

WYKORZYSTANIE SPEKTROMETRII GAMMA W POSZUKIWANIU I ROZPOZNAWANIU JAKOŚCI ZŁÓŻ SUROWCÓW SKALNYCH

APPLICATION OF GAMMA SPECTROMETRY FOR PROSPECTING AND QUALITY ASSESSMENT OF ROCK RAW MATERIALS

Andrzej T. Solecki, Wojciech R. Śliwiński, Dagmara E. Tchorz-Trzeciakiewicz, Kamila J. Nowak, Michał A. Luks
- Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski

Wskazano na potencjalne możliwości gamma spektrometrii w zakresie poszukiwania i oceny jakości złóż. Szczególną uwagę poświęcono złożom surowców skalnych. Na przykładzie triasowych arkoz Sudetów wskazano na możliwość zastosowania przenośnych gamma spektrometrów do poszukiwania skałeni potasowych - surowca przemysłu ceramicznego. Na przykładzie złóż: glin ogniotrwałych w Rusku-Jaroszowie, kaolinu w Nowogrodźcu i surowca kaolinowego z kopalni Turów podjęto próbę porównania wyników pomiarów gamma spektrometrycznych z diagramem klasyfikacyjnym obejmującym pola takich minerałów jak: chloryt, kaolinit, smektyt, montmorylonit, illit, muskowit, skalenie, glaukonit, kwarc.

Słowa kluczowe: gamma spektrometria, trias, skalenie, surowce ceramiczne, Sudety

Potential of gamma spectrometry application for exploration and evaluation of the quality of the mineral deposits was analysed. Particular attention was paid to deposits of rock materials. The application of portable gamma spectrometers for prospecting for K feldspar in the Sudetic Triassic arkose was shown. Comparison of the results of gamma spectrometric measurements in deposits of Rusko-Jaroszów refractory clays, Nowogrodziec kaoline and byproduct kaolin of lignite mine Turow was made with classification diagram covering the fields of minerals such as: chlorite, kaolinite, smectite, montmorillonite, illite, muscovite, feldspar, glauconite, quartz.

Keywords: gamma spectrometry, Triassic, feldspars, ceramic raw materials, Sudetes

Wprowadzenie

Pomiary gamma spektrometryczne wykonywane przy pomocy sprzętu przenośnego umożliwiają określenie zawartości potasu, uranu i toru.

Zawartość pierwiastków tych w różnych rodzajach skał jest zmienna. W skałach magmowych zaznacza się tendencja do ich współwystępowania, gdyż należą one do grupy pierwiastków litofilnych, o dużych promieniach jonowych, zwanej grupą pierwiastków niekompatybilnych lub niedopasowanych. Pierwiastki te są „niedopasowane” do struktur krystalicznych minerałów powstających ze stopu magmowego i w rezultacie większość z nich pozostaje w reszkowym stopie magmowym, skąd trafia do pegmatytów, żył apłitowych i hydrotermalnych [1].

Pierwotny materiał płaszcz zawiera niewiele uranu, jego zawartość ulega zwiększeniu na drodze frakcjonowania już w momencie powstawania magmy, gdy dochodzi do częściowego stopienia (partial melting) skał w obrębie ogniska magmowego. Frakcjonowanie postępuje w czasie krystalizacji stopu magmowego, gdy uran przechodzi do późnych dyferencjatów stopu magmowego.

Uranowi towarzyszy często tor i potas, zwłaszcza gdy dochodzi do powstania sjenitów alkalicznych. Masywy kwaśnych skał magmowych są znacząco wzbogacone w te pierwiastki. Strefy silnie wzbogacone w uran i potas związane są zazwyczaj z produktami krążenia wód hydrotermalnych będących celem wielu prac poszukiwawczych.

Ze względu na odmienne zachowanie się w procesie wietrzenia i selektywną mobilizację, w określonych środowiskach sedymentacyjnych pierwiastki te występują w zróżnicowanych wzajemnych proporcjach. Na podstawie charakterystycznych wartości stosunków pomiędzy pierwiastkami promieniotwórczymi można próbować określić cechy skał osadowych oraz zidentyfikować minerały skałotwórcze [2].

W trakcie wietrzenia, transportu i sedymentacji dochodzi do rozdzielenia tych pierwiastków: uran koncentruje się w fosforytach i czarnych łupkach, tor w rezydualnych zwietrzelinowych i piaskach monacytowych, potas w ewaporatach i zwietrzelinach arkozowych. Nagromadzenia te często mają znaczenie złożowe, a ich gamma spektrometryczna identyfikacja jest stosunkowo prosta.

W złożach węgla kamiennych i brunatnych uran może być sorbowany przez materię organiczną, potas stanowi stały składnik materii organicznej, a tor zazwyczaj występuje w składnikach mineralnych odpowiedzialnych za zawartość popiołu. W przypadku braku procesów migracji prowadzących do sorpcji uranu przez materię organiczną również zawartość uranu wiąże się wyłącznie z substancją mineralną popiołu. Określenie zawartości tych pierwiastków może zostać powiązane z zawartością popiołu i jego składem mineralnym.

Gamma spektrometryczne pomiary *in situ* zawartości potasu mogą być wykorzystane w poszukiwaniach surowców kaolinowych na drodze identyfikacji obszarów zubożonych w ten pierwiastek. Kaolinit, główny minerał występujący w kaolinie, powstaje w wyniku hydrolizy skałeni potasowych, czego efektem jest eliminacja potasu. Badania tego typu zostały przeprowadzone na obszarze Masywu Armorykańskiego celem wyznaczenia miejsc potencjalnego występowania kaolinów [3].

W przypadku surowców skalnych stosowanych do budowy pomieszczeń mieszkalnych sama zawartość tych pierwiastków jest ważnym parametrem surowca decydującym o możliwości zastosowania [4]. Bardziej szczegółowo problematyka ta została omówiona w monografii zespołu Soleckiego [5].

Metodyka badań

Pomiary gamma spektrometryczne wykonywane były przy pomocy gamma spektrometrów przenośnych RS230 z detektorem BGO, o objętości 103 cm³ i autostabilizacji opartej o pik 2615 keV talu ²⁰⁸Tl. Zakres analizowanych kwantów obejmował przedział 30 - 3000 keV. Wyniki podawane były jako: % K, ppm eU i eTh w oparciu o analizę pików 1461 keV (⁴⁰K), 1765 keV (²¹⁴Bi) i 2615 keV (²⁰⁸Tl). Pomiar w obrębie pików 1765 keV (²¹⁴Bi) i 2615 keV (²⁰⁸Tl) umożliwia określenie aktywności tych radioizotopów i przeliczane są one na równoważną zawartość uranu i toru (eU i eTh) przy założeniu istnienia stanu równowagi promieniotwórczej [6]. Ocena zasadności takiego założenia wymaga w każdym przypadku analizy opartej na wiedzy ogólnie geologicznej i znajomości procesów geochemicznych.

Wstępne studium poszukiwawcze dla oceny potencjału występowania surowców skaleniowych wykonano w obrębie pokrywy epiwarwaryjskiej południowej Polski. Wykonano 31 pomiarów w obszarze świętokrzyskim i 19 w Sudetach. Uzyskane wyniki przeliczono na zawartość K₂O.

W przypadku badań surowców ilastych badania zawartości toru ²³²Th (ppm), potasu ⁴⁰K (%) i uranu ²³⁸U (ppm) zostały wykonane na terenie dwóch kopalni odkrywkowych wydobywających surowce ilaste tj. kopalni w Rusku-Jaroszowie, gdzie wydobywa się głównie gliny ogniotrwałe oraz kopalni „Surmin-Kaolin” działającej na złożu piaskowców ilastych Maria III. Łącznie wykonano w terenie 187 pomiarów.

Badania w Jaroszowie przeprowadzono na wszystkich poziomach w południowo-wschodniej części kopalni „Staniśław-Północ”. Wykonano tam 116 pomiarów.

W Nowogrodźcu większość badań przeprowadzono w północnej części kopalni, głównie na poziomach -4 oraz -5 (56 pomiarów) oraz wykonano 10 pomiarów na hałdzie, gdzie składowany jest materiał odpadowy. Ponadto zmierzono zawartość pierwiastków promieniotwórczych w produktach przeznaczonych do sprzedaży tj. kaolinie o odmianach KOM, KOG – kaoliny stanowiące wypełniacze do gumy, farb i innych

oraz KOP – kaolin papierniczy. Dla każdego typu produktu wykonano po 4 pomiary.

Radioaktywność surowców kaolinowych na przykładzie złoża Maria III została szczegółowo opisana przez Tchorz-Trzeciakiewicz w jednym z rozdziałów monografii zespołu Soleckiego [7]. Ponadto w Nowogrodźcu wykonano pomiary zawartości pierwiastków radioaktywnych na hałdzie materiału ilastego przywiezionego z kopalni w Turossowie (KWB Turów).

Wyniki zastosowania do poszukiwania surowców skaleniowych

Skalenie zasobne w alkalia są powszechnym surowcem stosowanym w przemyśle ceramicznym, szklarskim oraz emalierskim i materiałów ściernych. Wykorzystanie w Polsce skałeni w różnych gałęziach przemysłu kształtuje się następująco: porcelana i fajans 50%, porcelana elektrotechniczna 20%, szkło 25%, emalia, materiały ściernie i in. 5% [8].

Skałenie są to glinokrzemiany K, Na, Ca i Ba o strukturze szkieletowej, powszechne w skorupie ziemskiej. Stanowią ponad 50% jej składników. Skałenie wchodzi w skład przede wszystkim skał magmowych, z wyjątkiem skał ultrazasadowych i rzadkich odmian skał alkalicznych. Stanowią również dominujący składnik skał metamorficznych takich, jak gnejsy i łupki krystaliczne. Obficie występują także w niektórych skałach osadowych, np. arkozach.

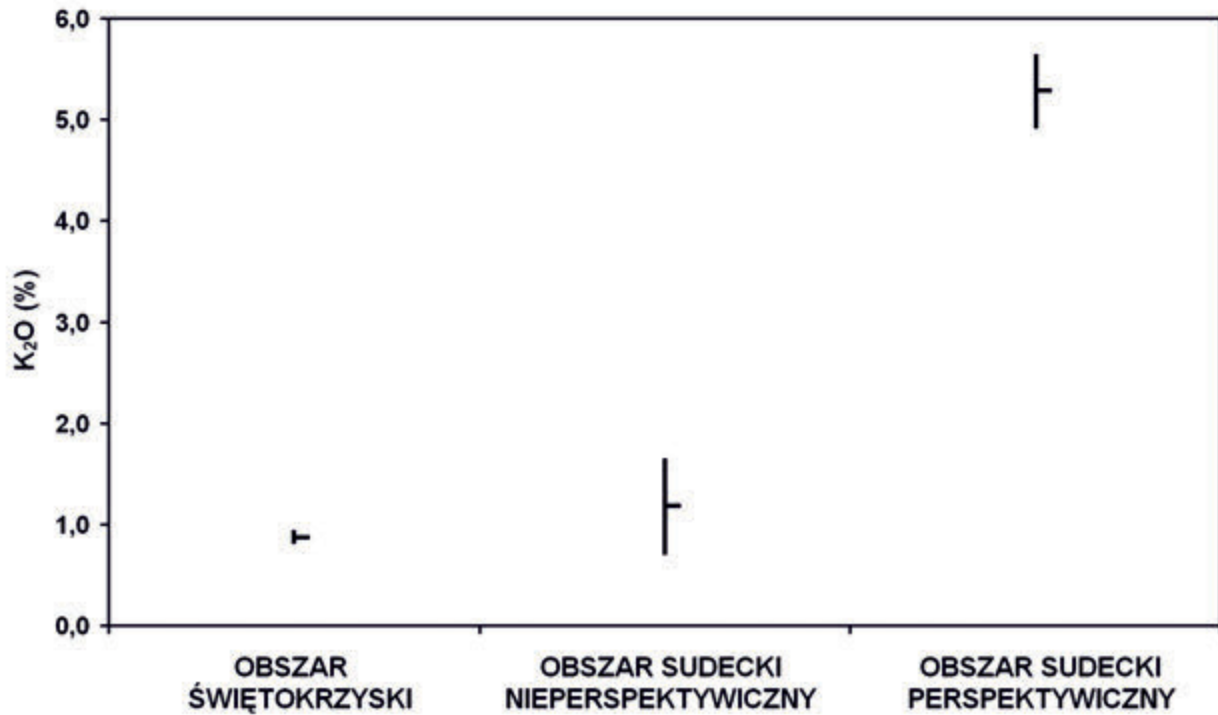
Wśród skałeni wyróżnia się skałenie alkaliczne (potasowe i sodowe) oraz plagioklasy (skałenie sodowo-wapniowe). W skałach magmowych zauważa się większy udział plagioklazów w porównaniu do skałeni alkalicznych. Skałenie alkaliczne dominują natomiast nad plagioklazami w produktach wietrzenia oraz w osadach piaszczystych (np. arkozach). Wynika to z faktu, że odporność skałeni na wietrzenie maleje wraz ze wzrostem zawartości CaO. Najbardziej odporne są skałenie potasowe, dlatego w początkowych etapach wietrzenia skał złożonych ze skałeni potasowych i plagioklazów następuje wzbogacenie w K₂O [9].

Z punktu widzenia przemysłu ceramiki szlachetnej (porcelana artystyczna, stołowa, elektrotechniczna) bardziej wartościowe są skałenie charakteryzujące się przewagą K₂O nad Na₂O.

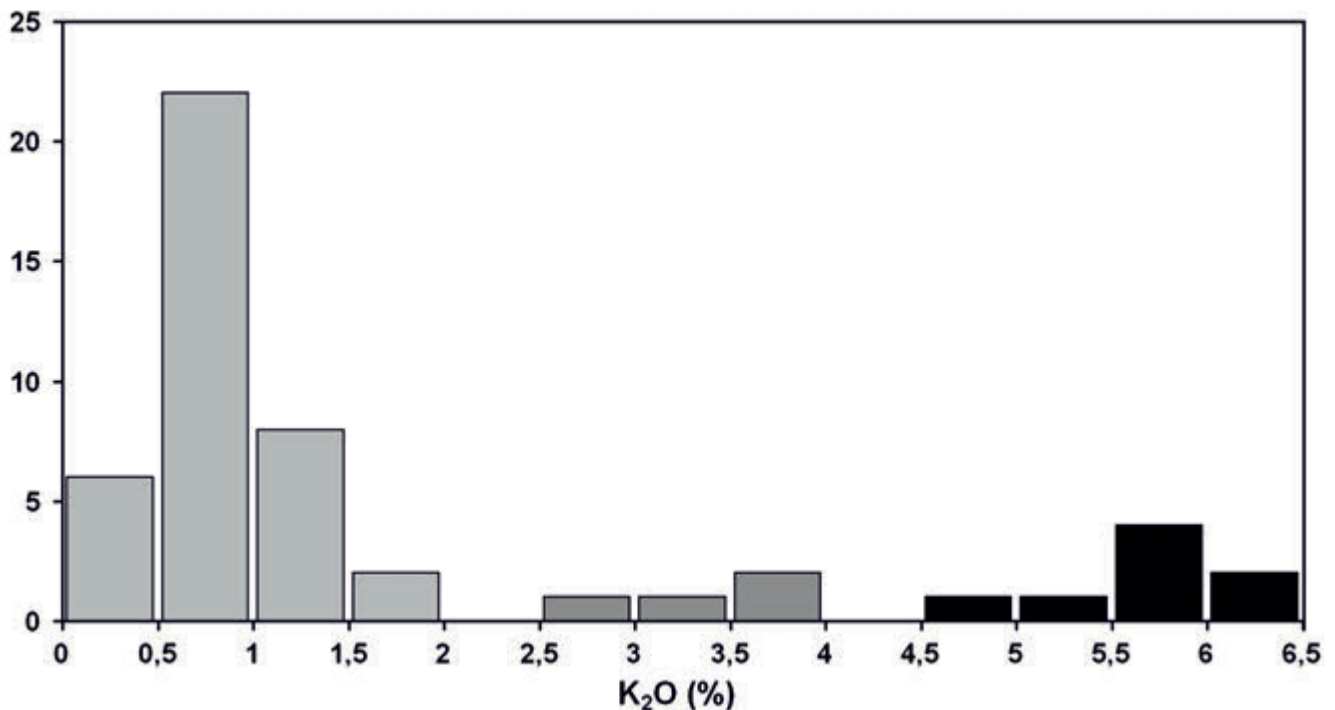
Wykonane pomiary gamma spektrometryczne zawartości potasu w triasowych piaskowcach pokrywy epiwarwaryjskiej Polski wykazały znaczne zróżnicowanie. Zróżnicowanie to pozwoliło w obszarze Sudetów wyróżnić obszar perspektywiczny i nieperspektywiczny demonstrując tym samym możliwość wykorzystania tej metody w poszukiwaniu skałeni potasowych. Uzyskane wyniki przedstawiono na rysunkach 1 i 2. Przeprowadzone badania wykazały, że w obszarze perspektywicznym zawartość K₂O waha się od 2,9 do 6,4 %, ze średnią równą 5,3 % . W powiązaniu z makroskopową oceną surowca, w wyniku której stwierdzono liczne okrucy ortoklazów, wskazuje to na perspektywiczność prowadzenia prac poszukiwawczych surowca skaleniowego w tym obszarze.

Wyniki rozpoznawania złóż surowców ilastych

Gamma spektrometryczne pomiary *in situ* zawartości potasu mogą być wykorzystane również w poszukiwaniach surowców kaolinowych na podstawie identyfikacji obszarów zubożonych



Rys. 1. Średnie zawartości K₂O w badanych obszarach z zaznaczonym błędem standardowym
 Fig. 1. Average K₂O content in the areas under investigation with standard error bars



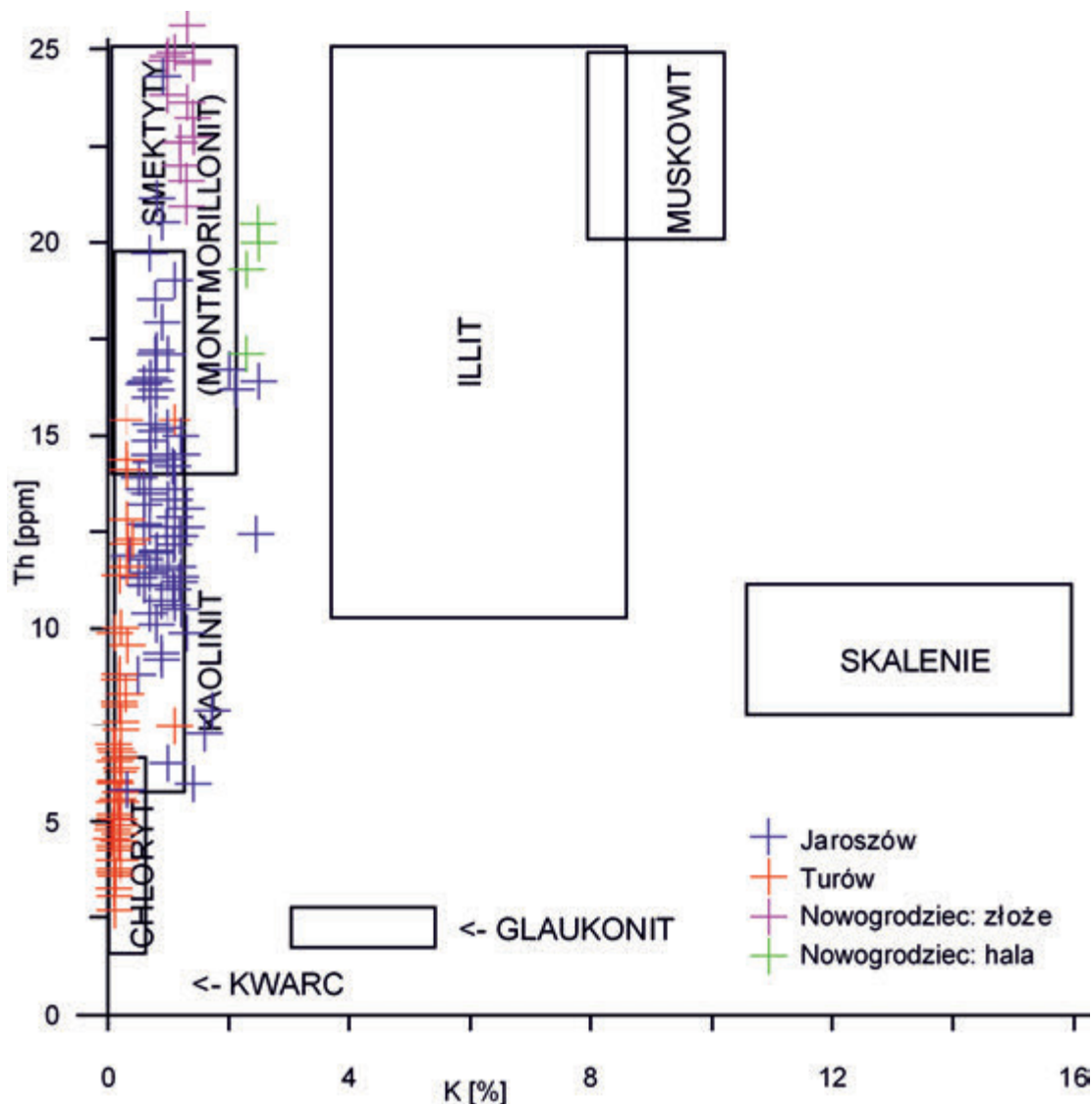
Rys. 2. Rozkład częstości procentowej zawartości K₂O w piaskowcach triasowych południowej Polski, wypełnienie kolumn: jasnoszare - dane z obszarów nie perspektywicznych, szare - nakładające się dane z wszystkich obszarów, czarne - dane z obszaru perspektywicznego.
 Fig. 2. Frequency distribution of the K₂O content in Triassic sandstones of Poland, columns filling: light gray - data from the not perspective areas, gray - overlapping data from all areas, black - data from the perspective area.

w potas. Kaolinit, główny minerał występujący w kaolinie, powstaje bowiem w wyniku hydrolizy skałeni potasowych, czego efektem jest eliminacja K. Efekt ten został wykorzystany przez zespół Tourliere [3] dla poszukiwań kaolinu na obszarze Masywu Armorykańskiego.

Zawartości toru i potasu w utworach osadowych zmieniają się w zależności od typu składowiska ilastego. Zgodnie z badaniami przeprowadzonymi przez Ruhovetsa i jego zespół [2] illity, glaukonit, biotyt i muskowit mają wyższe zawartości potasu a niższe toru, podczas gdy kaolinit, montmorillonit

(smektyt), bentonit i boksyt mają wysoką zawartość toru a niską potasu. Wykresy stosunków Th (ppm) do K (%) stworzone przez zespół Ruhovetsa [2] posłużyły do interpretacji stosunków zawartości toru do potasu wyznaczonych dla surowców ilastych eksploatowanych w kopalniach w Jaroszowie, Nowogrodźcu i Turowszowie oraz surowców przetworzonych w zakładzie przerobczym działającym przy kopalni w Nowogrodźcu (rys. 3).

Znaczna zawartość toru w stosunku do niewielkich ilości potasu powoduje silną koncentrację wyników z kopalni w Ja-



Rys. 3. Wyniki pomiarów gamma spektrometrycznych: glin ogniotrwałych w Rusku-Jaroszowie, kaolinu w Nowogrodźcu i surowca kaolinowego z kopalni Turów naniesione na wykresie stosunku zawartości toru do potasu w minerałach ilastych zespołu Ruhovets'a [2] (zmodyfikowane)

Fig. 3. Gamma spectrometric results for: Rusko-Jarosów refractory clays, Nowogrodziec kaolin and byproduct kaolin of the lignite mine Turów on the Th/K diagram of Ruhovets et al. [2] (modified)

roszowie i Nowogrodźcu w polu identyfikacyjnym kaolinitu. Skałotwórcza rola tego minerału w Jaroszowie oraz obfite występowanie w Nowogrodźcu jest potwierdzona literaturowo. W przypadku Nowogrodźca stwierdzono także niskie zawartości toru, co powoduje koncentrację części pomiarów w polu chlorytu. Interpretacja tego faktu na tym etapie badań nie jest możliwa. W podkoncentrowanym produkcie zakładu w Nowogrodźcu wzrosła znacząco zawartość toru, co spowodowało przesunięcie w stronę pola smektytu. Na wykres naniesiono również wyniki pomiarów materiału z Turowa, pobranego w Nowogrodźcu. Wyniki te, z racji podwyższonych zawartości potasu, przesuwają się w stronę pola illitu, co może wynikać z domieszki tego minerału.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania terenowe wskazują na przydatność gamma spektrometrii wykonywanej przy pomocy sprzętu przenośnego do szybkiego określania perspektywiczności obszaru pod względem występowania surowców skaleniowych. Perspektywiczne zastosowanie do rozpoznania składu mineralnego złóż surowców ceramicznych wymaga dalszych badań o charakterze kalibracyjnym. W obu przypadkach konieczne jest uzupełnienie badań o standardowe wyniki badań mineralogicznych takich, jak: analiza makro- i mikroskopowa, termiczna analiza różnicowa i analiza dyfrakcyjna XRD. Metoda gamma spektrometryczna może stać się cennym uzupełnieniem dotychczas stosowanych klasycznych metod charakterystyki procesów złóżotwórczych (por. [10]).

Literatura

- [1] Cuney M., Kyser K., *Recent and not-so-recent developments in uranium deposits and implications for exploration*. Mineralogical Association of Canada. Short Courses Series Volume 39, s. 257, 2008
- [2] Plewa M., Plewa S., *Petrofizyka*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1992
- [3] Tourliere B., Perrin J., Le Berre P., Pasquet J.F., *Use of air borne gamma-ray spektrometry for kaolin exploration*. J. Appl. Geophys. 53, 91-102, 2003
- [4] Rozporządzeniem Ministra z dnia 3 grudnia 2002 r. w sprawie wymagań dotyczących zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych w surowcach i materiałach stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i inwentarza żywego, a także w odpadach przemysłowych stosowanych w budownictwie, oraz kontroli zawartości tych izotopów (Dz. U. Nr 220, poz. 1850)
- [5] Solecki A. [ed], *Radioaktywność surowców skalnych - nowe metody dokumentowania*. Poltegor – Instytut Wrocław, 2013
- [6] IAEA: *Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data*. IAEA-TECDOC-1363, 2003
- [7] Tchorz-Trzeciakiewicz D.E.: *Radioaktywność surowców kaolinowych na przykładzie złoża Maria III w Nowogrodźcu*. (w) Solecki A. [ed]: *Radioaktywność surowców skalnych - nowe metody dokumentowania*. Poltegor – Instytut Wrocław s. 88-101, ław, 2013
- [8] Bolewski A., Budkiewicz M., Wyszomirski P.: *Surowce ceramiczne*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, 1991
- [9] Polański A.: *Geochemia i surowce mineralne*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, 1988
- [10] Muszer A., - *Charakterystyka okruszcowania północnej i środkowej części Gór Złotych na tle budowy geologicznej*. Acta Univ. Vrati. Prace Geol. Miner. T. 52, s. 1-130, 1997



Serpentynit antygorytowy

fot. Paweł Łączny