

Badanie wpływu zawartości minerałów ciężkich na naturalną promieniotwórczość skał miocenu zapadliska przedkarpackiego

Study on the impact of heavy minerals to natural radioactivity of the Miocene rocks in the Carpathian Foredeep

Urszula Zagórska¹, Aleksandra Sikora², Grażyna Łykowska¹

¹*Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy*

²*Uniwersytet Jagielloński, Instytut Nauk Geologicznych*

STRESZCZENIE: W skałach miocenu zapadliska przedkarpackiego zauważono zjawisko zawyżania pomiarów promieniotwórczości naturalnej rejestrowanych w otworze wiertniczym dla mułowców. To zjawisko powoduje problemy w rozróżnianiu na podstawie profilowania naturalnej promieniotwórczości tych skał od ilowców, które charakteryzują się gorszymi parametrami petrofizycznymi. W niniejszej pracy badano kolejne możliwe źródło podwyższonej radioaktywności skał mułowcowych, to jest zawartość minerałów ciężkich, które wykazują tendencję do gromadzenia pierwiastków promieniotwórczych – uranu i toru. Minerale ciężkie, należące do grupy minerałów akcesorycznych, takie jak cyrkon, apatyt, monacyt, rutil, granat i tytanit, charakteryzują się podwyższoną promieniotwórczością ze względu na podstawienia w sieci krystalicznej U i Th. Na testowych próbkach wykonano pomiar naturalnej promieniotwórczości metodą spektrometrii gamma, przy wykorzystaniu aparatu RT-50 firmy Georadis. Następnie z próbek skał wydzielono minerały ciężkie, przy użyciu cieczy ciężkiej, uprzednio rozdzielając próbki na frakcje ziarnowe, w celu ułatwienia separacji frakcji ciężkiej. Poszczególne frakcje ziarnowe pozbawione minerałów ciężkich złączono z powrotem i wykonano ponowny pomiar zawartości uranu, toru i potasu. Wykonano także obserwacje mikroskopowe w celu jakościowej analizy składu mineralogicznego wydzielonej frakcji ciężkiej. W badanych próbkach zidentyfikowano między innymi ziarna cyrkonu, turmalinu, granatu, rutilu, apatyty, chlorytu czy tytanitu. Przeprowadzone wyniki pomiarów naturalnej promieniotwórczości, przed i po wydzieleniu minerałów ciężkich, nie dają jednoznacznej odpowiedzi na postawiony problem zawyżonych wskazań sondy gamma. Konieczne jest zwiększenie ilości analizowanych próbek. Zaobserwowano trend spadku ilości U i Th w próbkach, z których wydzielono frakcję ciężką. Jednak zmiany promieniotwórczości są na tyle niewielkie, że nie pozwalają na wyciągnięcie ostatecznych wniosków. Dodatkowe analizy są potrzebne, aby ocenić wpływ pozostałych źródeł uranu i toru w badanych skałach, takie jak zawartość materii organicznej czy udział toru we frakcji ilastej.

Słowa kluczowe: minerały ciężkie, spektrometria gamma, promieniotwórczość naturalna, separacja frakcji ciężkiej, mułowce, skały miocenu zapadliska przedkarpackiego.

ABSTRACT: In the Miocene rocks of the Carpathian Foredeep, the occurrence of overestimating the measurements of natural radioactivity logs for mudstones was noticed. This phenomenon causes problems with recognition on the basis of natural radioactivity profiling of these rocks from claystones, characterized by inferior petrophysical parameters. In this study, another possible source of increased radioactivity of mudstone rocks, i.e. the content of heavy minerals that tend to accumulate radioactive elements – uranium and thorium – was investigated. Heavy minerals, belonging to the accessory minerals, such as zircon, apatite, monazite, rutile, garnet and titanite, are characterized by increased radioactivity due to substitutions of U and Th in the crystal lattice. Natural radioactivity of the test samples was measured using the gamma spectrometry method with the RT-50 device from the Georadis company. The heavy minerals were then removed from the rock samples using a heavy liquid, previously separating the samples into grain fractions to facilitate the separation of the heavy fraction. The individual grain fractions deprived of heavy minerals were put back together and the uranium, thorium (and potassium) content was re-measured. Microscopic observations were also made to qualitatively analyze the mineralogical structure of the separated heavy fraction. In the tested samples, among others: zircon, tourmaline, garnet, rutile, apatite, chlorite or titanite grains were identified. The results of the measurements of natural radioactivity, before and after the separation of heavy minerals, do not give a clear answer to the problem of excessive indications of the gamma logs. It is necessary to increase the number of analyzed samples. The trend of decreasing amounts of U and Th in the samples from which the heavy fraction was isolated was observed. However, changes in

Autor do korespondencji: U. Zagórska, e-mail: urszula.zagorska@inig.pl

Artykuł nadesłano do Redakcji 20.12.2018 r. Zatwierdzono do druku 22.02.2019 r.

radioactivity are so small that they do not allow to draw final conclusions. Additional analyzes are needed to assess the impact of other sources of uranium and thorium in analyzed rocks, such as the content of organic matter or Th content in clays.

Key words: heavy minerals, gamma spectrometry, natural radioactivity, heavy fraction separation, mudstones, Miocene rocks of Carpathian Foredeep.

Wstęp

Podwyższona promieniowość na profilowaniach gamma skał mułowcowych stanowi nadal nierozwiązany problem w interpretacji geofizyki wiertniczej dla skał miocenu zapadliska przedkarpackiego. W pracy Łykowskiej i innych (2018), rozpoczęto rozpoznanie przyczyn tego zjawiska poprzez analizę i charakterystykę mineralogiczną wydzielonej frakcji pylastej. Mineralogiczna charakterystyka wydzielonej frakcji pylastej (silt) wykonana metodą ilościowej analizy rentgenowskiej (QXRD), nie wykazała znaczących różnic pomiędzy składem całej próbki a wydzieloną frakcją 4–63 μm . W badaniach dyfrakcji rentgenowskiej zaobserwowano nieznaczne zmniejszenie udziału minerału mieszanopakietowego illit-smektyt. Obserwacje w mikroskopie skaningowym (SEM) wykazały natomiast mniejszy udział grubokrystalicznego kwarcu. W ramach kontynuacji badań opisanych przez Łykowską i innych (2018), w niniejszej pracy poddano analizie wpływ zawartości minerałów ciężkich na naturalną promieniotwórczość skał miocenu. Wykonano także identyfikację minerałów ciężkich w celu rozpoznania składu wydzielonej frakcji ciężkiej.

Znaczenie minerałów ciężkich w rozwiązywaniu różnorodnych zagadnień geologicznych w tym nakierowanych na użytek przemysłu naftowego było opisywane w pracach Turnau-Morawskiej (1955) lub bardziej kompleksowo we współczesnym opracowaniu *Heavy Minerals in Use* pod redakcją Mange (2007). Minerale z tej grupy pozwalają na określenie proveniencji materiału detrytycznego oraz kierunków paleotransportu. Są one zatem narzędziem do analizy systemów depozycyjnych, ale również same w sobie są eksploatowane jako rudy, wysoce pożądane w przemyśle elektronicznym, pierwiastki ziem rzadkich.

Minerale ciężkie, takie jak cyrkon, apatyt, monacyt, rutyl, granat czy tytanit charakteryzują się podwyższoną zawartością pierwiastków promieniotwórczych: uranu i toru. Udział tych minerałów w skale może być powodem podwyższenia naturalnej promieniotwórczości skał (profilowania gamma), która powszechnie jest interpretowana jako wskaźnik zailewania. Problem ten może pojawić się głównie w reinterpretacji starych niespektrometrycznych profilowań radiometrycznych. Takie zjawiska były opisywane na przykład dla skał czerwonego spągowca z rejonu wyniesienia wolsztyńskiego. Podwyższona promieniotwórczość była tam powiązana z występowaniem klastów skał wulkanicznych, w których występował monacyt (Kowalska et al., 2010).

W skałach miocenu (przełom badenu i sarmatu) w północnym obrzeżeniu zapadliska przedkarpackiego w rejonie Kazimierzy Wielkiej opisywano występowanie minerałów ciężkich, wśród których przeważał udział granatów, biotytu, chlorytu, cyrkonu, rutylu oraz podrzędnie turmalinu i staurolitu (Kramarska, 2015). Natomiast w położonym bardziej na wschód rejonie Księżpola rozpoznano dwa odmienne zespoły minerałów ciężkich: w utworach badenu dolnego oraz badenu górnego i sarmatu (Paszkowski i Kusiak, 2001). W starszych utworach, jako dominującą, opisuje się grupę trzech najbardziej stabilnych minerałów ciężkich, to jest: cyrkon, turmalin i rutyl z podrzędnie występującym apatytom, a w młodszych skałach dominujący jest granat oraz staurolit sillimanit i dysten, które są powiązane ze skałami metamorficznymi (Paszkowski i Kusiak, 2001). W obu cytowanych publikacjach, jako obszar źródłowy minerałów ciężkich wskazywano na skały fliszu karpackiego.

Materiał badawczy

Do badań wybrano dwie próbki mułowców i dwie piaskowców drobnoziarnistych z otworu wiertniczego X-1K. Wiek badanych utworów to późny baden. W tabeli 1 zamieszczono opis makroskopowy analizowanych próbek.

Tabela 1. Zestawienie próbek do badań wraz z opisem litologicznym
Table 1. Lithological description of the analysed samples

Symbol próbki	Litologia i opis makroskopowy próbki
M1	Mułowec barwy ciemnoszarej, zwięzły. Spoiwo węglanowo-ilaste
M2	Mułowec barwy ciemnoszarej zwięzły, masywny ze szczelinami i spękaniem. Spoiwo węglanowo ilaste
P1	Piaskowiec drobno- do średnioziarnisty, zwięzły, barwy jasnoszarej laminowany smużyście ciemnym materiałem. Spoiwo węglanowo ilaste
P2	Piaskowiec drobnoziarnisty zwięzły, masywny, barwy szarej; laminowany ciemniejszym materiałem (równoległe, smużyście, przekątnie, konwolutnie). Spoiwo węglanowo-ilaste

Metodyka

Skały skruszono do frakcji <0,5 mm i rozdzielono przy użyciu kwartownika w celu uzyskania reprezentatywnej próbki.

Następnie wykonano pomiar zawartości pierwiastków promieniotwórczych U i Th, a także K (kontrolnie) metodą spektrometrii gamma w Laboratorium Zakładu Geofizyki Wiertniczej. Badanie to wykonano przy użyciu urządzenia RT-50 firmy Georadis, wyposażonego w sonda scyntylicyjną z kryształem NaJ/Tl. Próbkę o objętości 50 ml umieszcza się w osłonie wykonanej z ołowiu w celu odcięcia zewnętrznego tła i zarejestrowania fotonów promieniowania gamma, odpowiadających badanym pierwiastkom we właściwych oknach energetycznych – ^{40}K , ^{214}Bi (pozostającego w równowadze z ^{238}U) oraz ^{208}Tl (pozostającego w równowadze z ^{228}Th). Warunki pomiarowe dla badanych próbek ustalono na 7 cykli pomiarowych o łącznej długości 40 min. W celu przeliczenia uzyskanych wyników na stężenia wykorzystano dedykowane oprogramowanie LabCenter. Powtórny pomiar wykonano analogicznie po odseparowaniu minerałów ciężkich

W celu przygotowania próbek do usunięcia minerałów ciężkich, skruszono skruszono je do frakcji 316 μm . Następnie podzielono je na kilka frakcji ziarnowych. Najpierw oddzielono frakcję piaszczystą od pylastej i ilastej zgrubną metodą na mokro poprzez dekantację zawiesiny znad osadu. Następnie z uzyskanej zawiesiny oddzielono, poprzez odwirowanie frakcję $<4 \mu\text{m}$, która nie była dalej analizowana ze względu na trudności w preparatyce. Z frakcji piaszczystej i pylastej wydzielano minerały ciężkie.

Metodykę wydzielenia minerałów ciężkich przygotowano w oparciu o stosowaną w Laboratorium Zakładu Geofizyki Wiertniczej procedurę, opracowaną przez Zagórską (2016) oraz opisaną w publikacji Commeau i innych (1992) metodykę separacji minerałów ciężkich z frakcji pylastej. Do wydzielenia

minerałów ciężkich zastosowano nieorganiczną ciecz ciężką (poliwolfrań sodu), o gęstości $2,85 \text{ g/cm}^3$, przyjętą, jako granicę dla minerałów ciężkich. Próbki zalane cieczą następnie wirowano w celu rozdzielania. Dla frakcji piaszczystej zastosowano standardowe parametry wirowania. Natomiast dla frakcji pylastej należało wykonać szereg testów, aby dobrać właściwą prędkość i czas wirowania. Próbki rozdzielano na małe kilkugramowe porcje, żeby uzyskać możliwie najlepsze wydzielenie minerałów ciężkich.

Identyfikację minerałów ciężkich wykonano w Pracowni Mikroskopii Optycznej Instytutu Nauk Geologicznych Uniwersytetu Jagiellońskiego. Do obserwacji wykorzystano mikroskop optyczny NIKON Eclipse E600-POL, wyposażony w kamerę cyfrową Canon EOS 400 do rejestracji obrazu. W celu identyfikacji minerałów z odseparowanej frakcji ciężkiej wykonano preparaty ziarnowe w balsamie kanadyjskim.

Wyniki badań

Uzyskane wyniki analiz zawartości pierwiastków promieniotwórczych (K, U, Th) w badanych próbkach zamieszczono w tabeli 2. Próbki mułowców charakteryzują się generalnie wyższą zawartością zarówno K, U i Th w porównaniu do badanych próbek piaskowców. Rejestrowana promieniotwórczość mułowców ponad dwukrotnie przewyższa wskazania uzyskiwane w piaskowcach. Kolorem niebieskim zaznaczono wynik analizy dla próbki po odseparowaniu minerałów ciężkich. Porównanie w zawartości K, U, i Th zaprezentowano w formie wykresów słupkowych (rysunek 1).

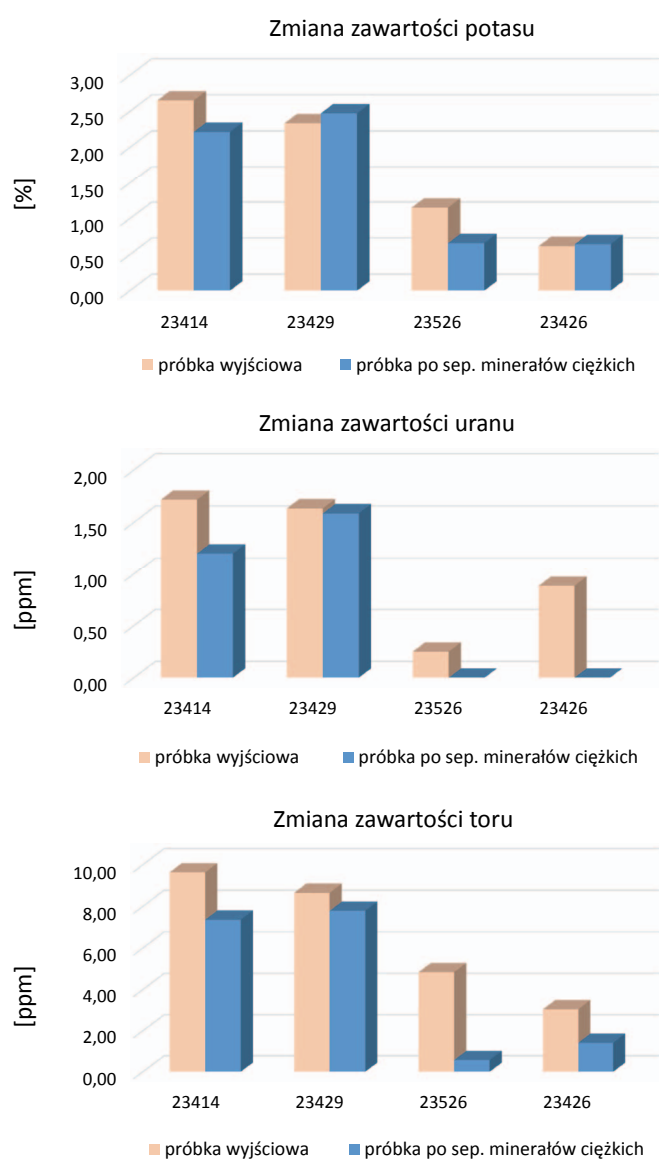
Tabela 2. Wyniki pomiaru zawartości potasu, uranu i toru przed oraz po wydzieleniu minerałów ciężkich oraz różnica pomiędzy pomiarami. Dla uzyskanych wartości podano wartości błędów standardowego

Table 2. Content of potassium, uranium and thorium before and after the separation of heavy minerals and the difference between measurements. Standard errors are given for results

Typ próbki	Symbol próbki	K			U			Th		
		[%]			[ppm]			[ppm]		
Próbka wyjściowa	M 1	2,65	±	0,17	1,72	±	0,46	9,63	±	0,99
Po separacji minerałów ciężkich	M 1	2,21	±	0,21	1,20	±	0,25	7,36	±	0,68
Różnica		0,44			0,52			2,28		
Próbka wyjściowa	M 2	2,33	±	0,26	1,63	±	0,32	8,65	±	0,89
Po separacji minerałów ciężkich	M 2	2,47	±	0,15	1,59	±	0,97	7,79	±	0,27
Różnica		-0,14			0,05			0,86		
Próbka wyjściowa	P 1	1,15	±	0,27	0,25	±	0,29	4,83	±	0,84
Po separacji minerałów ciężkich	P 1	0,66	±	0,21	0,00	±	0,00	0,57	±	0,68
Różnica		0,49			0,26			4,26		
Próbka wyjściowa	P 2	0,62	±	0,18	0,88	±	0,41	3,05	±	0,86
Po separacji minerałów ciężkich	P 2	0,64	±	0,12	0,00	±	0,00	1,41	±	0,96
Różnica		-0,03			0,88			1,64		

Zawartości potasu w próbkach przed i po usunięciu minerałów ciężkich mieszczą się w granicy błęd pomiarowego, poza próbką piaskowca P1 gdzie zaobserwowano spadek o 0,46%, czyli o niemal połowę. Poza tą jedną próbką wynik jest zgodny z przewidywaniami autorów. Ze względu na to, że potas nie ma znaczącego udziału w minerałach ciężkich to jego zawartość nie powinna się zmieniać. Obniżenie zawartości potasu w próbce P1, mogło się wiązać z odseparowaniem części muskowitu łącznie z frakcją ciężką, którego gęstość mieszcząca się w zakresie od 2,77–2,88 g/cm³ jest na pograniczu gęstości użytej cieczy ciężkiej (2,85 g/cm³).

Zmniejszenie zawartości uranu występuje systematycznie we wszystkich analizowanych próbkach, z których



Rys 1. Wykresy słupkowe przedstawiające zmianę zawartości pierwiastków promieniotwórczych w analizowanych próbkach przed i po separacji minerałów ciężkich

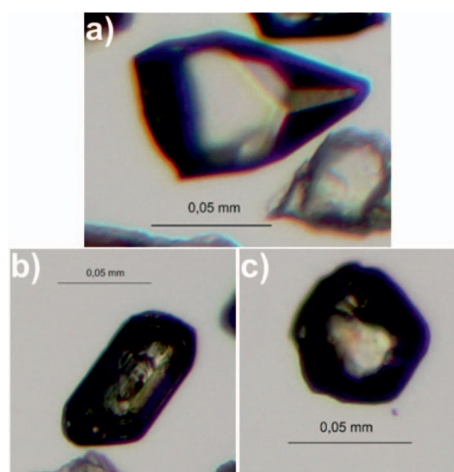
Fig. 1. Plots showing change in the content of radioactive elements in the analysed samples before and after the separation of heavy minerals

wyseparowano minerały ciężkie. Jest to jednak nieznaczna zmiana, która również w większości przypadków może mieścić się w zakresie błęd pomiarowego (rysunek 1). Po wydzieleniu minerałów ciężkich zaobserwowano również zmniejszenie ilości toru w próbkach. Nie jest to duża różnica, a próbki M1 i P2 mieszczą się w zakresie błęd pomiarowego. Wyraźna zmiana dotyczy przede wszystkim próbki piaskowca P1, gdzie zawartość Th zmniejszyła się z 4,83 ppm do 0,57 ppm.

Na wydzielonej frakcji ciężkiej z próbek piaskowców wykonano dodatkowo jakościową analizę minerałów ciężkich. Zespół minerałów ciężkich, w analizowanych próbkach, reprezentowany jest przez cyrkon, turmalin, granat, rutyl, apatyt, chloryt, tytanit, spinel chromowy oraz minerały z grupy epidotu – klinozoisyt. Identyfikację minerałów wykonano przy wykorzystaniu atlasu Mange i Maurera (1992).

• **Cyrkon**

Wśród populacji cyrkonów można wyróżnić kilka stopni obtoczenia. Występują cyrkonie euhedralne, półobtroczone oraz obtroczone (rysunek 2). W badanych próbkach najliczniej występują cyrkonie bezbarwne, ale zdarzają się również pojedyncze różowe ziarna. Zaobserwowano również inkluzje, które występują we wszystkich ziarnach niezależnie od stopnia obtoczenia i barwy. Widoczna jest także zonalność oscylacyjna.

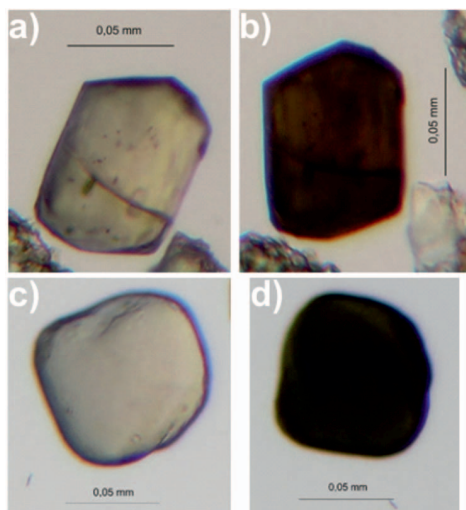


Rys. 2. Różne odmiany cyrkonów w badanych piaskowcach: 1 – euhedralny, bezbarwny; 2 – półobtroczone, bezbarwny, zonalny; 3 – dobrze obtoczony, bezbarwny. Fotografie w świetle przechodzącym

Fig. 2. Zircon grains varieties in analysed sandstones: 1 – euhedral, colourless; 2 – half-rounded, colourless, zonal; 3 – well-rounded, colourless. Photomicrograph in transmitted light

• **Turmalin**

Wśród turmalinów dominują barwy oliwkowo-brązowe (rysunek 3 a–d), ale obecne są również pojedyncze ziarna niebieskie. Występują turmaliny zarówno dobrze obtroczone, jak również euhedralne. We wszystkich odmianach barwnych turmalinów występują liczne inkluzje. Cechą charakterystyczną turmalinów jest silny pleochroizm.



Rys. 3. Formy występowania turmalinów oraz ich odmiany barwne: a–b – euhedralny jasnożółto-brązowy; c–d – dobrze obtoczony, jasnożółto-oliwkowy

Fig. 3. Forms of occurrence of tourmalines and their varieties of colors: a–b – euhedral light yellow-brown; c–d – well-rounded, light-yellow-olive

• Granat

W analizowanych próbkach występują również liczne granaty (rysunek 4d). Ziarna są bezbarwne. Wykazują one powierzchnię fasetową, która jest wynikiem rozpuszczania diagenetycznego. Stopień obtoczenia jest niemożliwy do określenia.

• Rutyl

Rutyl (rysunek 4a) reprezentowany jest przez brązowo-czerwone, pomarańczowe i ciemnożółte ziarna. Występuje jako ziarna euhedralne, półobtroczone i obtroczone. Cechą charakterystyczną rutylu jest brak barw interferencyjnych, które są maskowane przez silne barwy własne oraz bardzo wysoki relief.

• Apatyt

Apatyt jest bezbarwny (rysunek 4b). Występują zarówno ziarna euhedralne, jak również dobrze obtroczone. Cechą charakterystyczną apatytu jest niski relief oraz barwy interferencyjne I rzędu.

• Tytanit

W próbkach występują również ziarna tytanitu (rysunek 4c). Są one zazwyczaj odłamkami większych ziaren, choć zdarzają się też ziarna obtroczone. Ziarna tytanitu są bezbarwne.

• Spinel chromowy

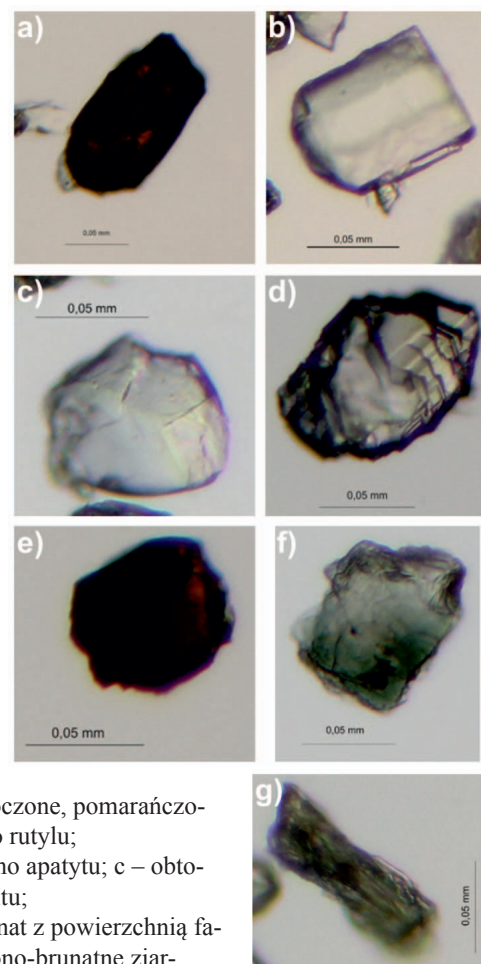
W próbkach występują również ziarna spinela chromowego (rysunek 4e). Stopień obtoczenia można określić na półkanciasty, a niektóre ziarna występują jako półobtroczone. Są one zazwyczaj czerwono-brunatne. Spinel chromowy jest izotropowy przy skrzyżowanych nikolach podczas obserwacji mikroskopowych w świetle przechodzącym.

• Chloryt

W próbkach występują także liczne ziarna chlorytu (rysunek 4f), którego charakteryzuje zielona barwa. Stopień obtoczenia jest trudny do określenia.

• Klinozoisyt

W analizowanych próbkach zaobserwowano nieliczne ziarna mineralów z grupy epidotu – klinozoisytów (rysunek 4g). Charakteryzują się one zielonkawym zabarwieniem oraz słabym pleochroizmem. Stopień obtoczenia nie jest możliwy do określenia. Cechą diagnostyczną są hipernormalne barwy interferencyjne (barwy indygo).



Rys. 4. a – Półobtroczone, pomarańczowo-brązowe ziarno rutylu; b – obtroczone ziarno apatytu; c – obtroczone ziarno tytanitu; d – bezbarwny granat z powierzchnią fasetową; e – czerwono-brunatne ziarno spinela chromowego; f – zielonkawe ziarno chlorytu; g – ziarno mineralu z grupy epidotu – klinozoisytu

Fig. 4. a – Half-rounded, orange-brown rutile grain; b – rounded apatite grain; c – rounded grain of titanite; d – colourless garnet with a facet surface; e – red-brown grain of chromium spinel; f – greenish chlorite grain; g – grain of the epidote group mineral – clinozoisite

Podsumowanie i wnioski

Analizy spektrometryczne gamma przeprowadzone przed i po wydzieleniu mineralów ciężkich w analizowanych próbkach skał zapadliska przedkarpackiego nie wykazały znacznego obniżenia naturalnej promieniotwórczości. Analiza porównawcza udziału ^{40}K , poza jedną próbką P1, nie wykazuje różnic wykraczających poza granice błędów pomiarowych, ani żadnej jednoznacznej tendencji zmian. Jest to zgodne z założeniem, że jego udział w próbkach nie jest powiązany z minerałami ciężkimi. W jednej

z próbek zauważono istotne obniżenie udziału tego pierwiastka, co mogło być spowodowane przez niezamierzone oddzielenie części mik do frakcji ciężkiej. Potwierdzają to obserwacje mikroskopowe, gdzie ziarna muskowitu były widoczne we frakcji ciężkiej. Zmiana zawartości ^{238}U i ^{228}Th jest również nieznaczna, dla badanych próbek mułowców i piaskowców i mieści się w graniach błędów pomiarowych. Obserwuje się jednak trend do zmniejszenia udziału tych pierwiastków po wydzieleniu frakcji ciężkiej (rysunek 1). Należy zwrócić uwagę na to, że zawartość uranu w próbkach może być też powiązana z obecnością materii organicznej. Zawartość toru także wykazuje tendencję do spadku, a wynik jednoznacznie mniejszy uzyskano dla próbki P1, dla której zaobserwowano również zmniejszenie udziału procentowego potasu. Wskazuje to na powiązanie ilości toru również z łałami a niekoniecznie z minerałami ciężkimi.

Nieznaczne obniżenie udziału uranu i toru może również świadczyć o niecałkowitym usunięciu minerałów ciężkich, pomimo bardzo starannie przeprowadzonej separacji. Jeśli jednak większość z nich została usunięta podczas zastosowanych zabiegów to może oznaczać, że uzyskane wskazania radioaktywności próbek nie są powiązane wyłącznie z minerałami ciężkimi. Należy zwrócić uwagę na to, że zawartość uranu w próbkach może być też powiązana z obecnością materii organicznej, a próbki mogły zostać zubożone w materię organiczną w trakcie dekantacji zawiesiny, ponieważ jej cząstki mają tendencję do flokulacji. Zawartość toru z kolei jest też powiązana z minerałami ilastymi, których część została usunięta we frakcji $<4\ \mu\text{m}$.

Na podstawie wykonanych analiz nie można określić jak duży jest wpływ zawartości minerałów ciężkich na promieniotwórczość naturalną skał pobranych z badenu zapadliska przedkarpackiego i wymagane jest zwiększenie ilości przebadanych próbek. Jeżeli dodatkowe analizy potwierdziłyby całkowite usunięcie minerałów ciężkich to należałoby uznać wpływ minerałów ciężkich za raczej niewielki (lub nawet zaniedbywalny), biorąc pod uwagę usunięcie z próbek także frakcji $<4\ \mu\text{m}$. Zauważone tutaj zmniejszenie ilości Th może wiązać się właśnie z pęczniącymi minerałami ilastymi, które są bogate w Th, a obniżenie ilości U może być powiązane z prawdopodobnym zubożeniem próbek w materię organiczną. Przeprowadzenie dodatkowych analiz zawartości materii organicznej powiązanej z uranem oraz zawartości toru w minerałach ilastych mogłoby pomóc ocenić wpływ tych źródeł na radiometrię analizowanych skał.

W badaniach mikroskopowych nie zaobserwowano żadnych nietypowych minerałów ciężkich. Skład mineralny frakcji ciężkiej odpowiada opisywanemu w literaturze składowi charakterystycznemu dla skał miocenu zapadliska przedkarpackiego.

Przedstawione wyniki stanowią wstęp do badań nad opisanym problemem, ale aby wyciągnąć prawidłowe wnioski należy przeprowadzić analogiczne analizy na zdecydowanie większej liczbie próbek, w celu uzyskania właściwej statystyki.

Artykuł powstał na podstawie części pracy statutowej pt.: *Określenie parametrów petrofizycznych poszczególnych frakcji ziarnowych w skałach piaszczysto-ilastych przedgórza Karpat – praca INiG – PIB na zlecenie MNiSW; nr zlecenia: 40/SW/18, nr archiwalny: DK-4100-40/18.*

Literatura

- Commeau J.A., Poppe L.J., Commeau R.F., 1992. Separation and Identification of the Silt-Sized Heavy-Mineral Fraction in Sediments. *U.S. Geological Survey Circular*, 1071. DOI: 10.3133/cir1071.
- Turnau-Morawska M., 1955. Znaczenie analizy minerałów ciężkich w rozwiązywaniu zagadnień geologicznych. *Acta Geologica Polonica*, V, 3: 363–388.
- Mange M., Wright D.K. (eds), 2007. Heavy Minerals in Use. *Developments in Sedimentology*, 58, ISBN: 9780444517531.
- Mange M.A., Maurer H., 1992. Heavy Minerals in Colour. London: Chapman & Hall. ISBN-10:0412439107.
- Kowalska S., Lewandowska A., Buniak A., 2010. Przyczyny powstawania anomalnych wskazań profilowania gamma (sPG) w skałach czerwonego spągowca z rejonu wyniesienia wolsztyńskiego. *Nafta-Gaz*, 6: 425–440.
- Kramarska R., 2015. Minerale ciężkie w profilu utworów miocenu w otworze wiertniczym Kazimierza Wielka (Donosy) PIG-1 (północny skraj zapadliska przedkarpackiego). *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego*, 461: 53–60.
- Łykowska G., Klaja J., Przelaskowska A., Zagórska U., 2018. Wydzielanie i charakterystyka frakcji pylastej (silt) w skałach mułowcowych zapadliska przedkarpackiego. *Nafta-Gaz*, 4: 259–269. DOI: 10.18668/NG.2018.04.01.
- Paszowski M., Kusiak M., 2001. Prowienienca minerałów ciężkich z utworów miocenu rejonu Biszczka–Książpole (zapadlisko przedkarpackie). *Przegląd Geologiczny*, 49, 5: 454–456.
- Zagórska U., 2016. Zastosowanie analizy minerałów ciężkich w geologii naftowej. X Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Geopetrol 2016. *Prace Naukowe Instytutu Nafty i Gazu – Państwowego Instytutu Badawczego nr 209: 625–628.*



Mgr Urszula ZAGÓRSKA
Specjalista inżynierijno-techniczny w Zakładzie Geofizyki Wiertniczej
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: urszula.jonkis@inig.pl



Mgr Aleksandra SIKORA
Samodzielny geolog w Instytucie Nauk Geologicznych
Uniwersytet Jagielloński
ul. Gronostajowa 3a
30-387 Kraków
E-mail: olaa.sikora@uj.edu.pl



Mgr inż. Grażyna ŁYKOWSKA
Starszy specjalista inżynierijno-techniczny w Zakładzie Geofizyki Wiertniczej; kierownik ds. Jakości Laboratorium Geofizycznych Parametrów Skał i Płynów Złożowych
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A, 31-503 Kraków
E-mail: lykowska@inig.pl