskowiec masywny o strukturze bezładnej w kolorze beżu o różnych odcieniach. Druga odmiana to piaskowiec o strukturze laminowanej,





**Fig. 2. Jedna z tralek balkonu kaplicy Ratuszu Piłata**  
(*phot. P. Nowak*)

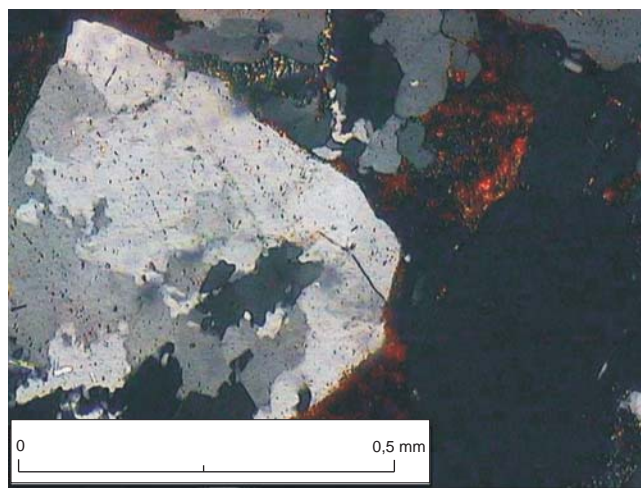
Tralkę wykonano z piaskowca o strukturze laminowanej, zaburzonej rdzawymi smugami

Baluster on balcony in the Ratusz Piłata chapel  
(*phot. P. Nowak*)

Baluster is made of laminated sandstone with rusty streaks

często zaburzony nieregularnymi smugami i przebarwieniami (fig. 2). Ponadto w obrębie odmiany piaskowca masywnego o strukturze bezładnej wyróżniono dwie pododmiany: jasnobieżową (odcień suchego piasku, słomkowożółty lub delikatnie pomarańczowy) i ciemnobieżową (odcień mokrego piasku, rdzawy, pomarańczowy, bladoróżowy lub bladoczerwony). Odmiana jasnobieżowa jest z reguły w miarę jednorodna pod względem barwy, z kolei odmiana ciemnobieżowa dość często wykazuje przebarwienia. Pod względem tekstury obie wydzielone odmiany strukturalne są reprezentowane przez piaskowiec średnioziarnisty lub średnio- i gruboziarnisty. Po porównaniu wydzielonych w kaplicach odmian piaskowca z występującymi w złożu Maria Magdalena okazało się, że odmiana piaskowca masywnego o strukturze bezładnej i jednorodnej, jasnobieżowej barwie odpowiada piaskowcowi subfacji mS. Z kolei piaskowiec o strukturze laminowanej, zaburzonej nieregularnymi smugami i przebarwieniami odpowiada piaskowcowi subfacji mLS. Do utworów tej subfacji należy też zaliczyć odmianę piaskowca o strukturze bezładnej, ciemnobieżową. Warto zwrócić uwagę, że utwory subfacji mLS charakteryzują się dużym zróżnicowaniem nawet w zakresie jednej warstwy piaskowca. Dzięki temu jest możliwe współwystępowanie odmiany piaskowca o strukturze bezładnej z piaskowcem odmiany laminowanej w obrębie jednej ławicy. W profilu takiej warstwy

laminację obserwuje się w stropie, zaś pozostałą część profilu stanowi piaskowiec o strukturze bezładnej, barwie ciemnobieżowej, mogący wykazywać stały indeks barwny lub nieregularne przebarwienia. Pod względem teksturalnym zarówno ławice piaskowca subfacji mS, jak i mLS są niejednorodne, jednak subfacja mS charakteryzuje się z reguły teksturą średnioziarnistą, a mLS może mieć teksturę średnio- i gruboziarnistą. Po obliczeniu wartości parametru  $\sigma_1$  (graficzne standardowe odchylenie) dla poszczególnych próbek okazało się, że w większości przypadków piaskowiec wykazuje umiarkowane i umiarkowanie dobre wysortowanie ziaren. W składzie mineralnym piaskowca zdecydowanie dominuje kwarc występujący w dwóch odmianach: monokrystalicznej, dla przebadanych próbek średnio 64,4% obj., i polikrystalicznej – 6,6% obj. (fig. 3). Udział skałeni alkalicznych, plagioklazów, miki i glaukonitu jest mniejszy, średnio po 2–3% obj., natomiast ciekawostką jest obecność substancji węglonej, średnio ok. 3,9% obj. Przeważa spoiwo ilaste (10,3% obj.) nad krzemionkowym (8,5% obj.), spoiwo węglanowe występuje śladowo (fig. 4). Niestety dominujący udział spoiwa ilastego jest jednym z głównych czynników wpływających negatywnie na parametry fizyczno-mechaniczne piaskowca. Jest to szczególnie dobrze widoczne w przypadku nasiąkliwości wagowej wynoszącej średnio 7,5%. W użytych do budowy kaplic piaskowcu najczęstszym czynnikiem wpływającym na jego degradację jest rozmrażanie. Jest ono bezpośrednio związane przede wszystkim z wypłukiwaniem nietrwałego spoiwa ilastego przez wodę pochodzącą z opadów atmosferycznych lub podciąganą kapilarnie z gruntu (fig. 5).

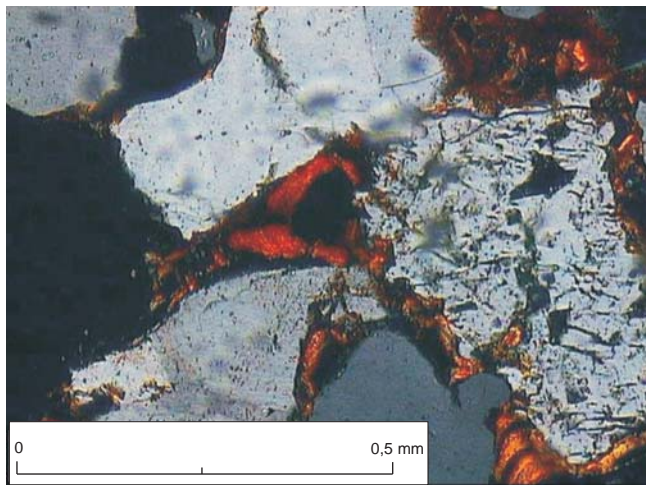


**Fig. 3. Obraz mikroskopowy ciemnobieżowego piaskowca dolnolgockiego o strukturze bezładnej (nikole skrzyżowane)**  
(*phot. P. Nowak*)

Na zdjęciu jest widoczny kwarc polikrystaliczny i spoiwo ilaste bogate w rozproszoną substancję organiczną

Dark beige and structureless Lower Lgota sandstone  
(crossed polars) (*phot. P. Nowak*)

In the centre of the image is a polycrystalline quartz and clayey cement with dispersed organic substance



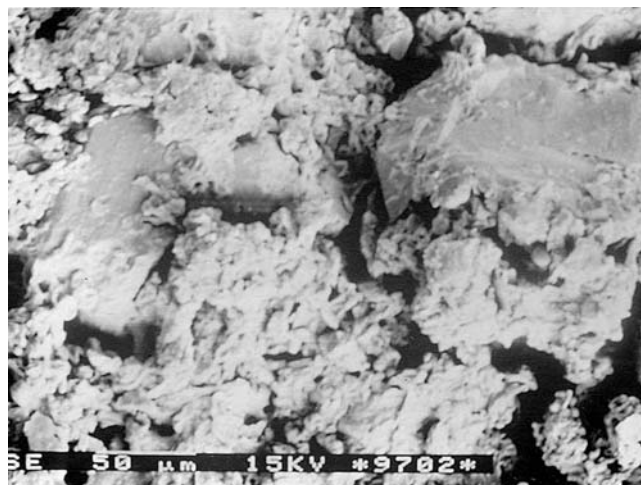
**Fig. 4. Obraz mikroskopowy ciemno-beżowego piaskowca dolnolgockiego o strukturze bezładnej (nikole skrzyżowane) (fot. P. Nowak)**

Pomiędzy ziarnami kwarcu widoczne spoiwo ilaste, w którego skład prawdopodobnie wchodzi szamozyt i rozkładający się biotyt

Dark beige and laminated Lower Lgota sandstone (crossed polars) (phot. P. Nowak)

Clayey cement between quartz grains, probably composed of chamosite and disintegrating biotite

Historia eksploatacji piaskowca lgockiego poziomu dolnego w złożu Maria Magdalena sięga XVII w. (Peszat *vide* Bromowicz i in., 1976). Ze względu na unikatowy charakter materiału i wykorzystanie go w wielu miejscowych budowach sakralnych, gruboławicowe piaskowce lgockie przedstawiają bardzo dużą wartość w kontekście wykorzystania ich w pracach konserwatorskich i rekonstrukcyjnych. Ze względu na dobrą bloczność, duże walory dekoracyjne i dość dobre właściwości fizyczno-mechaniczne mogą one stanowić bardzo atrakcyjny materiał budowlany, który mógłby stanowić alternatywę dla innych piaskowców karpaccich, zwłaszcza istebniańskich, powszechnie stosowanych w bu-



**Fig. 5. Obraz mikroskopowy SEM (powiększenie 580 razy)**

Próbka pochodzi z cokołu Gradusów od strony północnej. Obraz mikroskopowy przedstawia ziarna kwarcu z występującymi między nimi agregatami gipsu. Przestrzeń międzyziarnowa jest wypełniona w niewielkim stopniu, co może świadczyć o potencjalnym wypłukiwaniu widocznego w mniejszym udziale illitu i zastępowaniu go siarczanami (fot. M. Rembiś)

Microscope image – SEM micrograph (magnification  $\times 580$ )

Sample taken from the north side of Gradusy stereobate. Quartz grains with gypsum aggregates between them. Scarce filling of intergranular space due to potential removal of illite being replaced by sulphates (phot. M. Rembiś)

downictwie. Eksploatacja złoża Maria Magdalena na większą skalę nie byłaby jednak wskazana ze względu na położenie w granicach obszaru wpisanego na Listę Światowego Dziedzictwa UNESCO. Mimo to, plan zagospodarowania przestrzennego gminy Kalwaria Zebrzydowska dopuszcza możliwość eksploatacji złoża pod kątem uzyskania materiału niezbędnego do konserwacji i renowacji istniejących zabytków (Opracowanie Ekofizjograficzne, 2003).

Pracę zrealizowano w Katedrze Geologii Złożowej i Górniczej, Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH.

## LITERATURA

- BILAN W., 2003 — Studium sedymentologiczne warstw lgockich serii śląskiej między doliną Białej i Raby. [Pr. doktor.]. Arch. Bibl. Gł. AGH, Kraków.
- BROMOWICZ J., GUZIK S., MAGIERA J., MOROZ-KOPCZYŃSKA M., NOWAK T.W., PESZAT C., 1976 — Piaskowce karpaccie, ich znaczenie surowcowe i perspektywy wykorzystania. *Kwart. AGH, Geologia*, 2, 2.
- GHIBAUDO G., 1992 — Subaqueous sediment gravity flow deposits: particular criteria for their Fidel description and classification. *Sedim.*, 39, 3.
- WYCZAWSKI H.E., 2006 — Kalwaria Zebrzydowska, Wyd. CALVARIANUM, Kalwaria Zebrzydowska.
- OPRACOWANIE ekofizjograficzne podstawowe, 2003. <http://www.kalwaria-zebrzydowska.pl/index.php?dzial=podstrony2&id=45>.