

WPŁYW ORIENTACJI SZLIFU MIKROSKOPOWEGO I WYBORU MIERZONYCH SKŁADNIKÓW MINERALNYCH NA WYNIKI ANALIZY GRANULOMETRYCZNEJ

GRAIN-SIZE ANALYSIS OF SANDSTONES: AN EFFECT OF THIN-SECTION ORIENTATION AND SELECTION OF MINERAL COMPONENTS

Grażyna Stańczak, Beata Figarska-Warchoń - WGGiOŚ, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Mikroskopowa analiza granulometryczna wykonana dla trzech próbek reprezentujących piaskowce masywne, laminowane poziomo oraz skorupowo na szlifach zorientowanych prostopadle i równoległe do powierzchni uławicenia, przy użyciu kamery cyfrowej sprzężonej z mikroskopem polaryzacyjnym i odpowiednich narzędzi oprogramowania do analizy obrazu pozwoliła na pomiar maksymalnych średnic ziaren, bądź wewnętrznych osi wydłużonych klastów przy jednoczesnej identyfikacji rodzaju składnika detrytycznego.

Uzyskane w ten sposób dane dla dwóch różnych orientacji płaszczyzny preparatu pozwoliły na ocenę zróżnicowania wielkości poszczególnych składników detrytycznych oraz ich udziałów częstościowych w ogólnej liczbie pomierzonych okruchów. Rozkłady uziarnienia analizowano dla dwóch wariantów składu materiału okruchowego: „bezhyszczkowego” (wszystkie składniki z wyłączeniem mik) oraz „kwarcowo-skaleniewego” (tylko ziarna kwarcu i skaleni). Ten ostatni wariant zastosowano w celu eliminacji wpływu kształtu okruchów na mierzoną ich wielkość. Analizie porównawczej podlegały graficzne parametry uziarnienia wyliczone na podstawie krzywych kumulacyjnych w oparciu o formuły Folka i Warda [12] oraz ich wzajemne relacje.

Analiza granulometryczna i uzyskane w jej toku parametry uziarnienia wrażliwe są na wiele czynników, których wpływu nie można wyeliminować, ale trzeba być świadomym ich oddziaływania. Rozkłady uziarnienia można badać w różnych ujęciach w zależności od celu analizy, biorąc pod uwagę zmienność udziałów częstościowych mierzonych składników detrytycznych oraz zróżnicowanie kształtu ziaren i klastów, na które wpływ ma skład mineralny ziaren i okruchów oraz orientacja szlifów mikroskopowych. Wydłużone i płaskie składniki okruchowe, takie jak hyszczyki i okruchy łupków, zazwyczaj pomijane w pomiarach granulometrycznych, mają istotny wpływ na anizotropię właściwości skały.

Słowa kluczowe: mikroskopowa analiza granulometryczna, pomiar granulometryczny na obrazach cyfrowych, rozkłady uziarnienia, graficzne parametry uziarnienia, orientacja szlifów mikroskopowych, wybór składników detrytycznych

Grain-size analyses were carried out on three samples representing parallel laminated, convoluted and massive sandstones. Thin sections were cut perpendicular and parallel to the bedding of the rocks. Applying a digital camera coupled to a polarizing microscope and an image analysis software, the type of the detrital material was identified and the maximum diameters of grains or internal axes of elongated rock clasts were measured.

The data obtained in two perpendicular planes of a rock show a diversification of sizes of individual detrital components and their contributions to the total of the grains measured. The grain-size distributions were analysed in two compositional variants of detrital grains: all these grains components but without micas (“no micas” approach) and considering only quartz and feldspars (“quartz+feldspar” approach). The latter procedure eliminates an impact of grain shapes on grain sizes. Comparative analyses were based on graphic grain-size parameters calculated according to Folk and Ward [12] from cumulative curves and on mutual relations of these parameters.

The grain-size analysis and its results are sensitive to many factors, whose impact cannot be eliminated but their role must always be remembered. Grain-size distributions may be investigated in various aspects depending on the problem to be solved, considering variability of detrital components contribution and variety of their shapes influenced by the mineral composition of grains and clasts and the thin-section orientation. Elongated and flat components of the framework, such as micas and shale/schist fragments, are usually omitted in grain-size analyses, but they significantly affect the anisotropies of rock properties.

Keywords: thin section grain-size analysis, grain-size analysis on digital images, grain-size distributions, grain-size statistical parameters, orientation of thin section, selection of detrital components

Wprowadzenie

Cechy teksturalne skał osadowych, czyli uziarnienie, morfologia, upakowanie i orientacja składników okruchowych, pomimo ograniczonej użyteczności w interpretacji warunków paleośrodowiska, stanowią podstawową charakterystykę skał

osadowych i posiadają fundamentalne znaczenie dla ich właściwości, takich jak gęstość pozorna, porowatość i przepuszczalność, które decydują o wartości użytkowej i zastosowaniu skały [1-2].

Analiza uziarnienia w zlitfikowanym osadzie polega na

pomiarze wielkości składników detrytycznych w płytce cienkiej pod mikroskopem przy pomocy skalibrowanej podziałki mikrometrycznej. Ponieważ każde ziarno zostało przecięte przez płaszczyznę preparatu mikroskopowego w sposób przypadkowy (w dowolnym miejscu tego składnika), zatem obserwowane w szlifie wielkości okruchów nie odpowiadają ich rzeczywistym rozmiarom, dlatego w praktyce zaleca się pomiar maksymalnych widocznych średnic ziaren [3-5].

W mikroskopowej analizie granulometrycznej skały istotnym zabiegiem jest metoda selekcji tych składników detrytycznych, których maksymalne widoczne w płaszczyźnie preparatu osie będą mierzone. Jednym z zaproponowanych sposobów selekcji jest pomiar tych okruchów, które znalazły się na linii pomiarowej. Dodatkowym ograniczeniem jest wprowadzenie granicznej wartości średnicy równej 0,031 mm, poniżej której ziarna kwalifikowane są do frakcji matriks i nie są mierzone. Ponieważ w badaniach granulometrycznych zasadniczą kwestią jest sporządzenie rozkładów wielkości składników okruchowych, na podstawie których otrzymuje się parametry uziarnienia, dlatego istotna jest odpowiednia liczba pomiarów. Generalnie w jednym preparacie zaleca się zliczenie od 100 do 500 ziaren [4-5].

Ze względu na oczywisty związek między wielkością i kształtem okruchów a ich składem mineralogiczno-petrograficznym (np. łyszczyki, okruchy skał łyszczykowych) wprowadza się ograniczenie w pomiarach granulometrycznych polegające na wyłączeniu tych składników, które wyróżniają się wydłużoną formą i tutaj najczęściej wykluczonym składnikiem są łyszczyki [6-8]. Inni badacze pomiary wielkości okruchów ograniczają do jednego lub dwóch podstawowych składników badanej skały np. tylko do kwarcu lub do kwarcu i skaleni [3, 9-10].

Ponieważ materiał detrytyczny wykazuje zazwyczaj kierunkową orientację polegającą na tym, że dłuższe i średnie osie ziaren ułożone są równolegle względem kierunku paleoprądu, czy powierzchni uławicenia, dlatego istotne dla wyników mikroskopowej analizy uziarnienia skały jest położenie płaszczyzny preparatu względem preferowanej orientacji składników okruchowych. Niektórzy badacze w celu ograniczenia wpływu preferencyjnej orientacji składników okruchowych względem powierzchni uławicenia zalecają badania na szlifach ciętych pod kątem 45° względem płaszczyzny stropu/spągu [5]. Z kolei inni wskazują, że pomiary uziarnienia powinny się odbywać na szlifach ciętych równolegle do uławicenia czy płaszczyzny laminacji przekątnej, zaś mierzoną wielkością powinna być nie maksymalna średnica ziaren, ale ich mniejsza średnica, czyli pośrednia oś okruchów [11].

Zatem, wyniki mikroskopowej analizy granulometrycznej skał uzależnione są od wielu czynników, które mają wpływ na mierzone bezpośrednio w szlifie wielkości ziaren. Celem niniejszej pracy jest zbadanie w jaki sposób graficzne parametry uziarnienia Folka i Warda [12] uzyskane z kumulacyjnych rozkładów wielkości okruchów zmieniają się w zależności od orientacji płaszczyzny preparatu mikroskopowego względem powierzchni uławicenia i wyboru mierzonych składników detrytycznych.

Metodyka badań granulometrycznych

Do badań wytypowano trzy próbki piaskowców krośnieńskich, dwie pochodzące ze złoża Górka Mucharz i jedną ze złoża

Skawce. Pierwsze dwie próbki reprezentują piaskowce masywne i laminowane skorupowo, natomiast ostatnia wykazuje laminację poziomą. Dla każdej próbki sporządzono dwa szlify mikroskopowe, pierwszy orientowany prostopadłe (szlif A), zaś drugi równoległe (szlif C) do powierzchni uławicenia.

W każdym zorientowanym preparacie mikroskopowym zakładano linię pomiarową usytuowaną prostopadłe (szlify A), bądź równoległe (szlify C) do powierzchni uławicenia. Dla trzystu kolejnych składników detrytycznych przeciętych przez tę linię mierzono ich maksymalne średnice lub wewnętrzne osie w przypadku wydłużonych klastów czy blaszek łyszczyków, przy czym nie uwzględniano okruchów mniejszych od 0,031 mm i w każdym przypadku identyfikowano skład mineralny/petrograficzny okruchów.

Obserwacje płytek cienkich prowadzono w mikroskopie polaryzacyjnym do światła przechodzącego Jenapol (Zeiss-Jena) przy obiektywie planachromatycznym 20x/0.40 (∞/017-A). Pomiaru wielkości ziaren dokonywano na cyfrowych obrazach uzyskanych za pomocą kamery Nikon DS-Fi1 sprzężonej z mikroskopem, która przesyła obraz na monitor komputera wykorzystując oprogramowanie do analizy obrazu NIS-Elements BR (ver. 3.10). Aby narzędzia służące do pomiaru długości obiektów widocznych na obrazie cyfrowym podawały ich rzeczywiste rozmiary, konieczna była manualna kalibracja obiektywu w ustalonej dla niego konfiguracji optycznej. Polegała ona na obserwacji wzorca mikrometrycznego i narysowaniu na obserwowanym „na żywo” (tryb *live*) obrazie cyfrowym odcinka, którego długość odpowiadała określonej długości wzorca mikrometrycznego. Do wyznaczenia średnic ziaren posługiwano się narzędziem do pomiaru długości poprzez manualne wskazanie dwóch skrajnych punktów, natomiast do wyznaczenia długości wewnętrznej osi wydłużonych i skompaktowanych blaszek i klastów przydatne było narzędzie „Polyline” (polilinia) wspomnianego wyżej oprogramowania. Wyznaczane w ten sposób wielkości składników detrytycznych mierzono w mikrometrach (μm) z dokładnością do dwóch miejsc po przecinku i były one zapisywane w skoroszycie arkusza kalkulacyjnego, w którym na bieżąco uzupełniano dane o rodzaju zidentyfikowanego ziarna. I tak wśród składników szkieletowych wyróżniano kwarc, skalenie, okruchy skał obcych, łyszczyki, glaukonit, minerały ciężkie, pirit i detryt roślinny oraz bioklasty. W grupie okruchów skalnych wydzielono fragmenty skał magmowych (mikrogranitody, skały wylewne), metamorficznych (głównie okruchy łupków serycytowych, kwarcowo-serycytowych, muskowitzowych, chlorytowych, czy kwarcowo-chlorytowych, a także gnejsów) oraz osadowych. Wśród tych ostatnich wyróżniono okruchy skał węglanowych (wapieni mikrytowych, monokryształy i polikryształy węglanowe), krzemionkowych (chalcedonity, piaskowce), a także mułowców.

Uzyskane wielkości składników detrytycznych, przeliczone do milimetrów (mm) i uszeregowane rosnąco, zliczano do odpowiednich przedziałów o stałej szerokości równej 1/4 phi [$\Phi = -\log_2(D_{mm})$, gdzie D_{mm} – średnica ziarna liczona w milimetrach]. Najdrobniejsze okruchy kwalifikowane były do klasy pyłu gruboziarnistego, w której wyróżniono cztery przedziały o wartościach granicznych: 5.00, 4.75, 4.50, 4.25 oraz 4.0 phi. Kolejne grubsze frakcje ziarnowe obejmujące klasę piasku bardzo drobnoziarnistego (4.00 – 3.00 phi), drobnoziarnistego (3.00 – 2.00 phi), średnioziarnistego (2.00 – 1.00 phi) i gruboziarnistego (1.00 – 0.00 phi), również zostały podzielone na

interwały co 1/4 phi. Liczebność każdego przedziału mnożono przez środek danego interwału (w jednostkach phi). Otrzymane wartości przeliczano na udziały procentowe każdego interwału w całkowitej sumie tych iloczynów obliczonej dla wszystkich przedziałów. Następnie udziały poszczególnych interwałów stopniowo kumulowano począwszy od najgrubszych do najdrobniejszych frakcji, gdzie wartość skumulowanego udziału osiągała 100%. Ostatecznie z wykresów skumulowanych udziałów poszczególnych frakcji ziarnowych odczytywano rozmiary składników okruchowych (w jednostkach phi) odpowiadające wartościom percentyli (np. Φ_{16} , Φ_{50} , Φ_{84}). Posłużyły one do wyliczenia statystycznych parametrów uziarnienia metodą graficzną przy zastosowaniu formuł Folka & Warda [12] (tab. 1).

Statystyczne parametry uziarnienia wyznaczone metodą graficzną [12]

Do podstawowych statystycznych parametrów opisujących rozkład uziarnienia należy graficzna średnia wielkość ziaren (GSS), graficzne odchylenie standardowe (GSO) oraz graficzna skośność (GSK) (tab. 1).

Graficzną średnią średnicę ziaren (GSS) wylicza się jako średnią arytmetyczną trzech rozmiarów okruchów (phi), które odpowiadają trzem kolejnym percentylom Φ_{16} , Φ_{50} oraz Φ_{84} wyznaczonym z krzywej skumulowanej (formuła 1).

Tab. 1. Formuły do obliczenia statystycznych parametrów uziarnienia metodą graficzną [12]

Tab. 1. Formulas for calculating grain-size statistical parameters using graphical methods [12]

Parametr	Jednostka	Formuła	
Graficzna średnia średnica (GSS)	phi	$GSS = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3}$	(1)
Graficzne odchylenie standardowe (GSO)	phi	$GSO = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} + \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6.6}$	(2)
Graficzna skośność (GSK)	□	$GSK = \frac{\Phi_{84} + \Phi_{16} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_{95} + \Phi_5 - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)}$	(3)

Graficzne odchylenie standardowe (GSO) jako statystyczny parametr, będący miarą rozproszenia wielkości ziaren wokół ich średniej wartości, charakteryzuje stopień wysortowania okruchów. Formuła (2) uwzględniająca cztery wielkości ziaren (phi), odczytywane odpowiednio dla 5., 16., 84. i 95. percentyla, wylicza odchylenie standardowe wyrażone w jednostkach phi. Im wyższa wartość tego parametru tym wysortowanie materiału jest coraz gorsze. Opisowe określenia stopnia wysortowania dla różnych wartości tego parametru podaje, za Folkiem [13], poniższa tabela (tab. 2).

Tab. 2. Stopień wysortowania ziaren a wartości parametru GSO [13]

Tab. 2. Descriptive terms of grain sorting corresponding to phi values of the graphic standard deviation (GSO) [13]

GSO (phi)	Stopień wysortowania ziaren
< 0.35	bardzo dobre
0.35 – 0.50	dobre
0.50 – 0.70	umiarkowanie dobre
0.70 – 1.00	umiarkowane
1.00 – 2.00	złe
2.00 – 4.00	bardzo złe
> 4.00	nadzwyczaj złe

Rozkłady uziarnienia naturalnych osadów odbiegają zazwyczaj od krzywej rozkładu normalnego, której symetryczny dzwonowaty kształt powoduje, że średnia wartość pokrywa się z medianą (Φ_{50}). Rozkład wielkości materiału okruchowego ujawnia natomiast asymetryczność rozkładu albo w kierunku drobniejszych frakcji (pozytywna skośność) albo ku grubszy frakcjom (negatywna skośność). Miarę asymetrii rozkładu uziarnienia stanowi parametr **graficznej skośności (GSK)**, który wylicza się w oparciu o wielkości średnic ziaren (phi) odpowiadające pięciu percentylom Φ_5 , Φ_{16} , Φ_{50} , Φ_{84} , Φ_{95} (formuła 3). Im bardziej wartość parametru GSK oddala się do zera tym skośność rozkładu staje się coraz większa. Rodzaje skośności rozkładu uzależnione od wartości GSK przedstawia poniższa tabela (tab. 3).

Wyniki i dyskusja

1. Zmienność uziarnienia (średnie arytmetyczne wielkości okruchów) i udziały częstościowe pomierzonych składników okruchowych

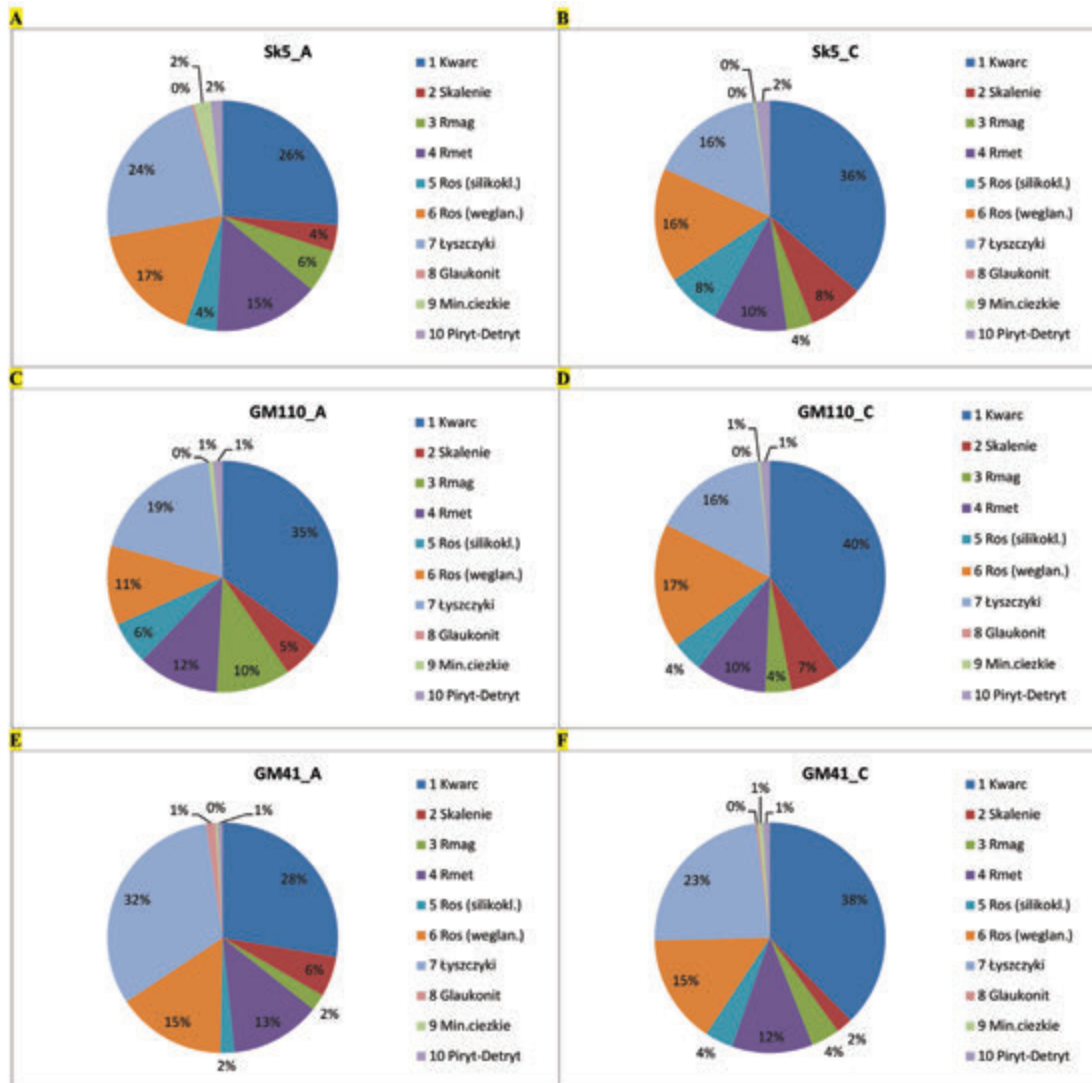
Kwarc i łuszczyki, a także okruchy skał węglanowych i metamorficznych dominują wśród pomierzonych składników detrytycznych trzech badanych próbek skał. W wyraźnie mniejszym udziale reprezentowane są okruchy skał magmowych i

skał silikoklastycznych (czyli krzemionkowych, mułowców i piaskowców,) oraz skalenie; zaś minerały ciężkie, piryty i detryt organiczny wraz z glaukonitem stanowią marginalny składnik oceniany w pomiarach granulometrycznych. Udziały głównych komponentów skały, które zostały uwzględnione w pomiarze granulometrycznym zmieniają się w zależności od

Tab. 3. Rodzaj skośności rozkładu uziarnienia w zależności od wielkości parametru GSK [12]

Tab. 3. Descriptive terms for skewness corresponding to phi values of the graphic skewness (GSK) [12]

GSK	Rodzaj skośności rozkładu
> (+ 0.30)	bardzo pozytywna (silna skośność ku drobnym frakcjom)
(+ 0.30) – (+ 0.10)	pozytywna (skośność ku drobnym frakcjom)
(+ 0.10) – (– 0.10)	prawie symetryczna
(– 0.10) – (– 0.30)	negatywna (skośność ku grubszy frakcjom)
< (– 0.30)	bardzo negatywna (silna skośność ku grubszy frakcjom)



Rys. 1. Udziały częstościowe składników okruszowych pomierzone w szlifach prostopadłych (płaszczyzna A, kolumna lewa) oraz równoległych (płaszczyzna C, kolumna prawa) do uławicenia. Piaskowiec laminowany poziomo (próbka Sk5): (A) – pomiar w szlifie prostopadłym do laminacji (płaszczyzna A), (B) – pomiar w szlifie równoległym do laminacji (płaszczyzna C). Piaskowiec masywny (próbka GM110): (C) – pomiar w szlifie prostopadłym do uławicenia (płaszczyzna A), (D) – pomiar w szlifie równoległym do uławicenia (płaszczyzna C). Piaskowiec laminowany skorupowo (próbka GM41): (E) – pomiar w szlifie prostopadłym do uławicenia (płaszczyzna A), (F) – pomiar w szlifie równoległym do uławicenia (płaszczyzna C)

Fig. 1. Frequency distributions of detrital components measured in thin sections cut perpendicular (surface A, left column) and parallel (surface C, right column) to the bedding plane. The sample of parallel-laminated sandstone (Sk5): (A) – perpendicular thin section, (B) – parallel thin section. The sample of massive (structureless) sandstone (GM110): (C) – perpendicular thin section, (D) – parallel thin section. The sample of convolute-laminated sandstone (GM41): (E) – perpendicular thin section, (F) – parallel thin section. 1 – quartz, 2 – feldspars, 3 – igneous rock fragments, 4 – metamorphic rock fragments, 5 – siliciclastic rock fragments, 6 – carbonate rock fragments, 7 – micas, 8 – glauconite, 9 – heavy minerals, 10 – pyrite & organic matter

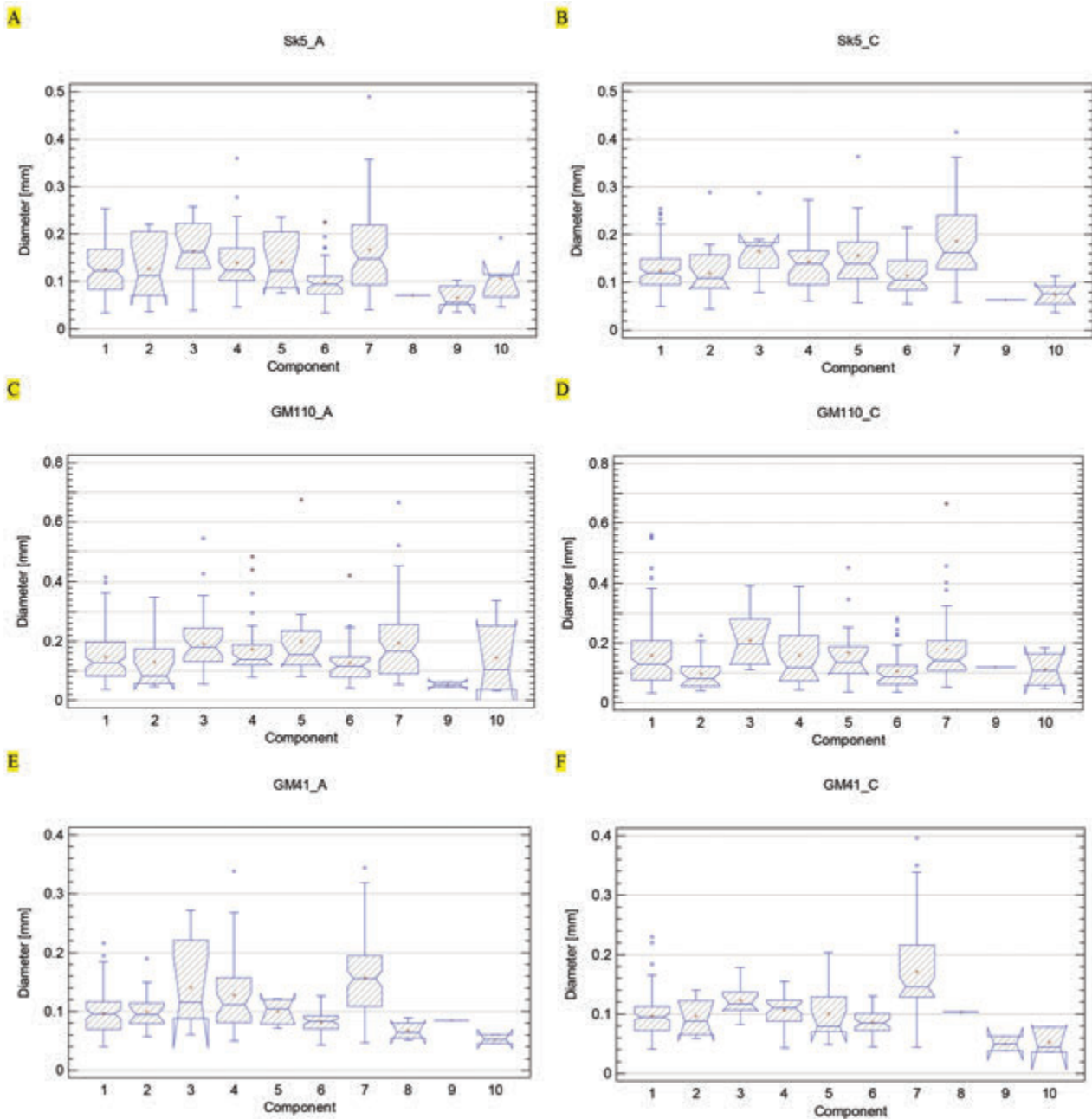
typu piaskowca i orientacji płaszczyzny preparatu mikroskopowego (rys. 1).

W próbce **piaskowca laminowanego poziomo** na linii pomiarowej szlifu ciętego prostopadłe do laminacji (**próbka Sk5 – szlif A**) w podobnym udziale reprezentowane były ziarna kwarcu (26,3%) i blaszki łyszczyków (ok. 23,5%), natomiast okruszy skał węglanowych (16,8%) i metamorficznych (14,8%) pojawiły się rzadziej, stąd ich mniejszy udział w sumie pomierzonych składników (rys. 1A). Podręcznie rejestrowane były litoklasty skał magmowych (6,1%) i osadowych innych niż węglanowe (4,4%) oraz skaleni (3,7%). Największą średnią wielkością odznaczają się blaszki mik (0,1670 mm) i okruszy skał magmowych (0,1643 mm), natomiast przeciętne rozmiary ziaren kwarcu i skaleni są podobne, odpowiednio 0,1260 mm oraz 0,1271 mm (rys. 2 A).

Wśród składników pomierzonych w szlifie równoległym

do powierzchni laminacji poziomej (**próbka Sk5 – szlif C**) dominuje kwarc (36,3%) nad łyszczykami (16,0%) i okruszami skał węglanowych (16,0%) (rys. 1 B). Udziały litoklastów skał metamorficznych i pozostałych skał osadowych (innych niż węglanowe) są mniejsze, odpowiednio 10,3% oraz 7,7%. Podobnie jak w szlifie prostopadłym do laminacji, miki (0,1873 mm) i okruszy skał magmowych (0,1653 mm) wykazują największe średnie wielkości, przy czym dla łyszczyków wartości te są większe. Przeciętne rozmiary kwarcu (0,1243 mm) i skaleni (0,1198 mm) są podobne, ale mniejsze niż w szlifie prostopadłym do laminacji (rys. 2 B).

W próbce **piaskowca masywnego** na linii pomiarowej szlifu orientowanego prostopadłe (**próbka GM110 – szlif A**) do płaszczyzny uławicenia dominuje kwarc (35,1%) nad łyszczykami (18,7%), okruszami skał metamorficznych (11,4%), węglanowych (11,0%) i magmowych (10,4%) oraz litoklastami



Rys. 2. Wykresy typu „pudełko z wąsami” przedstawiające zmienność wielkości poszczególnych składników okruchowych w badanych szlifach. Piaskowiec laminowany poziomo (próbka Sk5): (A) – pomiar w szlifie prostopadłym do laminacji (płaszczyzna A), (B) – pomiar w szlifie równoległym do laminacji (płaszczyzna C). Piaskowiec masywny (próbka GM110): (C) – pomiar w szlifie prostopadłym do uławicenia (płaszczyzna A), (D) – pomiar w szlifie równoległym do uławicenia (płaszczyzna C). Piaskowiec laminowany skorupowo (próbka GM41): (E) – pomiar w szlifie prostopadłym do uławicenia (płaszczyzna A), (F) – pomiar w szlifie równoległym do uławicenia (płaszczyzna C). Oznaczenie numeryczne składników – patrz rys. 1

Fig. 2. Box-whisker plots depicting the grain-size variability of detrital components measured in thin sections cut perpendicular (surface A, left column) and parallel (surface C, right column) to the bedding plane. The sample of parallel-laminated sandstone (Sk5): (A) – perpendicular thin section, (B) – parallel thin section. The sample of massive (structureless) sandstone (GM110): (C) – perpendicular thin section, (D) – parallel thin section. The sample of convolute-laminated sandstone (GM41): (E) – perpendicular thin section, (F) – parallel thin section. Explanations of detrital components in Figure 1

pozostałych skał osadowych (6,0%), a także skaleniami (5,4%) (rys. 1 C). Największy średni rozmiar osiągają fragmenty silikoklastycznych skał osadowych (mułowce, skały krzemionkowe i piaskowce) (0,1997 mm), łyszczyki (0,1943 mm) oraz okruchy skał magmowych (0,1928 mm). Natomiast średnie wielkości ziaren kwarcu i skaleni są zróżnicowane i osiągają odpowiednio 0,1478 mm i 0,1296 mm (rys. 2 C).

W grupie pomierzonych składników w szlifie równoległym do powierzchni spągowej ławicy piaskowca masywnego (**próbka GM110 – szlif C**) dominuje kwarc (40,1%) nad okruchami skał węglanowych (17,3%) i blaszkami łyszczyków (16,0%) (rys. 1 D). W zdecydowanie niższym udziale reprezentowane są

okruchy skał metamorficznych (łupki łyszczykowe i kwarcowo-łyszczykowe) (10,0%) i skalenie (7,0%), a także klasty skał silikoklastycznych (4,3%) i magmowych (3,7%). Najwyższe średnie wartości średnic ziaren osiągają okruchy skał magmowych (0,2098 mm), nieco mniejsze łyszczyki (0,1793 mm) oraz okruchy skał silikoklastycznych (0,1687 mm). W przeciwieństwie do poprzednio opisywanych rezultatów (próbka Sk5) przeciętne wielkości kwarcu i skaleni wyraźnie są różne, odpowiednio 0,1578 mm oraz 0,0981 mm (rys. 2 D).

Na linii pomiarowej szlif zorientowanego prostopadle do płaszczyzny spągowej ławicy piaskowca laminowanego skorupowo (**próbka GM41 – szlif A**) zaznacza się przewaga

łyżczyków (32,0%) nad kwarcem (27,7%), a oba te składniki wyraźnie dominują nad pozostałymi komponentami, okruchami skał węglanowych (15,3%), metamorficznych (12,7%) i skaleni (5,7%) (rys. 1 E). Materiał detrytyczny tej próbki (GM41-szlif A) jest drobniejszy w porównaniu do poprzednio opisanych próbek piaskowca masywnego (GM110-szlif A) i laminowanego poziomo (Sk5-szlif A), gdzie średnie rozmiary największych okruchów osiągały maksymalnie 0,1997 mm (fragmenty skał silikoklastycznych – GM110-szlif A) oraz 0,1670 mm (łyżczyki – Sk5-szlif A). Natomiast w próbce GM41 (szlif A) największe przeciętne rozmiary osiągają blaszki łyżczyków (0,1578 mm) i nieco mniejsze są średnie wielkości okruchów skał magmowych (0,1406 mm) i metamorficznych (0,1280 mm) (rys. 2 E). Zwraca uwagę podobieństwo średnich wymiarów ziaren kwarcu i skaleni, odpowiednio 0,0965 mm oraz 0,0997 mm.

Wśród składników pomierzonych na szlifie równoległym do spągu ławicy piaskowca laminowanego skorupowo (**próbka GM41 – szlif C**) dominują ziarna kwarcu (37,8%) nad blaszkami łyżczyków (23,3%), przy stosunkowo niewielkim udziale okruchów skał węglanowych (15,3%) i metamorficznych (11,3%), i coraz mniej znaczącym udziale litoklastów magmowych (4,0%) i silikoklastycznych (4,0%) (rys. 1 F). Największe średnie rozmiary wykazują blaszki łyżczyków (0,1708 mm), a nieco mniejsze są przeciętne okruchy skał magmowych (0,1236 mm). Średnie wielkości ziaren kwarcu (0,0966 mm) i skaleni (0,0965 mm) są najbardziej zbliżone do siebie i podobną wielkość osiągają średnie dla okruchów skał metamorficznych (0,1070 mm) i silikoklastycznych (0,1007 mm) (rys. 2 F).

Podsumowując, we wszystkich trzech typach piaskowców, udział częstościowy kwarcu wśród pomierzonych składników

okruchowych wzrasta w szlifach orientowanych równolegle do płaszczyzny uławicenia bądź laminacji w porównaniu do udziału tego składnika w szlifach orientowanych prostopadle do tych płaszczyzn. Przyrost ten sięga 10% dla piaskowca laminowanego poziomo (Sk5) i skorupowo (GM41), zaś dla próbki masywnej (GM110) równy jest 5%.

W przypadku łyżczyków ma miejsce odwrotna relacja, są one częściej rejestrowane w „szlifie prostopadłym” do powierzchni uławicenia, rzadziej występowały na linii pomiarowej „szlifów równoległych”. W próbkach piaskowca laminowanego poziomo (Sk5) i skorupowo (GM41) odnotowano największą różnicę udziału częstościowego łyżczyków, odpowiednio 8% oraz 9%. Natomiast w próbce piaskowca masywnego (GM110) różnica udziałów wyniosła około 3%.

Okruchy skał węglanowych w piaskowcach laminowanych (Sk5, GM41) wykazują podobne udziały częstościowe w tych dwóch orientacjach szlifów (linii pomiarowej), natomiast w piaskowcu masywnym (GM110) częściej rejestrowano ten składnik w szlifie poziomym” (wzrost udziału o ok. 6%).

Okruchy skał metamorficznych (głównie łupków łyżczykowych) rzadziej pojawiły się w płaszczyźnie równoległej do uławicenia („szlif równoległy C”). Ich udział zmniejszył się o ok. 5% w piaskowcu laminowanym poziomo (Sk5), zaś w próbce piaskowca laminowanego skorupowo spadł o ok. 1%, nieco większą różnicę, ok. 2%, odnotowano w piaskowcu masywnym (GM110).

Skalenie w piaskowcu masywnym (GM110) i laminowanym poziomo (Sk5) częściej odnotowano w szlifach równoległych, odpowiedni wzrost o ok. 2% i 4%, natomiast w próbce piaskowca laminowanego skorupowo nastąpił spadek udziału o ok. 4%.

Zatem, okruchy o formach blaszkowatych, takie jak łyż-

Tab. 4. Graficzne parametry uziarnienia wyliczone dla (1) wszystkich składników z wyłączeniem łyżczyków oraz (2) tylko dla kwarcu i skaleni w dwóch orientacjach płaszczyzny preparatu względem uławicenia: prostopadłej (płaszczyzna A) i równoległej (płaszczyzna C)

Tab. 4. Grain-size statistical parameters obtained by graphical methods and calculated for all grains excluding micas (1), and confined to the quartz and feldspar particles (2) in two orientations of the thin sections: perpendicular (surface A) and parallel (surface C) to the bedding planes. Abbreviations of the grain-size statistical parameters explained in Table 1

Wariant metody	(1) Wszystkie składniki z wyłączeniem łyżczyków		(2) Kwarc i skalenie (Q+F) lub dodatkowo okruchy skał magmowych (QF+R _{mag})	
	Płaszczyzna A	Płaszczyzna C	Płaszczyzna A	Płaszczyzna C
Piaskowiec masywny (GM110)				
liczba ziaren	243	252	121 (Q+F)	141 (Q+F)
GSS	2,92	3,08	3,03	3,06
GSO	0,86	0,93	0,88	0,91
GSK	0,06	-0,06	0,01	-0,04
Piaskowiec laminowany poziomo (Sk5)				
liczba ziaren	227	252	106 (Q+F+R _{mag})	132 (Q+F)
GSS	3,12	3,08	3,03	3,13
GSO	0,702	0,56	0,703	0,53
GSK	0,03	0,01	0,24	0,04
Piaskowiec laminowany skorupowo (GM41)				
liczba ziaren	204	230	100 (Q+F)	120 (Q+F)
GSS	3,48	3,46	3,44	3,49
GSO	0,54	0,49	0,48	0,51
GSK	-0,11	0,16	0,07	0,19

Objaśnienia skrótów – patrz tab. 1

czyki i łupki łyszczykowe, czy kwarcowo-łyszczykowe, ze względu na swoistą tendencję do płaskorównoległego ułożenia wśród składników szkieletowych tworzących więźbę skały, w płaszczyźnie prostopadłej do powierzchni laminacji, utworzonej przez zorientowane ułożenie składników blaszkowatych, są zdecydowanie częściej widoczne. Natomiast w płaszczyźnie laminacji obserwujemy powierzchnię tych okruchów, przy czym zarówno w pierwszym i drugim cięciu można zaobserwować maksymalny rozmiar.

Dla składników detrytycznych o formach izometrycznych lub zbliżonych do izometrycznych, do których należeć mogą kwarc, skalenie i okruchy skał węglanowych, nie jest istotne w którym cięciu mierzymy maksymalną średnicę ziarna. Jednak izometryczność kształtu jest zależna od frakcji, ziarna grubsze mają wydłużone, nieizometryczne formy, zaś frakcje drobne częściej są izometryczne. Wyraźnie jest to widoczne na przykładzie średniej wielkości ziaren kwarcu i skaleni wyznaczonych dla próbek piaskowca masywnego (GM110), gdzie w cięciu równoległym (0,1578 mm) do uławicenia średnia wielkość kwarcu jest większa niż w cięciu prostopadłym (0,1478 mm). Natomiast w próbkach piaskowców laminowanych poziomo (Sk5) i skorupowo (GM41) odpowiednie przeciętne rozmiary kwarcu są zbliżone, w przypadku pierwszej próbki, odpowiednio: 0,1243 mm i 0,1260 mm, a w drugiej próbce: 0,0966 mm oraz 0,0965 mm.

2. Zmienność rozkładów uziarnienia i zróżnicowanie graficznych parametrów uziarnienia

Parametry uziarnienia wyznaczone metodą graficzną analizowano w dwóch wariantach:

(i) w pierwszym, rozpatrywano rozkład uziarnienia wszystkich pomierzonych składników okruchowych z wyłączeniem łyszczyków,

(ii) w drugim, wzięto pod uwagę rozkład tylko dwóch składników kwarcu i skaleni, przy czym w jednym przypadku, z uwagi na zbyt niską sumę zliczeń kwarcu i skaleni, uwzględniono dodatkowo okruchy skał magmowych, których wahania wielkości odpowiadały zakresowi rozmiarów ziaren kwarcu (próbka Sk5 – szlif w płaszczyźnie A).

Zestawienie statystycznych parametrów uziarnienia uzyskanych metodą graficzną dla opisanych wyżej wariantów analizy zawiera poniższa tabela (tab. 4).

Stwierdzono, że **próbka piaskowca masywnego** (GM110) odznacza się najgrubszym uziarnieniem, gdyż średnia średnica ziarna (GSS) wyliczona w obu analizowanych wariantach rozkładu wielkości ziaren, niezależnie od orientacji preparatu, osiąga najniższe wartości w zakresie piasku drobnoziarnistego i bardzo drobnoziarnistego (GSS: 2,92 – 3,08 phi), a ponadto, wysortowanie materiału okruchowego jest najgorsze spośród badanych próbek, ponieważ wartości parametru GSO są najwyższe (GSO: 0,86 – 0,93 phi), co oznacza umiarkowany stopień jego wysortowania (tab. 4). W każdym wariantcie składu materiału detrytycznego [(1) bez łyszczyków, czy (2) tylko kwarc i skalenie], rozpatrywanego dla szlifów „prostopadłego” (płaszczyzna A) czy „równoległego” (płaszczyzna C) rozkłady uziarnienia są symetryczne (GSK: -0,06 – 0,06), przy czym wartości parametrów średniej średnicy ziarna (GSS) oraz odchylenia standardowego (GSO) są wyższe dla rozkładów uzyskanych dla płaszczyzny C w porównaniu do danych dla płaszczyzny A (tab. 4).

Z drugiej strony, **piaskowiec laminowany skorupowo** (GM41) wykazuje najwyższe wartości parametru GSS (3,44 – 3,49 phi czyli klasa piasku bardzo drobnoziarnistego) oraz najniższe wielkości GSO (0,48 – 0,54 phi) co oznacza, że analizowany materiał detrytyczny jest stosunkowo najlepiej wysortowany (umiarkowanie dobrze i dobrze), zaś jego rozkłady w zależności od orientacji płaszczyzny szlifów i wariantu mierzonych składników są najbardziej zróżnicowane pod względem skośności (tab. 4). Dodatnią skośność (GSK: 0,16 – 0,19) wykazują rozkłady pochodzące ze szlifów zorientowanego równolegle względem uławicenia (**płaszczyzna C**), niezależnie od wariantu analizowanych składników (wszystkie okruchy bez łyszczyków, czy tylko ziarna kwarcu i skaleni), przy czym dobrze wysortowany (GSO: 0,49 phi) jest ten materiał, z którego wyłączono łyszczyki (wariant 1), zaś umiarkowanie dobrze wysortowane (GSO: 0,51 phi) są ziarna kwarcu i skaleni (wariant 2). Natomiast rozkłady uziarnienia uzyskane dla szlifów zorientowanego prostopadle do uławicenia (**płaszczyzna A**) wykazują symetryczność (GSK: 0,07) i dobre wysortowanie (GSO: 0,48 phi) dla materiału złożonego z kwarcu i skaleni (wariant 2) albo są ujemnie skośne (GSK: -0,11) i zarazem umiarkowanie dobrze wysortowane (GSO: 0,54 phi) dla wszystkich składników z wyłączeniem łyszczyków (wariant 1).

Z kolei, próbka **piaskowca laminowanego poziomo** (Sk5) wyróżnia się przeciętnymi wartościami parametru GSS (3,03 – 3,13 phi), ale nadal w zakresie piasku bardzo drobnoziarnistego, oraz umiarkowanym i umiarkowanie dobrym stopniem wysortowania materiału okruchowego (GSO: 0,53-0,703 phi) (tab. 4). Rozkłady uziarnienia otrzymane z pomiarów w szlifie równoległym do laminacji (**płaszczyzna C**) są symetryczne (GSK: 0,01 – 0,04) a materiał okruchowy, z którego wyłączono łyszczyki (wariant 1) lub zaliczono jedynie ziarna kwarcu i skaleni (bez wliczania okruchów skał magmowych, wariant 2) wykazuje umiarkowane dobre wysortowanie (GSO: odpowiednio 0,56 i 0,53 phi). Natomiast materiał detrytyczny pomierzony w szlifie prostopadłym do laminacji (**płaszczyzna A**) wykazuje umiarkowane wysortowanie (GSO: 0,702 – 0,703 phi) i dodatnią skośność (GSK: 0,24) rozkładu wielkości ziaren kwarcu i skaleni oraz okruchów skał magmowych (zmodyfikowany wariant 2), zaś symetryczność rozkładu wszystkich okruchów z wyłączeniem łyszczyków (GSK: 0,03, wariant 1).

3. Współzależność graficznych parametrów uziarnienia

„Bezłyszczykowy” materiał okruchowy (wariant 1)

Jedynie dla materiału detrytycznego, w skład którego wchodzi wszystkie składniki z wyłączeniem łyszczyków (wariant 1) pomierzone w szlifach prostopadłych do uławicenia (**płaszczyzna A**), zależności pomiędzy graficznymi parametrami uziarnienia (GSS, GSO i GSK) opisywane są przez wysokie wartości współczynników determinacji (R^2) (tab. 5). Relacje pomiędzy GSS i GSO oraz GSS i GSK wskazują, że wraz ze spadkiem przeciętnej wielkości ziaren (wzrost GSS, mierzony w jednostkach phi) wzrasta ich wysortowanie (spadek GSO) (rys. 3 A), oraz maleje wartość parametru GSK, co oznacza przejście od symetrycznych do ujemnie skośnych rozkładów uziarnienia (rys. 3 C). Z kolei relacja między GSO i GSK informuje o tym, że w miarę poprawy stopnia wysortowania (spadek GSO) rozkłady zmieniają się od symetrycznych do ujemnie skośnych (spadek GSK) (rys. 3 E).

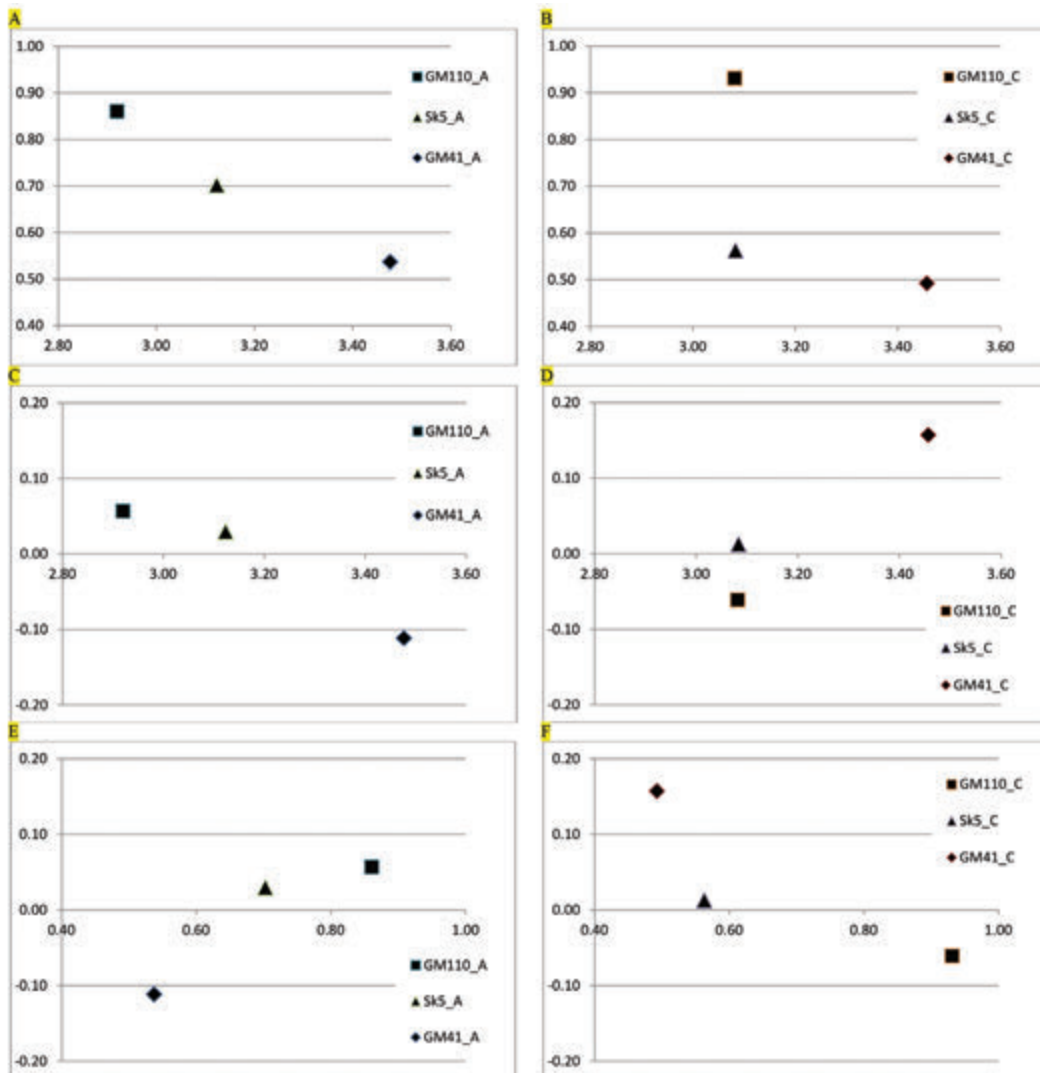
Natomiast „bezłyszczykowy” materiał okruchowy (wariant 1) pomierzony w szlifach równoległych do uławicenia

Tab. 5. Macierz współczynników determinacji (R^2) opisujących współzależność graficznych parametrów uziarnienia określoną dla dwóch wariantów rozkładów wielkości składników okruchowych (1. z wyłączeniem łyszczyków i 2. tylko dla kwarcu i skaleni) uzyskanych przy prostopadłej i równoległej orientacji płaszczyzny szlifowania mikroskopowego względem uławicenia (odpowiednio, płaszczyzna A i C)

Tab. 5. Determination coefficients (R^2) of the interrelations between the grain-size statistical parameters calculated for: (1) all grains excluding micas, and (2) quartz and feldspars only at the thin section orientation perpendicular (surface A) and parallel (surface C) to the bedding plane. For abbreviations of the grain-size statistical parameters see Table 1

Wariant 1	Wszystkie składniki z wyłączeniem łyszczyków					
	Płaszczyzna A			Płaszczyzna C		
	GSS	GSO	GSK	GSS	GSO	GSK
GSS	X	0,98	0,95	X	0,39	0,89
GSO	X	X	0,87	X	X	0,72
GSK	X	X	X	X	X	X
Wariant 2	Kwarc i skalenie lub dodatkowo okruchy skał magmowych					
	Płaszczyzna A			Płaszczyzna C		
	GSS	GSO	GSK	GSS	GSO	GSK
GSS	X	0,81	0,06	X	0,44	0,97
GSO	X	X	0,04	X	X	0,61
GSK	X	X	X	X	X	X

Objaśnienia skrótów – patrz tab. 1



Rys. 3. Zmienność graficznych parametrów uziarnienia wyznaczonych dla wszystkich okruchów z wyłączeniem łyszczyków (wariant 1) pomierzonych w szlifach prostopadłych (płaszczyzna A, kolumna lewa) i równoległych do uławicenia (płaszczyzna C, kolumna prawa). (A) – GSO w funkcji GSS – płaszczyzna A, (B) – GSO w funkcji GSS – płaszczyzna C, (C) – GSK w funkcji GSS – płaszczyzna A, (D) – GSK w funkcji GSS – płaszczyzna C, (E) – GSK w funkcji GSO – płaszczyzna A, (F) – GSK w funkcji GSO – płaszczyzna C

Fig. 3. Scatter diagrams of the grain-size statistical parameters calculated for all grains excluding micas measured in thin sections cut perpendicular (surface A, left column) and parallel (surface C, right column) to the bedding plane. (A) – GSO plotted against GSS – surface A, (B) – GSO plotted against GSS – surface C, (C) – GSK plotted against GSS – surface A, (D) – GSK plotted against GSS – surface C, (E) – GSK plotted against GSO – surface A, (F) – GSK plotted against GSO – surface C. Abbreviations of the grain-size statistical parameters explained in Table 1

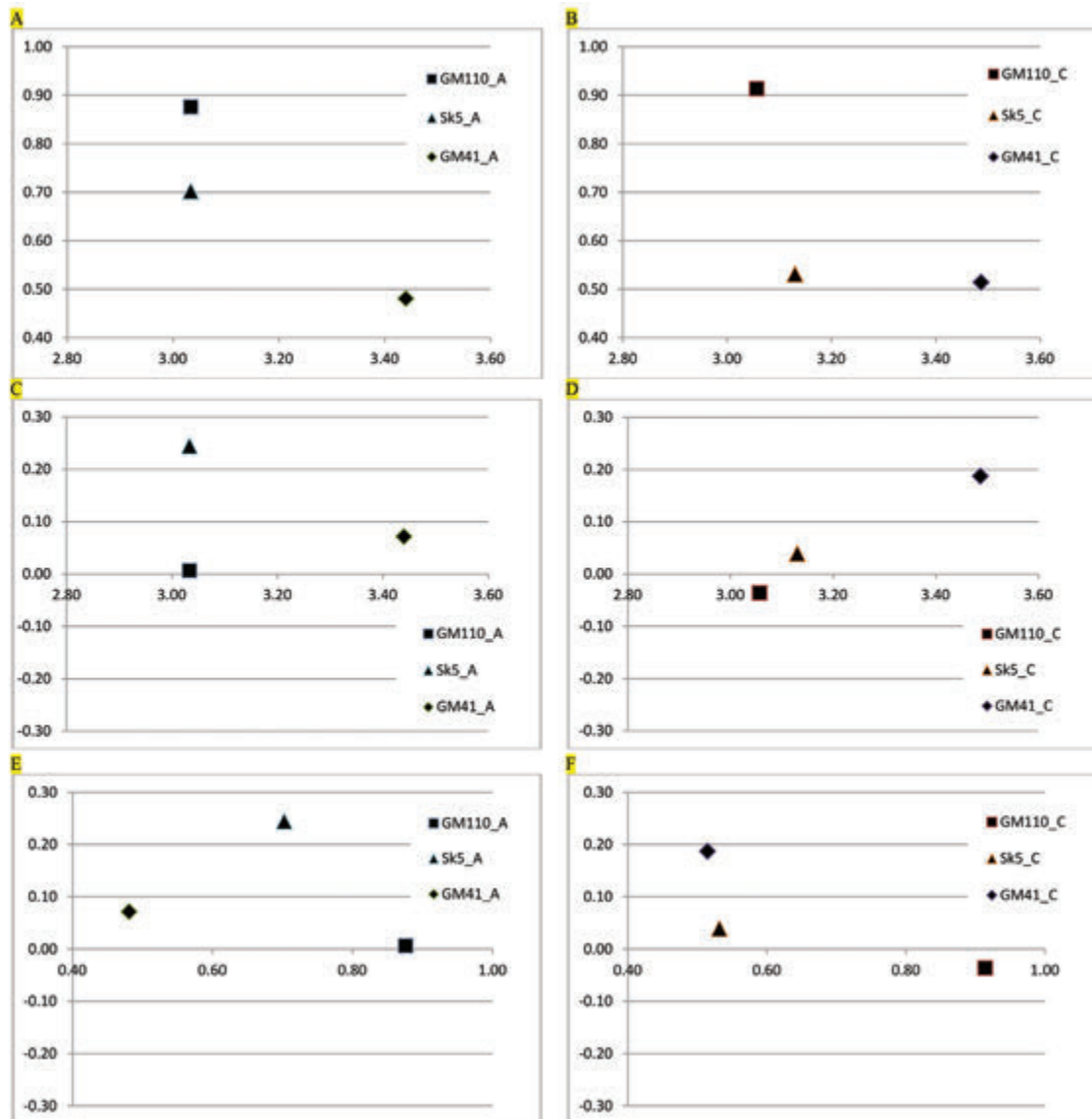
(płaszczyzna C) wykazuje odwrotne relacje między parametrami GSS i GSK oraz GSO i GSK (rys. 3 D, F). Tutaj w miarę spadku wielkości ziaren (wzrost GSS, phi) wzrasta wartość parametru GSK, czyli rozkłady od symetrycznych przechodzą w dodatnio skośne. Natomiast wraz z polepszeniem wysortowania materiału (spadek GSO) rozkłady zmieniają się od symetrycznych do dodatnio skośnych (wzrost GSK).

Rozpatrując dwie skrajne próbki, pierwszą piaskowca masywnego (GM110) o największej średniej średnicy ziaren (GSS niska), i drugą piaskowca laminowanego skorupowo (GM41) o najmniejszej przeciętnej wielkości okruchów (GSS najwyższa), zauważa się, że wartości parametru GSK dla materiału „bezluszczkowego” wyznaczone z rozkładów uziarnienia uzyskanych w szlifach „prostokątnych” (płaszczyzna A) i „równoległych” (płaszczyzna C) zmieniają się od dodatnich (0,06) do ujemnych (-0,06) w przypadku tej pierwszej próbki (GM110) i od ujemnych (-0,11) do dodatnich (0,16) dla drugiej próbki (GM41).

Zatem, w pomiarach granulometrycznych prowadzonych w preparacie, którego płaszczyzna zorientowana jest prostopadle do uławicenia, przy drobniej uziarnionym materiale okruchowym (próbka GM41), pewną domieszkę stanowią frakcje grubsze, powodując ujemną skośność rozkładu. Natomiast, pomiar w płaszczyźnie szlifów równoległej do uławicenia ujawnia domieszkę drobniejszych frakcji ziarnowych, stąd dodatnia skośność rozkładu. Odwrotna sytuacja ma miejsce przy grubszym materiale okruchowym (próbka GM110), gdzie w rozkładzie uzyskanym dla szlifów prostokątnych do uławicenia zaznacza się domieszka frakcji drobniejszej (GSK: 0,06), natomiast rozkład dla szlifów „równoległych” ujawnia domieszkę grubszych ziaren (GSK: -0,06).

„Kwarcowo-skalieniowy” materiał okruchowy (wariant 2)

Zależności pomiędzy graficznymi parametrami uziarnienia (GSS, GSO i GSK), wyznaczonymi dla materiału okruchowego, w którego skład wchodzi ziarna kwarcu i skaleni, i w jednym



Rys. 4. Zmienność graficznych parametrów uziarnienia wyznaczonych dla kwarcu i skaleni (wariant 2) pomierzonych w szlifach prostokątnych (płaszczyzna A, kolumna lewa) i równoległych do uławicenia (płaszczyzna C, kolumna prawa). (A) – GSO w funkcji GSS – płaszczyzna A, (B) – GSO w funkcji GSS – płaszczyzna C, (C) – GSK w funkcji GSS – płaszczyzna A, (D) – GSK w funkcji GSS – płaszczyzna C, (E) – GSK w funkcji GSO – płaszczyzna A, (F) – GSK w funkcji GSO – płaszczyzna C

Fig. 4. Scatter diagrams of the grain-size statistical parameters calculated for the quartz and feldspar particles measured in thin sections cut perpendicular (surface A, left column) and parallel (surface C, right column) to the bedding planes. (A) – GSO plotted against GSS – surface A, (B) – GSO plotted against GSS – surface C, (C) – GSK plotted against GSS – surface A, (D) – GSK plotted against GSS – surface C, (E) – GSK plotted against GSO – surface A, (F) – GSK plotted against GSO – surface C. Abbreviations of the grain-size statistical parameters explained in Table 1

przypadku również litoklasty magmowe (głównie okruchy kwarcowo-skaleniowe), wykazują znaczące współczynniki determinacji (R^2) tylko dla relacji między GSS i GSO (dane dla płaszczyzny A prostopadłej do uławicenia) oraz relacji pomiędzy GSK a GSS oraz GSO (rozkłady dla płaszczyzny C równoległej do uławicenia) (tab. 5).

Porównując odpowiednie zależności między średnią średnicą ziaren (GSS) a odchyleniem standardowym (GSO) można stwierdzić, że populacja „kwarcowo-skaleniowa” pomierzona w płaszczyźnie szlif prostopadłego do uławicenia (płaszczyzna A), a także ta oceniona w szlifie równoległym (płaszczyzna C) zachowuje się podobnie jak „bezlyszczkowy” materiał okruskowy (odpowiednio, rys. 4 A, B oraz rys. 3 A, B).

Podobny charakter mają również odpowiednie relacje pomiędzy skośnością (GSK) i parametrem GSS, a także GSO wyznaczone dla rozkładów uziarnienia „kwarcowo-skaleniowego” i „bezlyszczkowego” materiału, które uzyskano w szlifach równoległych do uławicenia (**płaszczyzna C**) (odpowiednio, rys. 4 D, F oraz rys. 3 D, F). I również tutaj przeciwstawnie zachowują się dwie skrajne próbki, najdrobniej uziarniona próbka piaskowca laminowanego skorupowo (GM41) oraz próbka o najgrubszym ziarnie piaskowca masywnego (GM110) (rys. 4 D, F). W pierwszej próbce (GM41) rozkład ziaren kwarcowo-skaleniowych wzbogacony jest o domieszkę drobnych frakcji (GSK: 0,19), natomiast w drugiej próbce (GM110) ujemna wartość parametru GSK (-0,04) zaznacza obecność grubszych frakcji.

Natomiast dla rozkładów wielkości ziaren kwarcu i skaleni, które uzyskano z pomiarów na szlifach prostopadłych do uławicenia (**płaszczyzna A**) brak jest zależności między skośnością (GSK) i GSS, a także parametrem GSO (rys. 4 C, E). Owe dwie, wcześniej opisywane jako przeciwstawne próbki piaskowca masywnego (GM110) i laminowanego skorupowo (GM41), przy pomiarze „kwarcowo-skaleniowego” materiału okruskowego w szlifie prostopadłym do powierzchni uławicenia (**płaszczyzna A**), wykazują dodatnie wartości parametru GSK, przy czym rozkład tej pierwszej próbki jest wybitnie symetryczny (GSK: 0,01), zaś tej drugiej skośny ku drobniejszym frakcjom (GSK: 0,07). Na wykresach zależności pomiędzy GSK i GSS, a także GSO odmiennie zachowuje się próbka piaskowca laminowanego poziomo (Sk5), której rozkład uziarnienia jest wyraźnie dodatnio skośny (GSK: 0,24), niezależnie od tego czy zostaną uwzględnione okruchy skał magmowych czy nie.

Podsumowanie

Mikroskopowa analiza granulometryczna wykonana dla trzech próbek reprezentujących piaskowce masywne (GM110), laminowane poziomo (Sk5) oraz skorupowo (GM41) na szlifach

zorientowanych prostopadle i równoległe do powierzchni uławicenia, przy użyciu kamery cyfrowej sprzężonej z mikroskopem polaryzacyjnym i odpowiednich narzędzi oprogramowania do analizy obrazu pozwoliła na pomiar maksymalnych średnic ziaren, bądź wewnętrznych osi wydłużonych klastów przy jednoczesnej identyfikacji rodzaju składnika detrytycznego.

Uzyskane w ten sposób dane dla dwóch różnych orientacji płaszczyzny preparatu pozwoliły na ocenę zróżnicowania wielkości poszczególnych składników detrytycznych (rys. 2) oraz ich udziałów częstościowych w ogólnej liczbie pomierzonych okruszków (rys. 1), i potwierdziły zasadność wyłączenia łyszczków z analizy granulometrycznej, ponieważ zarówno udziały częstościowe, jak i rozmiary tego składnika są uzależnione od orientacji preparatu. Dlatego rozkłady uziarnienia analizowano dla dwóch wariantów składu materiału okruskowego: „bezlyszczkowego” (wszystkie składniki z wyłączeniem mik) oraz „kwarcowo-skaleniowego” (tylko ziarna kwarcu i skaleni). Ten ostatni wariant zastosowano w celu eliminacji wpływu kształtu okruszków na mierzoną ich wielkość. Analizie porównawczej podlegały graficzne parametry uziarnienia wyliczone na podstawie krzywych kumulacyjnych w oparciu o formuły Folka i Warda [12] oraz ich wzajemne relacje.

Dla „bezlyszczkowego” materiału okruskowego zależności między skośnością (GSK) i średnią średnicą ziaren (GSS), a także odchyleniem standardowym (GSO) są silne, zarówno dla rozkładów pomierzonych w szlifie prostopadłym (płaszczyzna A), jak i równoległym do uławicenia (płaszczyzna C), przy czym relacje te zachowują się odwrotnie, to znaczy, jeśli dla płaszczyzny A zależność opisuje funkcja malejąca to dla płaszczyzny C – funkcję rosnącą (rys. 3 C – F). Dla materiału „kwarcowo-skaleniowego” relacje skośności (GSK) z pozostałymi parametrami GSS i GSO są czytelne tylko dla rozkładów uziarnienia uzyskanych z pomiarów w szlifach równoległych (płaszczyzna C), a tendencja zmian parametrów zgodna jest z odpowiednimi zależnościami dla materiału „bezlyszczkowego” (rys. 4).

Analiza granulometryczna i uzyskane w jej toku parametry uziarnienia wrażliwe są na wiele czynników, których wpływu nie można wyeliminować, ale trzeba być świadomym ich oddziaływania. Rozkłady uziarnienia można badać w różnych ujęciach w zależności od celu analizy, biorąc pod uwagę zmienność udziałów częstościowych mierzonych składników detrytycznych oraz zróżnicowanie kształtu ziaren i klastów, na które wpływ ma skład mineralny ziaren i okruszków oraz orientacja szlifów mikroskopowych. Wydłużone i płaskie składniki okruskowe, takie jak łyszczki i okruchy łupków, zazwyczaj pomijane w pomiarach granulometrycznych, mają istotny wpływ na anizotropię właściwości skały.

Praca powstała dzięki wsparciu finansowemu z grantu statutowego numer 11.11.140.320.

Literatura

- [1] Pettijohn F.J., Potter P.E., Siever R., Sand and Sandstone. 2nd ed., Springer-Verlag, Berlin, 1982
- [2] Boggs S. Jr., Petrology of Sedimentary Rocks. Cambridge University Press, New York, 2009
- [3] Van der Plas L., Preliminary note on the granulometric analysis of sedimentary rocks. Sedimentology, 1, 145-157, 1962

- [4] Textoris D.A., Grain-size measurement in thin-section. [W:] *Procedures in Sedimentary Petrology*. (ed. by Carver R.E.), s. 95-107, Wiley-Interscience, New York, 1971
- [5] Johnson M.R., Thin section grain size analysis revisited. *Sedimentology*, 41, 1994
- [6] Bromowicz J., Zmienność facjalna i wykształcenie litologiczne piaskowców inoceramowych jednostki skolskiej między Rzeszowem a Przemyślem. *Prace Geologiczne*, 84, PAN, Oddział w Krakowie, Komisja Nauk Geologicznych, 1974
- [7] Moroz-Kopczyńska M., Litologia piaskowców krośnieńskich w obszarze między Istebną a Myślenicami w świetle ich wykorzystania w przemyśle materiałów budowlanych. *Prace Geologiczne*, 104, PAN, Oddział w Krakowie, Komisja Nauk Geologicznych, 1977
- [8] Peszat C., Zmienność składu petrograficzno-mineralnego piaskowców cergowskich na tle warunków ich depozycji i przemian diagenetycznych. *Biuletyn Instytutu Geologicznego*, 346, 1984
- [9] Griffiths J.C., *Scientific Method in Analysis of Sediments*. McGraw-Hill, New York, 1967
- [10] Barret P.J., Petrology of some Beacon rocks between the Axel Heiberg and Shackleton Glaciers, Queen Maud Range, Antarctica. *Journal of Sedimentary Petrology*, 36, 794-805, 1966
- [11] McManus J., Grain size determination and interpretation. [W:] *Techniques in Sedimentology* (ed. by Tucker M.), s. 63-85, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1988
- [12] Folk R.L., Ward W.C., Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 1, 3-26, 1957
- [13] Folk R.L., *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publishing Co., Austin, Texas, 1974



fot. A. Borowicz

Górno, Wzrobisko A w Kopalni Józefka