



MINERAŁY CIĘŻKIE W PROFILU UTWORÓW MIOCENU W OTWORZE WIERTNICZYM KAZIMIERZA WIELKA (DONOSY) PIG-1 (PÓŁNOCNY SKRAJ ZAPADLIKA PRZEDKARPACKIEGO)

HEAVY MINERALS IN THE MIOCENE DEPOSITS FROM THE KAZIMIERZA WIELKA (DONOSY) PIG-1 BOREHOLE (NORTHERN MARGIN OF THE CARPATHIAN FOREDEEP)

REGINA KRAMARSKA¹

Abstrakt. W artykule przedstawiono wyniki badań uziarnienia i składu minerałów ciężkich w sześciu próbkach utworów środkowego miocenu (formacja z Machowa) z otworu wiertniczego Kazimierza Wielka (Donosy) PIG-1². Wyróżniona asocjacja granatów z cyrkonem, turmalinem, staurolitem i biotytem wskazuje na flisz karpacki jako najbardziej prawdopodobne źródło pochodzenia minerałów detrytycznych badanej formacji.

Słowa kluczowe: minerały ciężkie, formacja z Machowa, zapadlisko przedkarpackie.

Abstract. The paper presents the results of grain size and mineral content studies of six samples taken from Middle Miocene deposits (Machów Formation) in the Kazimierza Wielka (Donosy) PIG-1 borehole. The distinguished garnet association with zirconium, tourmaline, staurolite, and biotite suggests the Carpathian Flysch Belt as the most possible source area of the detrital minerals in the formation.

Key words: heavy minerals, Machów Formation, Carpathian Foredeep.

WSTĘP

Otwór wiertniczy Kazimierza Wielka (Donosy) PIG-1 (fig. 1) wykonano w celu zbadania wykształcenia utworów miocenu z pogranicza badenu i sarmatu występujących w północnej części zapadliska przedkarpackiego (Czapowski, Gąsiewicz, 2015). W profilu otworu, pod osadami czwartorzędowymi, wyróżniono utwory formacji z Machowa występujące na głębokości 27,30–188,74 m. Są one reprezentowane przez wapniste ropy i mułki piaszczyste oraz wkładki kwarcowych piasków drobno- i średnioziarnistych, miejscami z drobnym żwirem. Są to utwory typowe dla nad-

kładu poziomego ewaporatowego brzeżnej północnej części zapadliska przedkarpackiego (np. Czapowski, 1994; Gąsiewicz i in., 2004 z literaturą). Wiercenie zakończono na głębokości 191,0 m w utworach siarczanowych (gipsy i brekcje gipsowe) z wkładkami węglanowymi i ilastymi, zaliczonych do formacji z Krzyżanowic (Czapowski, Gąsiewicz, 2015).

W świetle wyników dotychczasowych badań obszar alimentacyjny dla depozycji grubej pokrywy drobnoziarnistych osadów klastycznych brzeżnej strefy zapadliska nie

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Geologii Morza, ul. Kościarska 5, 80-328 Gdańsk; e-mail: regina.kramarska@pgi.gov.pl.

² Nazwy otworów wiertniczych podano zgodnie z dokumentacją.

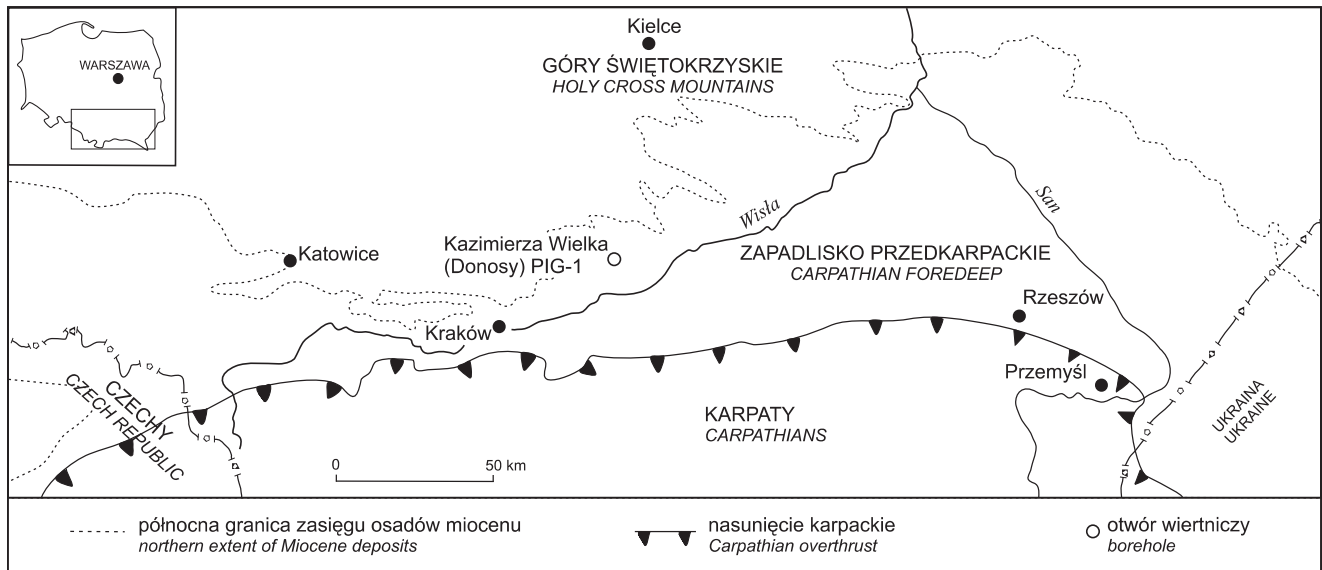


Fig. 1. Lokalizacja otworu wiertniczego Kazimierza Wielka (Donosy) PIG-1 na terenie zapadliska przedkarpackiego (wg Paruch-Kulczyckiej, 2015)

Location of the Kazimierza Wielka (Donosy) PIG-1 borehole in the Carpathian Foredeep area (after Paruch-Kulczycka, 2015)

został jednoznacznie określony. Osady z przewarstwień piaszczystych występujących w formacji z Machowa poddano analizom, których celem była charakterystyka zespołów

minerałów ciężkich i próba ustalenia źródeł alimentacji materiału detrytycznego.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Badaniom w laboratorium Oddziału Geologii Morza Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego w Gdańsku poddano sześć próbek pobranych z przewarstwień piaszczystych występujących wśród osadów mułkowo-ilastych zaliczanych do formacji z Machowa.

Próbki osadów poddano analizie sitowej na sucho, przy użyciu zestawu Analysette-3 firmy Fritsch. Zastosowano podział na frakcje ziarnowe według Wentwortha (1922), stosując zestaw sit o średnicach oczek co 1 ϕ : 1,0–0,5–0,25–0,125–0,063 mm. Wskaźniki uziarnienia obliczono według wzorów Folka i Warda (1957), a wyniki przedstawiono na diagramie Passegi (1964).

Badano minerały ciężkie frakcji 0,063–0,5 mm, bez uprzedniego oczyszczenia materiału z tlenków i wodorotlenków żelaza oraz bez usunięcia węglanów. Wydzielenie frakcji ciężkiej przeprowadzono w roztworze wodnym poli-wolfrašanu sodu o ciężarze właściwym 2,9 g/cm³. Preparaty

mikroskopowe przygotowano standardowo, przez zatopienie ziaren w balsamie kanadyjskim. Minerale identyfikowano w świetle przechodzącym w mikroskopie polaryzacyjnym Nikon OPTIPHOT2-POL, koncentrując się na minerałach przezroczystych. Ustalono również procentową zawartość składników nieprzezroczystych, bez określania ich składu jakościowego. Zasadą ustalania procentowej zawartości poszczególnych minerałów było zliczanie w preparatach ziaren do uzyskania 300 ziaren minerałów przezroczystych, a w przypadku niskiej frekwencji zliczano wszystkie ziarna w preparacie. Nie liczono składników autogenicznych, reprezentowanych w preparatach przez minerały węglanowe. Glaukonit, który ze względu na gęstość dochodzącą do 2,9 g/cm³ częściowo przechodzi do frakcji minerałów ciężkich, również pominięto w analizie z uwagi na możliwość występowania w preparatach zarówno autogenicznych ziaren tego minerału, jak i ziaren pochodzących ze skał starszych.

WYNIKI BADAŃ

Opróbowane warstwy piasków w otworze Kazimierza Wielka (Donosy) PIG-1 zostały przewiercone w trzech przedziałach głębokości: 79,09–79,40 m, 105,12–110,61 m

i 121,15–135,12 m (Czapowski, Gaśiewicz, 2015). Występują one wśród beżowych i beżowoszarych ilów i ilowców wapienistych rytmicznie laminowanych szarym mułkiem.

Serie piaszczyste są podobne makroskopowo, tworzą je jasno-beżowe wapienste piaski z muskowitem, przeważnie bezteksturalne. Pojedyncze zmarszczki, poziome smugowanie lub laminacja są widoczne tylko miejscami. W osadach brak makrofauny, gdzieś pojawia się uwęglony detrytus roślinny lub pojedyncze fragmenty roślin.

SKŁAD ZIARNOWY

Wyniki badań składu ziarnowego sześciu próbek utworów piaszczystych zamieszczono w tabeli 1.

Próbka KW(D)-1 z głębokości 79,25 m reprezentuje górne przewarstwienie piaszczyste. Jest to piasek drobnoziarnisty o średnicy ziarna (M_z) wynoszącej średnio 2,57 ϕ (0,17 mm) i umiarkowanym wysortowaniu ($\sigma_1 = 0,96$). Rozkład wielkości ziarna jest wyraźnie przesunięty w kierunku frakcji drobniejszych (dodatnio skośny – $Sk_1 = 0,33$).

Dwie kolejne próbki osadów – KW(D)-2 (głęb. 105,5 m) i KW(D)-3 (głęb. 109,7 m) – pochodzą odpowiednio ze stropu i spągu środkowej serii piaszczystej. Jest to piasek drobnoziarnisty z domieszką średnioziarnistego ($M_z = 2,28 \phi$ i 2,09 ϕ), źle wysortowany ($\sigma_1 = 1,0$). Frakcje 0,063–0,25 mm i 0,25–0,5 mm występują w podobnych ilościach, każda stanowi nieco ponad 40% całej próbki. W próbce KW(D)-3 rozkład wielkości ziarna jest przesunięty w stronę frakcji grubszych, a osad zawiera ponad 10% frakcji powyżej 0,5 mm. W próbce KW(D)-2 większa jest domieszka frakcji mułkowej (9,3%).

Próbkę KW(D)-4 z głębokości 120,8 m tworzy piasek drobnoziarnisty z domieszką bardzo drobnoziarnistego ($M_z = 2,83 \phi$), umiarkowanie wysortowany ($\sigma_1 = 0,77$). Próbkę ta została pobrana ponad stropem dolnej serii piaszczystej,

z interwału laminowanych utworów ilasto-mułkowych, zapiaszczonych i zbioturbowanych, zdeponowanych w środowisku głębokiego otwartego basenu (Czapowski, Gąsiewicz, 2015).

Próbki KW(D)-5 (głęb. 126,2 m) i KW(D)-6 (głęb. 134,5 m) pobrano z najniższej serii piaszczystej. Jej osady charakteryzuje nieco drobniejsza frakcja niż w serii środkowej. Średnia średnica ziaren odpowiada frakcji drobnopiaszczystej (0,125–0,25 mm) i wynosi 2,28 ϕ w próbce KW(D)-6, pochodzącej ze spągu przewarstwienia, oraz 2,32 ϕ w próbce KW(D)-5, z jego stropu. Wysortowanie osadów jest lepsze w stropie serii piaszczystej ($\sigma_1 = 0,96$), w jej spągu jest słabe ($\sigma_1 = 1,15$), a rozkład wielkości ziarna z dodatnio skośnego w spągu ($Sk_1 = 0,28$) staje się prawie symetryczny w stropie ($Sk_1 = 0,09$).

MINERAŁY CIĘŻKIE

Skład i zawartość procentową minerałów ciężkich wyróżnionych w wyniku analizy mikroskopowej próbek przedstawiono na figurze 2. Badane osady są bardzo ubogie w alloogeniczne składniki frakcji ciężkiej. W preparatach proszkowych składniki te są rozproszone w masie bardzo drobnych romboedrycznych kryształków autigenicznego kalcytu i nieco większych, bezkształtnych ziaren węglanowych pokrytych wodorotlenkami żelaza, a także występującego w dość dużej ilości glaukonitu. Jest też prawdopodobne, że część minerałów przezroczystych jest pokryta autigenicznymi uwodnionymi tlenkami żelaza. Z tego względu ilość frakcji ciężkiej podana na figurze 2 jest tylko orientacyjna.

Analizowany zespół alloogenicznych minerałów ciężkich składa się głównie z minerałów przezroczystych, których

Tabela 1

Skład ziarnowy próbek osadów z otworu wiertniczego Kazimierza Wielka (Donosy) PIG-1

Grain size of deposit samples from the Kazimierza Wielka (Donosy) PIG-1 borehole

Nr próbki	Głębokość [m]	Przedziały frakcji ziarnowych [mm]						Wskaźniki uziarnienia według Fola i Warda (1957)					Pole na diagramie C-M Passegi (1964)
		>1,0	0,5–1,0	0,25–0,5	0,125–0,25	0,063–0,125	<0,063	M_z [mm]	M_z [ϕ]	σ_1 [ϕ]	Sk_1 [ϕ]	K_G [ϕ]	
KW(D)-1	79,25	0,07	0,64	30,38	44,79	13,22	10,90	0,17	2,57	0,96	0,33	1,28	V
KW(D)-2	105,50	0,07	3,84	41,78	35,10	9,91	9,30	0,21	2,28	1,00	0,36	1,30	IV
KW(D)-3	109,70	0,67	10,17	40,90	30,48	11,51	6,27	0,23	2,09	1,01	0,23	1,12	IV
KW(D)-4	120,80	0,01	0,13	11,58	55,09	23,85	9,34	0,14	2,83	0,77	0,21	1,12	V
KW(D)-5	126,20	0,29	6,99	31,55	38,17	17,41	5,59	0,20	2,32	0,96	0,09	1,03	IV
KW(D)-6	134,50	0,28	9,70	37,46	27,84	14,72	10,00	0,21	2,28	1,15	0,28	1,05	IV

M_z – średnia średnica, σ_1 – odchylenie standardowe (miara wysortowania), Sk_1 – skośność, K_G – spłaszczenie
 M_z – mean size, σ_1 – standard deviation (measure of sorting), Sk_1 – skewness, K_G – kurtosis

Próbka/ Sample	Głębokość/ Depth [m]	Minerały ciężkie [% wag.] Heavy minerals [wt. %]	Liczba ziaren nieprzezroczystych Number of opaque grains	Liczba ziaren przezroczystych Number of non-opaque grains	Minerały nieprzezroczyste Opaque minerals [%]	Minerały przezroczyste Non-opaque minerals [%]	Minerały przezroczyste/ Non-opaque minerals [%]											
							granaty/ garnets	cyrkon/ zircon	rutyl/ rutile	turmalin tourmaline	staurolit staurolite	dysten/ disthene	chloryt/ chlorite	biotyt/ biotite	andaluzyt andalusite	epidot/ epidote	apatyt/ apatite	inne/ others
KW(D)-1	79,25	0,68	34	155	18,0	82,0	39,6	5,2	1,3	5,2	1,9	0,0	9,0	32,2	0,6	3,2	1,9	0,0
KW(D)-2	105,50	0,76	31	180	14,7	85,3	26,1	5,6	0,6	5,0	2,2	0,0	15,6	44,4	0,0	0,0	0,6	0,0
KW(D)-3	109,70	0,81	47	300	13,5	86,5	33,0	9,3	3,0	2,7	2,3	0,0	16,0	31,3	0,7	1,0	0,0	0,7
KW(D)-4	120,80	0,70	17	274	5,8	94,2	15,0	0,7	0,0	2,9	3,3	0,7	14,6	61,7	0,4	0,4	0,0	0,4
KW(D)-5	126,20	0,86	30	300	8,7	91,3	36,7	15,7	5,7	2,7	3,3	0,0	12,3	20,3	0,3	1,7	1,3	0,0
KW(D)-6	134,50	0,85	18	300	5,7	94,3	27,0	7,3	2,0	2,3	2,7	1,3	19,3	36,7	0,0	0,0	0,3	1,0

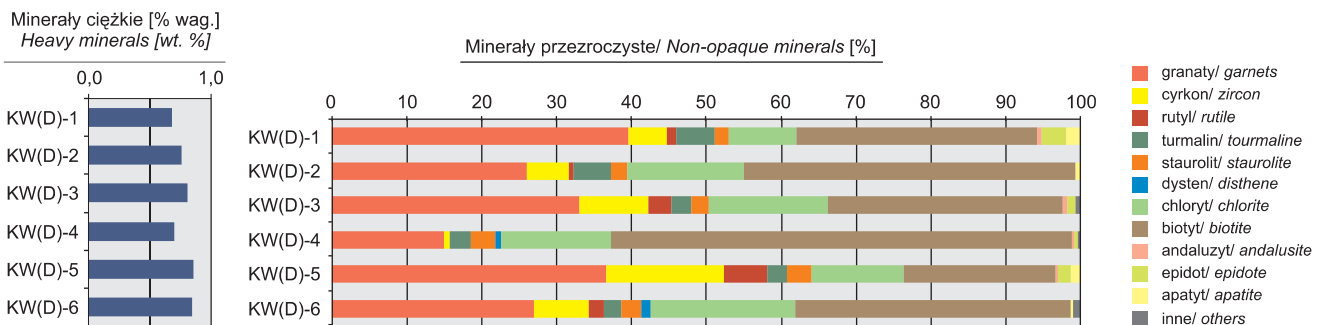


Fig. 2. Zawartość minerałów ciężkich w próbkach osadów z otworu wiertniczego Kazimierza Wielka (Donosy) PIG-1

Content of heavy minerals in deposit samples from the Kazimierza Wielka (Donosy) PIG-1 borehole

sumaryczny udział w poszczególnych próbkach wynosi 82,0–94,3%. Zawartość składników nieprzezroczystych jest podrzędna (5,7–18,0%). We wszystkich zbadanych próbkach skład jakościowy minerałów ciężkich jest podobny.

Wśród minerałów przezroczystych dominują granaty, biotyt i chloryty, oprócz nich obecne są również cyrkon z rutylem oraz podrzędnie turmalin i staurolit. Epidoty, amfibole, dysten, andaluzyt, sylimanit i apatyt występują tylko w niektórych próbkach jako nieliczne lub pojedyncze ziarna.

Granaty mają postać ziaren nieregularnych, przeważnie słabo obtoczonych, niekiedy o dachówkowatych powierzchniach. Bezbarwne lub bladioróżowe minerały to prawdopodobnie almandyny. Zawartość granatów w próbkach waha się od 15,0 do 39,6% całego zespołu minerałów przezroczystych.

Biotyt jest obecny w postaci różnej wielkości brunatnych blaszek, często odbarwionych na krawędziach. Liczne są w nich czarne nieregularne wrostki tlenków żelaza, zaś sporadycznie występują cienkie igiełki, prawdopodobnie rutylu, układające się w typową siatkę sagenitową. Zawartość biotyty wynosi 20,3–61,7%. Maksymalny udział odpowiada próbce osadów powstałych w głębokowodnej strefie depozycji w otwartym basenie sedimentacyjnym.

Chloryt, występujący w ilości 9,0–19,3%, w zależności od grubości łuseczek odznacza się różną intensywnością barwy szarzielonkawej.

Cyrkon, stwierdzony w ilości 0,7–15,7%, jest bezbarwny i ma najczęściej postać ziaren częściowo obtoczonych lub ułamków słupków o zaokrąglonych krawędziach. Ziarna idiomorficzne zakończone piramidami występują rzadko. Postać ułamków słupków, częściowo obtoczonych, ma też czerwonobrunatny rutyl, występujący w ilości do 5,7%.

Turmalin (zawartość 2,3–5,2%) tworzy ziarna nieforemne, odznaczające się silnym pleochroizmem, najczęściej w barwach żółtawych do oliwkowobrunatnych lub brunatnych, rzadko zielonkawych lub niebieskawych.

Staurolit ma formę bezkształtnych ziaren różnej wielkości, o charakterystycznej żółtopomarańczowej barwie ze słabym pleochroizmem. Mineral ten stanowi 1,9–3,3% całego zespołu minerałów przezroczystych.

Pozostałe, rzadziej występujące minerały mają postać mniej lub bardziej obtoczonych ziaren o typowych cechach diagnostycznych. Dysten zwykle ma zachowany pokrój tabliczkowy z wyraźną łupliwością, a jego nieliczne ziarna charakteryzuje pleochroizm w niebieskich barwach. Epidoty odznaczają się pistacjową barwą lub są bezbarwne. Nieforemne okruchy andaluzytu wykazują słaby pleochroizm w różowych barwach. Amfibole są reprezentowane przez zielonkawą hornblendę. Apatyt tworzy owalne ziarna o bardzo słabej dwójłomności. Pojedyncze ziarna sylimanitu mają włóknistą strukturę fibrolitu.

DYSKUSJA WYNIKÓW

Zbadanie tylko kilku próbek pochodzących z jednego profilu wiertniczego ma przyczynkowy charakter i upoważnia jedynie do sformułowania ogólnych wniosków na temat pochodzenia materiału osadowego i procesów depozycji.

Analizowane próbki pobrano z osadów piaszczystych, silnie wapnistych. W składzie ziarnowym piasków brak wyraźnej dominacji określonej frakcji modalnej. W zbliżonych ilościach występuje frakcja piasku średniego (0,25–0,5 mm) lub drobnego (0,125–0,25 mm), przy czym znaczna jest domieszka frakcji bardzo drobnopiaszczystej (0,063–0,125 mm) i mułkowej (<0,063 mm). Ziarna piasku grubego (>0,5 mm) są obecne w podrzędnej ilości (przeważnie do kilku procent). W seriach piaszczystych o większej miąższości – serii dolnej i środkowej – nieznacznie maleje średnia średnica ziarna ku górze danej serii i nieco polepsza się wysortowanie, jednak selekcja granulometryczna jest słaba. Depozycja osadów, według diagramu C-M (Passega, 1964), zachodziła głównie z zawiesiny frakcjonalnej, transportowanej w warunkach umiarkowanej (pole V) lub dużej turbulencji (pole IV). Część ziaren z próbek KW(D)-2, KW(D)-3, KW(D)-5 i KW(D)-6 była przemieszczana w osadzie w procesie tocznia (fig. 3).

Stwierdzona w próbkach asocjacja przezroczystych minerałów ciężkich składa się z minerałów o różnej odporności na wietrzenie fizyczne i chemiczne oraz na transport. Asocjacji

granatu z minerałami stabilnymi, reprezentowanymi głównie przez cyrkon, rutil, turmalin i staurolit, ilościowo dorównują lub przewyższają ją mniej odporne na wietrzenie biotyt z chlozytem. Przewaga w osadzie ziaren nieforemnych, częściowo obtoczonych i znikoma ilość ziaren idiomorficznych są wskazówkami redepozycji minerałów, pochodzących głównie ze skał osadowych, dla których pierwotnym źródłem alimentacji były krystaliczne skały magmowe i metamorficzne.

Wydaje się, że słaba dojrzałość granulometryczna osadów, przejawiająca się w umiarkowanym i złym wysortowaniu, oraz nienajlepszy stopień obróbki ziaren minerałów ciężkich świadczą o transporcie raczej krótkotrwałym, niemającym zasadniczego wpływu na selekcję mineralogiczną zachodzącą podczas redepozycji. Znaczne ilości łuszczyków w osadach z analizowanego profilu mogą mieć związek z hydrodynamicznymi warunkami sprzyjającymi depozycji ziaren o określonej gęstości i pokroju blaszkowym. Dość ubogi gatunkowo zespół mineralny o wyjątkowo niskiej zawartości lub braku minerałów słabo odpornych, takich jak amfibole i pirokseny, wynika zapewne ze składu osadów źródłowych.

Rozpoznany zespół minerałów ciężkich jest podobny do zespołów opisywanych wielokrotnie z osadów fliszu zachodniej (Burtan, Szczurowska, 1964; Nowak, Szczurowska, 1964; Kryszowska-Iwaszkiewicz, Unrug, 1967) i centralnej części Karpat (Leszczyński, 1981), jak też z wielu profili miocenu

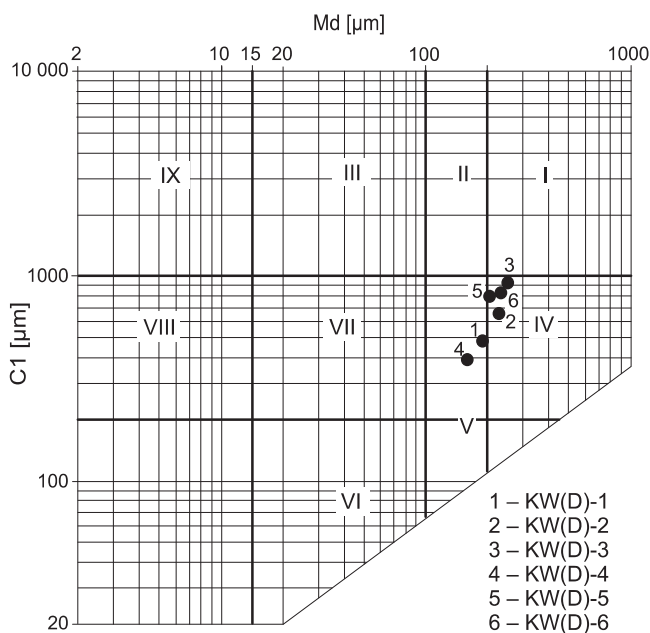


Fig. 3. Rozmieszczenie próbek osadów z otworu wiertniczego Kazimierza Wielka (Donosy) PIG-1 na diagramie C-M Passegi (1964)

Position of deposit samples from the Kazimierza Wielka (Donosy) PIG-1 borehole in the fields of CM diagram after Passega (1964)

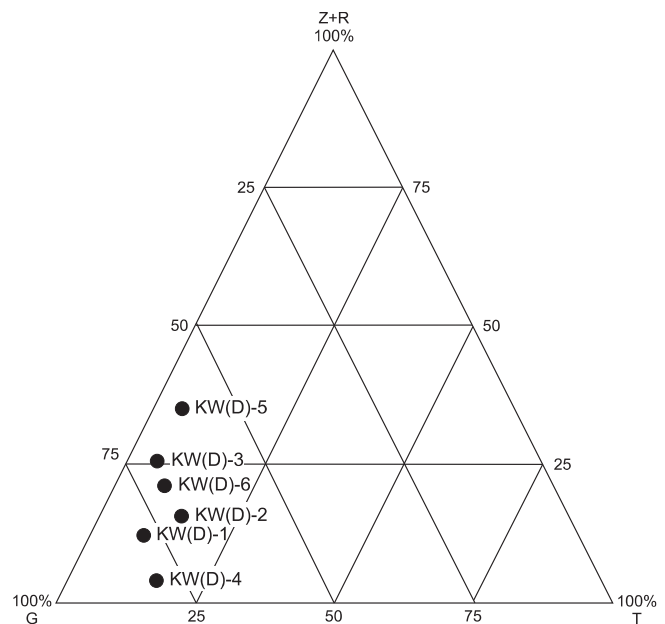


Fig. 4. Stosunki objętościowe trwałych minerałów przezroczystych w próbkach osadów z otworu wiertniczego Kazimierza Wielka (Donosy) PIG-1

Objaśnienia: G – granaty, Z – cyrkon, R – rutil, T – turmalin

Volume ratios of stable non-opaque minerals in the deposit samples from the Kazimierza Wielka (Donosy) PIG-1 borehole
 Explanations: G – garnets, Z – zircon, R – rutile, T – tourmaline

zapadliska przedkarpackiego (m.in. Kryszowska, 1966; Heliasz, Manowska, 1991; Paszkowski, Kusiak, 2001). W osadach tych wyróżnia się przeważnie dwa zespoły minerałów ciężkich, w których albo granaty, albo cyrkon dominują nad pozostałymi składnikami, przy czym tylko niektórzy autorzy uwzględniają w toku analizy łyszczyki.

Ponieważ w badaniach minerałów ciężkich stosuje się zróżnicowane podejścia metodyczne, w analizach porównawczych ważniejsze są stosunki między istotnymi dla interpretacji składnikami niż bezwzględna ilość poszczególnych minerałów.

W asocjacji granatu i stabilnych minerałów ciężkich rozpoznanej w profilu otworu wiertniczego Kazimierza Wielka (Donosy) PIG-1 granaty wyraźnie dominują nad cyrkonem (połączonym z rutylem) i turmalinem (fig. 4). Stosunek zawartości granatów do zawartości cyrkonu wraz z rutylem waha się od 1,7 do 6,1. Jedynie w próbce KW(D)-4 (głęb. 120,8 m), wyróżniającej się stosunkowo niską zawartością granatów, a jednocześnie niemal brakiem cyrkonu i rutylu, stosunek ten osiąga wartość 21,4.

W świetle dotychczas opublikowanych wyników badań minerałów ciężkich przewagą granatów nad minerałami stabilnymi odznaczają się przede wszystkim twory jednostki magurskiej i przedmagurskiej oraz niektóre warstwy jednostki śląskiej (Kryszowska-Iwaszkiewicz, Unrug, 1967). Dość powszechnymi składnikami tych utworów są również łyszczyki. Także w utworach kredowych jednostki podśląskiej Karpat Bielskich granat dominuje nad cyrkonem i występuje w nich staurolit (Nowak, Szczurowska, 1964). Heliasz i Manowska (1991) dowodzą, że twory te były źródłem materiału okrucowego dla formacji z Dębowca (zachodnia część zapadliska przedkarpackiego), a zmienny stosunek zawartości głównych składników przezroczystych oznacza, że erozji były poddawane twory z różnych jednostek litostratygraficznych fliszu.

Na podstawie wyników analizy minerałów ciężkich w profilu otworu wiertniczego Kazimierza Wielka (Donosy) PIG-1 i danych literaturowych za najbardziej prawdopodobne należy uznać, że minerały detrytyczne w przebadanych utworach piaszczystych formacji z Machowa pochodzą z niszczonego utworów fliszu karpackiego.

PODSUMOWANIE

W świetle wyników analiz minerałów ciężkich i danych literaturowych skały fliszu karpackiego są najbardziej prawdopodobnym źródłem pochodzenia minerałów detrytycznych z przewarstwień piaszczystych formacji z Machowa. Zbadany zespół mineralny jest zdominowany przez asocjację granatów z grupą minerałów stabilnych, takich jak cyrkon, turmalin i staurolit, oraz licznie występujący biotyt. Stopień zachowania ziaren wskazuje na niezbyt odległy transport. Na podstawie wyników analizy składu ziarnowego próbek utworów piaszczystych można wnioskować, że depozycja osadów zachodziła głównie z zawiesiny frakcjonalnej, transportowanej przeważnie w warunkach dużej turbulencji

z udziałem toczenia, a także w środowisku o umiarkowanej energii przepływu.

Podziękowania. Redaktorom tomu składam podziękowania za inspirację i wsparcie w czasie pisania artykułu, a recenzentom serdecznie dziękuję za pomocne uwagi do publikacji.

Opracowanie wykonano na zamówienie ministra środowiska za środki finansowe wypłacone przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej oraz ze środków statutowych PIG-PIB (projekt nr 6.94.0005.00.0).

LITERATURA

- BURTAN J., SZCZUROWSKA J., 1964 — Minerale ciężkie warstw godulskich okolic Myślenic i Wiśniowej. *Kwart. Geol.*, **8**, 4: 980–981.
- CZAPOWSKI G., 1994 — Sedimentation of the Middle Miocene marine complex from the area near Tarnobrzeg (north-central part of the Carpathian Foredeep). *Geol. Quart.*, **38**, 3: 577–592.
- CZAPOWSKI G., GAŚIEWICZ A., 2015 — Wykształcenie, stratygrafia i środowiska depozycji utworów pogranicza badenu i sarmatu z SW otoczenia Gór Świętokrzyskich – profile otworów badawczych Busko (Młyny) PIG-1 i Kazimierza Wielka (Donosy) PIG-1. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **461**: 9–52.
- FOLK R.L., WARD W.C., 1957 — Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *J. Sedim. Petrol.*, **27**: 3–26.
- GAŚIEWICZ A., CZAPOWSKI G., PARUCH-KULCZYCKA J., 2004 — Granica baden-sarmat w zapisie geochemicznym osadów w północnej części zapadliska przedkarpackiego – implikacje stratygraficzne. *Prz. Geol.*, **52**, 5: 413–420.
- HELIASZ Z., MANOWSKA M., 1991 — Minerale ciężkie jako wskaźniki źródła materiału detrytycznego w formacji dębowieckiej (miocen, zachodnia część zapadliska przedkarpackiego). *Ann. Soc. Geol. Pol.*, **61**: 77–95.
- KRYSZOWSKA M., 1966 — Minerale ciężkie w utworach miocen-skich obszaru śląsko-krakowskiego. *Pr. Geol. Kom. Nauk Geol. PAN, Oddz. w Krakowie*, **36**: 1–70.
- KRYSZOWSKA-IWASZKIEWICZ M., UNRUG R., 1967 — Heavy minerals in the flysch of the Polish Western Carpathians. *Bull. Acad. Pol. Sci., Ser. Sci. Geol. Geogr.*, **15**, 2: 57–64.
- LESZCZYŃSKI S., 1981 — Piaskowce ciężkowickie jednostki śląskiej w Polskich Karpatach: studium sedymentacji głębokowodnej osadów gruboklastycznych. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, **51**: 435–502.

- NOWAK W., SZCZUROWSKA J., 1964 — Wyniki badań minerałów frakcji ciężkiej oraz uwagi o paleogeografii dolnej i górnej kredy śląskiej i podśląskiej Karpat Bielskich. *Kwart. Geol.*, **8**, 4: 975–976.
- PARUCH-KULCZYCKA J., 2015 — Biostratygrafia osadów miocenu z otworów wiertniczych Busko (Młyny) PIG-1 i Kazimierza Wielka (Donosy) PIG-1 na podstawie otwornic (północna część zapadliska przedkarpackiego). *Biul. Państw. Insty. Geol.*, **461**: 115–132.
- PASSEGA R., 1964 — Grain-size representation by CM patterns as a geological tool. *J. Sediment. Petrol.*, **34**: 830–847.
- PASZKOWSKIM., KUSIAK M., 2001 — Proweniencja minerałów ciężkich z utworów miocenu rejonu Biszcza–Księżpol (zapadlisko przedkarpackie). *Prz. Geol.*, **49**, 5: 454–456.
- WENTWORTH Ch.K., 1922 — A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.*, **30**: 377–392.

SUMMARY

The Kazimierza Wielka (Donosy) PIG-1 borehole is located in the northern part of Carpathian Foredeep (Fig. 1). Results of heavy mineral study of rock samples from sandy interbeds in the Middle Miocene Machów Formation from this borehole supported by literature data suggest that the Carpathian Flysch rocks are the most probable source of detrital minerals for these deposits. The mineral complex found in the sampled sandy interbeds (Table 1) is dominated by the

garnet association with a group of stable minerals: zircon, tourmaline and staurolite (Figs. 2, 4). There are also numerous findings of biotite. The degree of grain preservation evidenced a relatively short transport of clasts. Analysis of particle composition of the samples (Fig. 3) indicate that the sand deposition took place mainly from the fractional suspension, transported mostly in conditions of high turbulence with rolling, as well as in a moderate flow energy environment.