WYKORZYSTANIE SPEKTROSKOPII ODBICIOWEJ W ROZPOZNAWANIU ZŁÓŻ KOPALIN METALICZNYCH

REFLECTANCE SPECTROSCOPY IN ORE DEPOSITS EXPLORATION

Bartłomiej Bil, Mateusz Niedbał – KGHM Cuprum Sp. z o.o. Centrum Badawczo-Rozwojowe, Wrocław

Postęp techniczny i zapotrzebowanie na surowce metaliczne, przy jednoczesnym ograniczaniu kosztów badań, wymagają opracowywania nowych metod badawczych. Efektem innowacyjnego zastosowania istniejących metod, połączonych z ich optymalizacją jest powstanie technologii HyLogger z pakietem wspomagającym, w CSIRO w Australii (Commonwealth Scientific and Research Organization) pod kierownictwem dr John'a Huntington'a. Urządzenie opiera się na metodzie spektroskopii odbiciowej i jest w stanie analizować tysiące odebranych widm w różnych zakresach podczerwieni. Widma są analizowane przez program i nadają się do wykorzystania przy tworzeniu wizualizacji badanego obszaru. HyLogger nie rozpoznaje samych metali a tylko minerały pospolicie występujące w ich otoczeniu jak krzemiany i wodorotlenki. Pierwsze próby nad metodą podjęto podczas profilowań rdzeni wiertniczych z obszaru pasa zieleńcowego, w sąsiedztwie intruzji porfirowej. Mineralizacja złotonośna jest związana genetycznie z roztworami hydrotermalnymi i intruzjami. Towarzyszą jej zmiany okołorudne, które są widoczne na wykresach konstruowanych po skanowaniu rdzenia przez HyLogger. Stwierdzono powiązanie zmian chemizmu amfiboli i chlorytów z obecnością minerałów kruszcowych.

Technical development and metal demand is in opposite to decreasing finances for geological research force geologists to create cheap and fast tools invaluable during mineral exploration. HyLogger is the result of such a research which aim was to optimize currently existing technologies. HyLogger technology is the invention made by Dr. John Huntington's scientific team from The Australian Commonwealth Scientific and Research Organization (CSIRO). Basically device uses reflectance spectroscopy to determine mineralogy in samples. Spectra are analyzed by software and ready to be used to create visualization of the deposit. All results are described by their typical wavelength and then crosslinked with the FeO/FeO+MgO ratios. Chlorites and amphiboles have the highest potential in indicating new ore deposits. Fe, Mg and Al in relation to distance from gold occurrences show weak correlation. Magnesium content in chlorite composition is growing nearly to gold occurances. Ore mineralization is genetically connected with hydrothermal fluids and porphyry intrusions which caused mineral alteration easily recognizable by HyLogger.

Potrzeba opracowywania nowych metod eksploracji geologicznej

Rosnące zapotrzebowanie na surowce metaliczne, wyczerpywanie się obecnie eksploatowanych złóż i rosnące koszty dokumentowania nowych powodują, że firmy zajmujące się eksploracją podejmują zadania zmierzające do opracowywania nowych technologii badań geologicznych. Podstawową ideą przyświecającą tym działaniom jest przyspieszenie eksploracji niosące ze sobą obniżenie kosztów. Takie możliwości daje powiązanie ze sobą metod badań geochemicznych oraz obserwacje składu i sukcesji mineralnej.

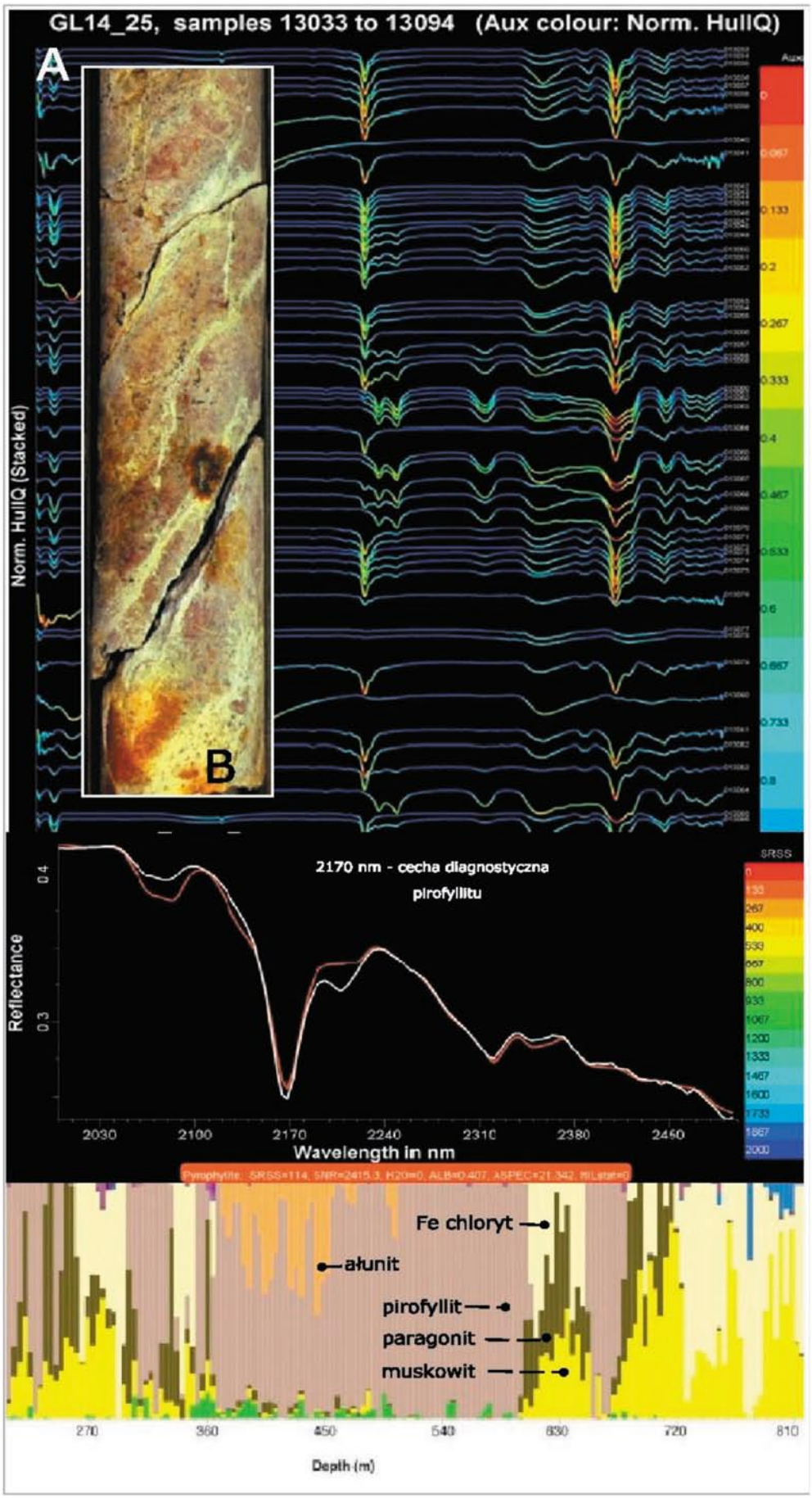
Ogromne znaczenie w światowych projektach eksploracyjnych mają złoża hydrotermalne związane genetycznie z intruzjami porfirowymi [4]. Obserwacja zmian okołorudnych na eksploatowanych już złożach pozwoliła na stworzenie modeli przestrzennych i wyznaczenie strefowości takich przemian [3].

Podstawową trudnością w przewidywaniu obecności złóż metali jest kwestia ich małej zawartości w skałach. Dla celów poszukiwawczych niezbędne są takie metody, które są w stanie stwierdzić obecność minerałów kruszcowych na podstawie minerałów rozpowszechnionych w skale otaczającej, występujących pospolicie, a często przeobrażonych podczas precypitacji metali. Jedną z najszybszych i tańszych metod badania minerałów jest spektroskopia odbiciowa w podczerwieni.

Spektroskopia odbiciowa

Metoda jest znana od wielu lat i powszechnie wykorzystywana. Istota działania skupia się na ekspozycji próbki na działanie źródła światła (energii) oraz mierzeniu intensywności światła odbitego i różnic długości fali. Minerały mogą być

Rys. 1. HyLogger znajdujący się w GSWA w Kalgoorlie w Australii
Fig. 1. HyLogger device in GSWA in Kalgoorlie, Australia



Rys. 2. Zarejestrowane widma (A) gromadzone z interwałów 10 mm z fotografią badanego obszaru próbki (B), poniżej widmo pirofyllitu z cechą diagnostyczną w miejscu 2170 nm. Na dole stosunki zawartości poszczególnych minerałów w zależności od głębokości [6]

Fig. 2. Spectra collected every 10 mm with co-registered images, below pyrophyllite diagnostic absorption feature. At the bottom: a downhole plot of mineral assemblages [6]

identyfikowane w oparciu o ich charakterystyczne widma. Cząsteczki wystawione na działanie światła zaczynają wibrować wywołując rozciąganie i obracanie ich wiązań chemicznych. Ze względu na różnice w składzie chemicznym i typie wiązań chemicznych pobudzenie cząsteczek skutkuje różnicami w absorpcji i odbiciu wysyłanego światła tworząc widma o charakterystycznych długościach fali. Parametry odbitego światła mierzone są za pomocą spektrometru i przedstawiane na wykresie, który wymaga interpretacji geologicznej.

Technologia HyLogging

Technologia opiera się na optymalizacji procesów skanowania prób w podczerwieni z wykorzystaniem oprogramowania komputerowego. Opracowana została pod kierunkiem dr Johna Huntingtona z CSIRO Australia, gdzie HyLogger System jest na wyposażeniu każdego oddziału Instytutu Geologicznego, jako podstawowe narzędzie do wirtualnej archiwizacji rdzeni. Technologia zapewnia bardzo szybkie i nieinwazyjne badanie rdzeni wiertniczych, fragmentów skalnych i sproszkowanych prób. System używa do badań spektrometrów mierzących widma odbiciowe i długości fali w zakresie światła widzialnego (VNIR) przez bliską podczerwień (SWIR) i podczerwień termalną (TIR).

W skład pakietu HyLogger System wchodzą: HyLogger (rys. 1) i HyChips używane do skanowania materiału badawczego (pierwszy używany do rdzeni, drugi pojedynczych próbek), TIR Logger i TSG Suite (pakiet geoinformatyczny). Pakiet oprogramowania (TSG – The Spectral Geologist) pozwala na zbieranie i magazynowanie dużej ilości danych. W pierwszej kolejności oprogramowanie porównuje wyniki uzyskane z analizy badanego materiału z wzorcami określając charakterystyczne grupy minerałów. Urządzenie rozpoznaje minerały zbudowane z: tlenków i wodorotlenków żelaza, wodorotlenków glinu i magnezu, glinokrzemiany, siarczany, węglany, niektóre siarczki masywne i krzemiany cynkowe oraz fosforany. W ciągu dnia możliwe jest skanowanie 700 m rdzenia. W trakcie skanowania kamera o wysokiej rozdzielczości wykonuje fotografie rdzenia automatycznie przypisując współrzędne przestrzenne otworu (rys. 2-3). Ponadto przy użyciu TSG możliwe jest określenie charakteru przemian i typu skały oraz wektorów mineralizacji.

Dane ze skanowania można w dowolny sposób zestawiać ze sobą tworząc profile, przekroje i modele 3D przez złoże (rys. 4), wyznaczać jednostki litologiczne i eksportować do innych programów.

Kierunki rozwoju

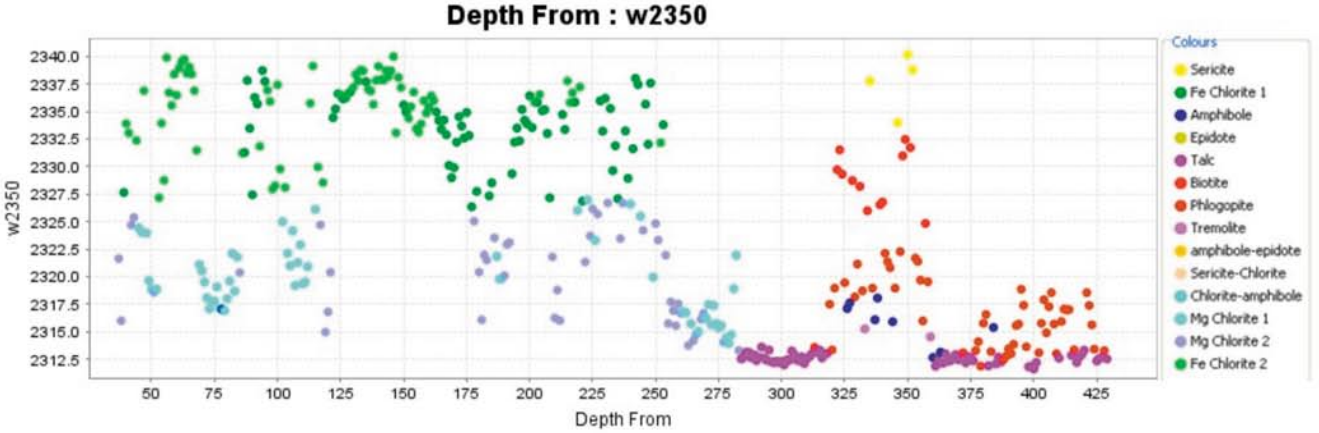
Rozwój każdej metody uzależniony jest od funduszy jakie zainteresowany podmiot jest w stanie ponieść na poczet innowacji. Udoskonalanie technologii HyLogger na tym etapie polega na skonstruowaniu algorytmów interpretacyjnych pozwalających na zautomatyzowanie procesu z możliwie małym błędem. Urządzenie nie wykrywa mineralizacji rudnej w sposób bezpośredni (np. złoto). Badania prowadzone wspólnie przez polskich i australijskich geologów skupiły się na wyznaczeniu indykatorów spośród minerałów rozpoznawanych przez HyLogger. Badania prowadzono na złożach złota w skałach zieleńcowych w sąsiedztwie intruzji porfirowej. Po przeanalizowaniu profili HyLogger dla poszczególnych otworów, składu chemicznego wykrytych minerałów, wykonaniu szerokiego zakresu badań różnymi metodami uznano, że glinokrzemiany charakteryzują się najlepszymi właściwościami.

Analizując za pomocą EDS i HyLoggera próbki skorelowano zestawiając ze sobą stosunek zawartości magnezu i żelaza (FeO/FeO+MgO) do długości fali (rys. 5). Wyraźny trend wykazały amfibole ($R^2 = 0{,}60$). Natomiast współczynnik dla chlorytów jest zmienny, co spowodowane jest pochodzeniem minerałów: część występuje w obrębie intruzji, a część w zmetamorfizowanych bazaltach. Współczynnik korelacji dla chlorytów bazaltowych wyniósł 0,75. Będąc w stanie wyznaczyć różnice zawartości Fe i Mg wykonano eksperymentalną korelację między zmianami zawartości Fe, Mg i Al w chlorytach a obecnością złota (rys. 6). Obserwuje się wzrost magnezu w obszarze, gdzie zawartość złota wynosi przynajmniej 2 ppm przy jednoczesnym spadku zawartości Fe, co wynika z zastępowania się obu pierwiastków w obrębie pozycji C [2]:

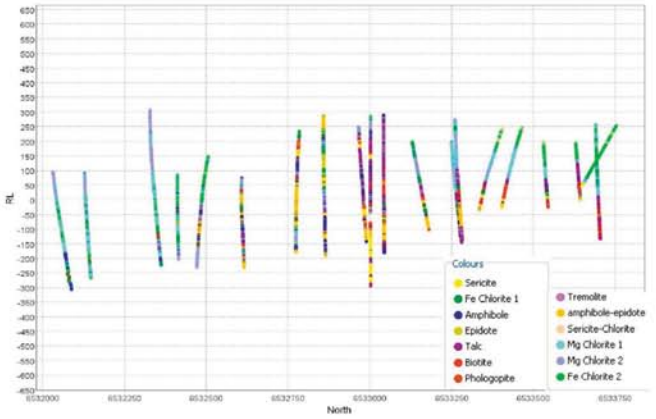
$$A_{0\text{-}1}\, B^{VI}{}_2\, C^{IV}{}_5\, T_8\, O_{22}\, (OH, F, Cl)_2 \qquad (1)$$

Podsumowanie

Umiejętne wykorzystanie możliwości HyLoggera ułatwia poszukiwanie i rozpoznawanie złóż. Daje dużą możliwość prezentacji, od przedstawiania pojedynczych otworów po przekroje i modele przestrzenne wykonywane przy pomocy

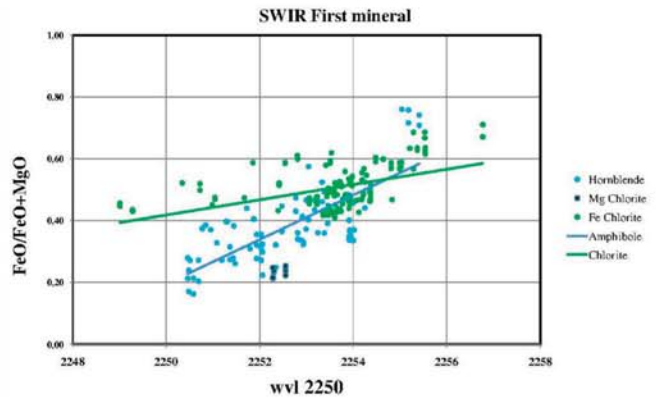


Rys. 3. Skład mineralny skał w profilu otworu zinterpretowany przez pakiet HyLogger (dzięki uprzejmości CSIRO)
Fig. 3. Drill core profile interpreted by HyLogger (courtsey of CSIRO).



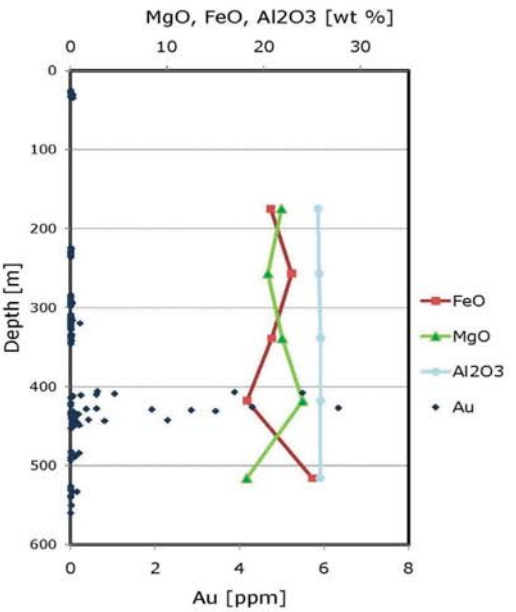
Rys. 4. Przykładowe zestawienie profili wykonane na podstawie wyników badań HyLogger z zaznaczonym rozkładem mineralogii (dzięki uprzejmości CSIRO)

Fig. 4. Presentation of results from HyLogger coloured by mineralogy (courtesy of CSIRO)



Rys. 5. Zmiana długości fali w zależności od stosunku zawartości Fe i Mg w chlorytach i amfibolach w próbkach, w których były minerałami dominującymi podczas badań w bliskiej podczerwieni. Następnie wykonano badania składu chemicznego metodą EDS rozpoznanych minerałów

Fig. 5. Variations of short wavelength in relation to Fe-Mg content in samples with domination of chlorites and amphiboles and than examined by EDS



Rys. 6. Relacja zawartości Fe-Mg-Al w składzie chlorytów, a zawartość złota [1]

Fig. 6. Relation between Fe-Mg-Al content and Au grade

najpopularniejszych programów (Gemcom-Surpac, FracSIS etc.). Kierunek badań zapoczątkowany eksperymentalnym wykorzystaniem krzemianów jako indykatorów złóż metali może w przyszłości przynieść korzyści wynikające z oszczędności czasu i finansów [5]. HyLogger wydaje się być nieocenioną pomocą przy profilowaniu rdzeni pochodzących ze złóż, w których zmiany okołorudne są najbardziej wyraźne, tak jak to ma miejsce w złożach porfirowych i innych hydrotermalnych. Urządzenie ma jednak wspomagać geologa w rozpoznaniu złoża, a nie go zastępować.

Podziękowania dla dr John Walshe'a z CSIRO Australia i Pana profesora Adama Piestrzyńskiego za pomoc przy badaniach.

Literatura

[1] Bil B.W., *Constraining the mineralogy of geochemical variations of spectral data through probe analysis*, St.Ives, Kambalda, Western Australia, 2010 Praca Dyplomowa, niepubl.

[2] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., *Rock forming minerals vol. 2,* Longman Group Limited, London. 1963

[3] Sillitoe R.H., *Porphyry copper systems*: Econ. Geology, vol. 105, pp. 1-41, 2010

[4] Stringham B., *Fields of formation of some common hydrothermal-alteration minerals:* Econ. Geology, vol. 47, pp. 661--664, 1952

[5] Walshe J.L., *A six-Component Chlorite Solid Solution Model and the onditions of Chlorite Formation in Hydrothermal and Geothermal Systems*. Economic Geology 81: pp. 681-703, 1986

[6] www.csiro.au/org/HyLoggingSystemGroup

Artykuł recenzował prof. dr hab. inż. Marek Nieć
*Rękopis otrzymano 1.04.2011 r. *2293*