

# MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA NIEKTÓRYCH METOD GEOFIZYCZNYCH W POSZUKIWANIACH I DOKUMENTOWANIU CZWARTORZĘDOWYCH NAGROMADZEŃ RUD ŻELAZA

## THE POSSIBILITIES OF USING OF SELECTED GEOPHYSICAL METHODS FOR PROSPECTING AND DOCUMENTING OF QUATERNARY IRON ORE DEPOSITS

Tomisław Gołębiowski, Tadeusz Ratajczak, Grzegorz Rzepa, Dariusz Sala - Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

*W artykule przedstawiono czwartorzędowe nagromadzenia żelaza – rudy darniowe i ochry. Charakteryzują się one skomplikowanym sposobem zalegania, co utrudnia ustalenie granic ich nagromadzeń, powierzchni i zasobów. W celu rozwiązania tych zagadnień określono możliwości wykorzystania metod geofizycznych – magnetycznych i georadarowych, których głównymi zaletami są nieinwazyjność oraz krótki czas uzyskania informacji przestrzennej dla okonturowania nagromadzeń rud żelaza. Było to również możliwe z uwagi na specyficzne cechy mineralno-chemiczne oraz fizykochemiczne tych kopalni, a także znaczne zawartości żelaza w analizowanych próbkach.*

**Słowa kluczowe:** rudy darniowe, ochra, metoda georadarowa, geofizyczne metody magnetyczne

*The paper presents Quaternary bog iron ores and ochre deposits. They are characterized by a complicated layers position, which makes it difficult to determine the boundary of accumulation, surface and resources. Solving these problems was possible using of selected geophysical methods - magnetic and GPR measurements. The main advantage of these techniques is non-invasive methods and short time needed for gathering of spatial information for outlining accumulations of iron ores. It was also possible due to the specific mineralogical, chemical and physicochemical properties of these deposits and large iron content in the analyzed samples.*

**Key words:** bog iron ores, ochre, GPR method, geophysical magnetic methods

### Rudy darniowe i ochry jako kopalina

Na przełomie XX i XXI wieku w Katedrze Mineralogii, Petrografii i Geochemii Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica były realizowane prace badawcze dotyczące rud darniowych i ochr. Są to czwartorzędowe nagromadzenia charakteryzujące się wspólnymi, niekiedy zbliżonymi cechami dotyczącymi mechanizmów ich powstawania, składu mineralno-chemicznego oraz własności fizykochemicznych. Podobieństwo ich wynika z żelazistego charakteru. Pierwsza z tych kopalni stanowi odmianę, która bardzo pozytywnie zapisała się w historii materialnej Polski, związanej z początkami hutnictwa dymarkowego w naszym kraju sięgające początków VIII wieku p.n.e.. Warunki geologiczne, hydrogeologiczne i morfologiczne sprawiły, że ich nagromadzenia należą do powszechnie występujących zwłaszcza na Niżu. Druga odmiana należy do rzadziej spotykanych. Jej obecność jest związana m.in. z utworami fliszowymi Karpat, a przydatność łączy się z możliwością wykorzystania w charakterze pigmentów żelazowych.

Wykonane badania miały charakter kompleksowy, które miały na celu ustalenia składu mineralno-chemicznego tych kopalni, ich genezy, możliwości praktycznego a innego niż dotąd

wykorzystania. Obejmowały także część złożowo-poszukiwawczo-dokumentacyjną. Współczesne możliwości analityczne pozwoliły na zidentyfikowanie ich składu mineralnego. Dotąd problem ten pozostawał nie do końca rozwiązany. Okazało się, że dominującym składnikiem jednej i drugiej kopaliny są wodorotlenki żelaza pozostające w formie odmian skrytokrystalicznych i stąd następujące duże problemy identyfikacyjne. Wyniki tych badań przedstawiono w formie artykułów naukowych, a także opracowań o charakterze monograficznym, których autorami byli J. Kotlarczyk i T. Ratajczak [5] oraz T. Ratajczak i G. Rzepa [9]. Zagadnienia te były także tematami rozpraw doktorskich [8, 10, 11].

### Problematyka złożowo-dokumentacyjna rud darniowych i ochr. Cel pracy

Realizowane prace obejmowały, jak już wspomniano, także część złożowo-poszukiwawczo-dokumentacyjną. W trakcie rozwiązywania tych zagadnień okazało się, że zarówno rudy darniowe jak i ochry odznaczają się pewną specyfiką dotyczącą sposobu i form zalegania ich nagromadzeń. Stąd ustalenie zasięgu ich granic nastęczało duże trudności. Nagromadzenia

charakteryzują się bowiem bardzo nieregularnym, często palczastym czy zafalowanym przebiegiem granic ich konturów. Przez to mają bardzo zróżnicowane kształty oraz rozmiary.

Etymologię terminu „rudy darniowe” należy wiązać z warunkami geologicznymi, geomorfologicznymi i hydrograficznymi dotyczącymi sposobu i miejsca zalegania. A. Bolewski A. i A. Manecki [2] uważają, że są to „... limonity porowate lub też luźne, sypkie masy barwy brunatnej miejscami przechodzące w czerwoną ...”. Według T. Ratajczaka i G. Rzepy [9] zbudowane są one głównie z wodorotlenków żelaza (ferrihydrytu), a ponadto składników allogenicznych – kwarcu, minerałów ilastych. Zawierają też syderyt, wiwianit, psydomelany oraz substancję organiczną.

Rudy darniowe zalegają płytko, na niedużej głębokości w formie pokładów o różnej rozciągłości i miąższości, co najwyżej kilkudziesięciu centymetrów. Ich nadkład najczęściej stanowi kilkunastocentymetrowa warstwa darni. Podłoże bywa litologicznie bardziej urozmaicone, w jego skład wchodzi piaski, iły, gliny, kreda jeziorna czy też mady rzeczne wymieszane z iłem. Rozciągłość form pokładowych jest różna, nie przekracza maksymalnie kilkuset metrów. Bywa, że poprzecinane są dolinami potoków, strumieni, cieków wodnych. Tworzą się wówczas nagromadzenia o charakterze płyt, gniazd czy pasów różnej wielkości, niekiedy nieprzekraczających jednak kilku metrów i o powierzchni kilkuset m<sup>2</sup>. Obserwuje się naturalne wyklinowanie i zanikanie ich nagromadzeń.

W zasadzie w żadnym momencie długiej historii eksploatacji i przetwarzania rud darniowych nie powstały jednoznaczne kryteria służące ich geologicznemu poszukiwaniu i dokumentowaniu tzn. rozpoznaniu warunków zalegania. Tym niemniej problemy kategoryzacji i ustalania zasad dokumentowania nagromadzeń rud darniowych pojawiły się kilkakrotnie. Przed II wojną światową problemem tym zajmował się m.in. R. Krajewski [7]. Obecność rudy darniowej stwierdzał on przy pomocy płytkich sondowań rozmieszczonych w regularnych ciągach oddalonych od siebie o 40 – 70 metrów i przecinających się pod kątem prostym. W celu potwierdzenia obecności tych rud zaczęto też wykonywać niegłębokie wkopy. Również one były rozmieszczone wzdłuż prostych linii. W efekcie tego obszar całego nagromadzenia został pokryty regularną szachownicą sond i wkopów.

Zaproponowana przez R. Krajewskiego procedura dokumentowania nagromadzeń rud darniowych przez długie lata nie ulegała zmianom. Stosowano ją także w sytuacji obecnych do 1997 roku w „Bilansie zasobów ...” [1] jedynych dwóch złóż rud darniowych z udokumentowanymi zasobami – Dębe Małe I oraz Dębe Małe II.

W ujęciu podręcznikowym mineralogicznie ochrami określa się samorodnie występujące minerały żelaza o charakterze ziemistym, tworzące własne skupienia lub towarzyszące limonitom. Bardziej współcześnie A. Bolewski i A. Manecki [2] za ochry uważają proszkowe, ziemiste odmiany tlenków i wodorotlenków żelaza, mogące zawierać także domieszki innych faz mineralnych – minerałów krzemionkowych, ilastych, fosforowych czy manganowych.

Ochry karpackie powstały w wyniku holocenijskich procesów hipergenicznych, którym były poddawane utwory fliszowe. Doprowadziły one do powstania pokrywy ochrowej. Szczególnie sprzyjające warunki ku temu istniały w wychodniach warstw menilitowych. Taka sytuacja miała miejsce w przypadku nagromadzenia w Czerwonkach Hermanowskich. Okazało się,

że budują je głównie ziemiste odmiany tych kopaliny. Rzadziej występują gliny ochrowe a podrzędnie konkretacje ochrowe. W wyniku procesów wymywania, przemieszczania i wytrącania tworzyły się „praochry” z koloidalnymi formami połączeń żelazistych. Z upływem czasu powstawały z nich autigeniczne fazy mineralne – ferrihydryt i goethyt. Silikoklastyczny materiał pochodzący ze zwietrzliny skał karpackich stanowi składnik allogeniczny. Wykazana zmienność mineralogiczna form i postaci połączeń fazowych żelaza pozwala śledzić w ochrach przebieg procesów transformacyjnych dotyczących zarówno stanu ich nagromadzeń (galaretowate – zróżnicowane kolorystycznie odmiany ochry – konkretcyjne) jak i wykształcenia fazowego (bezpostaciowe wodorotlenki żelaza – ferrihydryt – goethyt – hematyt).

Mechanizmy powstawania ochry karpackiej powodują tworzenie się nieregularnych form ich zalegania. Często mają charakter niszowy, gniazdowy, charakteryzujący się zmiennością miąższością, co stanowi duże trudności w wyznaczaniu konturu ich zalegania. Dodatkowe komplikacje wynikają z dużych zmian facjalnych dotyczących ich formy litologicznej. Sytuacja taka jak i nieduże zasoby nagromadzeń spowodowały, że nigdy nie były one przedmiotem geologicznych prac dokumentacyjnych.

#### **Przykłady wykorzystania metod geofizycznych w poszukiwaniach i lokalizacji nagromadzeń rud darniowych i ochry**

##### *Rudy darniowe – metody magnetyczne*

Geofizyczne metody magnetyczne w celu lokalizacji nagromadzeń rud darniowych wykorzystano w latach 70-tych ubiegłego wieku [4]. Tym niemniej metoda ta ma swoją historię, której początków należy szukać w latach 50-tych ubiegłego wieku. Wówczas zastosowano ją w przypadku dawnego, starożytnego hutnictwa świętokrzyskiego [6]. Czyniono to z uwagi na wykazanie obecności śladów archeologicznych po dawnym hutnictwie w rejonie Słupi Nowej. Prace te zakończyły się sukcesem. Stało się to możliwe z uwagi na wykorzystanie podstawowej zasady stosowania tej metody. Jej wykorzystanie staje się możliwe i satysfakcjonujące wówczas, kiedy w górotworze mamy do czynienia z obiektami (złożami, kopalinami, rudami) o zróżnicowanej podatności magnetycznej, gwarantującej wytworzenie silnego a jednocześnie zróżnicowanego pola magnetycznego o zmiennej wartości gradientu. W przypadku byłego hutnictwa świętokrzyskiego model ten mógł zafunkcjonować z uwagi na fakt, że pozostałości dawnych pieców hutniczych (dymarek) charakteryzowały się znaczną obecnością połączeń żelaza.

W przypadku rud darniowych metody magnetyczne zastosowano w sytuacji tzw. starożytnego hutnictwa mazowieckiego. Obejmowało ono obszar położony na zachód od Warszawy, gdzie w okresie lateńskim istniał silny ośrodek hutnictwa żelaza oparty na eksploatacji i przetwarzaniu rud darniowych. Pierwotnie metodę tę wykorzystywano podobnie jak w przypadku Gór Świętokrzyskich do lokalizacji pozostałości po dymarkach hutniczych tzw. kłoców. Powodzenie tych zabiegów sprawiło, że zastosowano je również w innym celu – do lokalizacji nagromadzeń rud darniowych. Kopaliny te spełniały bowiem podstawowy warunek gwarantujący powodzenie – zawierały podwyższone, dochodzące do 70% wag. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. I tu badania zakończyły się sukcesem. Udało się zlokalizować obecność nie-

wielkich nawet nagromadzeń, o powierzchni nieprzekraczającej kilkuset m<sup>2</sup>. Powstała przez to mapa złożowa z zamieszczonymi położeniami wystąpień tej kopaliny. Interpretacja uzyskanych wyników (zróznicowanie wartości gradientów magnetycznych) umożliwiło poza tym wykazanie obecności odmian rud darniowych różniących się składem mineralnym a zwłaszcza ilością połączeń żelaza.

#### ***Ochry z Zabratówki – metoda georadarowa (GPR)***

Te same cechy mineralno-chemiczne i właściwości fizykochemiczne, a głównie podwyższona ilość połączeń żelaza sprawiły, że metody geofizyczne zastosowano także w celu lokalizacji, a także ustalenia budowy geologicznej nagromadzeń ochry. W tym przypadku zastosowano metodę georadarową (GPR). W porównaniu z innymi metodami geofizycznymi pozwala ona na szybkie rozpoznanie budowy geologicznej badanego obiektu (złoża). Wykorzystuje w tym celu zróznicowanie wartości amplitudy sygnałów elektrycznych odbitych na granicach różnych utworów litologicznych. Zależy więc od własności elektrycznych. Wysoką rozdzielczość tych refleksów można uzyskać przy badaniach stref przypowierzchniowych sięgających głębokości kilku metrów. Badania te objęły oznaczenie:

- zespolonej przenikalności elektrycznej,
- elektrycznej przewodności właściwej,
- właściwości dielektrycznych,
- oporności.

Tego typu badania geofizyczne przeprowadzono w celu lokalizacji nagromadzenia ochry w utworach fliszowych Karpat tzn. w piaskowcach, łupkach, glinach zwietrzelinowych. Obiekt zainteresowania stanowiły osady ochrowe zalegające w pobliżu miejscowości Zabratówka położonej około 20 km na S-E od Rzeszowa. Teren zalegania ochry odznaczał się wyraźnym zróznicowaniem morfologicznym. Obserwowano jego deniwelacje. Badania geofizyczne zostały poprzedzone wykonaniem serii sondowań ręcznych i wkopów. Uzyskany z nich materiał skalny pozwalał na wstępne rozpoznanie budowy geologicznej nagromadzenia. Wykazano, że warstwa ochry przykryta jest glinami deluwialnymi, a w jej podłożu można napotkać relikty warstw menilitowych [3, 12].

Geofizyczne profile pomiarowe zaprojektowano pomiędzy wkopami i odwiertami. Umożliwiło to korelację wyników pomiarów georadarowych z wynikami badań litologicznych, mineralogicznych, geochemicznych i petrofizycznych. Uzyskane wyniki mogły służyć stworzeniu interpretacyjnego geofizycznego modelu nagromadzenia ochry, a także okonturowaniu jego powierzchni [12].

Geofizyczne pomiary terenowe wykonano techniką krótkoofsetowego profilowania refleksyjnego, przeprowadzonego w dwóch etapach:

- w pierwszym wykonano rekonesansowe badania w układzie dwuwymiarowym (2D). Pozwoliło to na wstępne rozpoznanie terenu, korelacje wyników badań georadarowych i otworowych oraz określenie możliwości, a także ograniczeń zastosowania techniki GPR w rozpoznawaniu nagromadzeń ochry,
- w drugim obiekt zainteresowań stanowiły rejony nagromadzenia najbardziej perspektywiczne z uwagi na wyniki badań I-go etapu. W tej sytuacji przeprowadzono szczegółowe badania trójwymiarowe (3D). Zostały one zaprojektowane w siatce profili równoległych oddalonych od siebie o 2 metry.

Nagromadzenia utworów ochrowych manifestowały swoją obecność silnym zanikiem amplitud refleksów ze względu na wzrost wartości elektrycznej przewodności właściwej. Strop zalegania ochry dawał zazwyczaj silne refleksy ze względu na kontrast wartości właściwości elektrycznych pomiędzy nimi a osadami fliszu karpackiego. Natomiast pod nagromadzeniami ochry zaznaczała się strefa zaniku refleksów. Wyniki badań otworowych oraz petrofizycznych wykorzystano do skonstruowania modelu numerycznego badanego profilu geologicznego. Wyliczono echogram syntetyczny na podstawie symulacji komputerowego rozkładu pola georadarowego [12].

Z badań otworowych wynika, że w Zabratówce do głębokości około 1,8 metra zalegają gliny oraz ich odmiany zażelazone (ochrowate). Ich przewarstwienia odznaczają się zmienną miąższością. Anomalie sygnalizujące obecność ochr zażelazonych i właściwych występują lokalnie. Przyjmując formy cienkich przewarstwień lub nagromadzeń o miąższości od kilkunastu do kilkudziesięciu centymetrów. Formy te spotykane są również na różnych głębokościach (również od kilkunastu do kilkudziesięciu cm). Wyniki te stały się pomocne do zaproponowania modelu geologicznego nagromadzenia ochry w Zabratówce.

#### ***Ochry z Czerwonek Hermanowskich – metoda magnetyczna***

Geofizyczne metody magnetyczne zastosowano w celu rozpoznania nagromadzenia ochry we wsi Czerwonek Hermanowskie (gmina Tyczyn, województwo podkarpackie), położonej na południe od Rzeszowa. Ochry tutaj zalegające były przedmiotem badań geologiczno-mineralogicznych w latach 1996 – 2002 [5].

W miejscu występowania ochry wykonano pomiary wartości całkowitego pola magnetycznego Ziemi [13]. Przeprowadzone badania wykazały obecność osadów o silnych własnościach magnetycznych w porównaniu z otaczającymi nagromadzenie skałami fliszu. Na podstawie pomierzonej pozornej podatności magnetycznej skonstruowano mapę kappametryczną. Jej porównanie z mapą geologiczną wskazuje na to, że największe wartości podatności magnetycznej odpowiadają odmianie ochry brązowej, odznaczającej się najwyższą obecnością Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Wykazane zróznicowanie podatności magnetycznej w ochrach spowodowane jest zmienną w nich ilością połączeń żelaza. Wynikać to może z różnie zaawansowanych procesów fizykochemicznych stymulujących zmienność zailenia ochry. W obrębie nagromadzenia stwierdzono też obecność anomalii zlokalizowanej w północnej części na głębokości kilku metrów o nieznanym źródle, będącej być może wynikiem działalności ludzkiej. Ukształtowanie morfologii terenu a także przekazy ludności wskazują, że nagromadzenie to było eksploatowane zapewne na początku XX-tego wieku. Wykazana anomalia może więc np. wskazywać na ślady dawnych zabudowań lub pozostałości po procesach przeróbczych, którym była poddawana ochra.

#### **Podsumowanie**

Przytoczone przykłady wykorzystania metod geofizycznych w celu poszukiwania i ustalenia zasięgu zalegania rud darniowych i ochr mają charakter wstępny. Dotyczą sporadycznych przypadków wybranych odmian kopaliny. Tym niemniej można je uznać za pozytywne. Dotyczy to zarówno metod

georadarowych jak i magnetycznych. Podstawę ich wykorzystania stanowi silny kontrast niektórych ich własności fizycznych (magnetycznych i elektrycznych) z odmianami skał otaczających. Pełna ich aplikacja wymaga jednak dysponowania także danymi geologicznymi, mineralogicznymi, geochemicznymi czy petrofizycznymi.

Ograniczeniem tych metod pomiarowych jest mały zasięg głębokościowy. Zwłaszcza w przypadku metod georadaro-

wych może one wynosić zaledwie kilka metrów. Również niestabilność budowy geologicznej bywa powodem trudności interpretacyjnych.

Optymalnym rozwiązaniem dającym nadzieje na uzyskanie w pełni pozytywnych oraz satysfakcjonujących rezultatów badań jest zastosowanie jednak zróżnicowanych i uzupełniających metod badawczych – geologicznych i geofizycznych.

*Prace wykonano w ramach grantu dziekańskiego 15.11.140.043, badań statutowych WGGIOŚ AGH nr 11.11.140.766 oraz działalności statutowej Katedry Mineralogii, Petrografii i Geochemii WGGIOŚ AGH w roku 2013.*

## Literatura

- [1] *Bilans zasobów kopalin i wód podziemnych w Polsce wg stanu na dzień 31 grudnia 1997 roku.* Ministerstwo Środowiska. Państwowy Instytut Geologiczny. Warszawa
- [2] Bolewski A., Manecki A., *Mineralogia szczegółowa.* Polska Agencja Ekologiczna, Warszawa 1993
- [3] Gołębiowski T., Sala D., Ratajczak T., *Kompleksowe badania geofizyczne i geologiczne w celu rozpoznania nagromadzenia osadów ochrowych w rejonie miejscowości Zabratówka koło Rzeszowa.* Geologia T. 37, zesz. 4, 2011
- [4] Jarzyna A., Kowalczyk J., Małozzewski S., Matuszyk J., Szybiński M., Woyda S., *Badania magnetyczne na stanowiskach archeologicznych na obszarze Mazowsza.* Zeszyty Naukowe AGH nr 524. Geologia zesz. 24, 1975
- [5] Kotlarczyk J., Ratajczak T., *Ochra karpacka z Czerwonek Hermanowskich.* Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN 2002
- [6] Kowalczyk J., *Zastosowanie geofizycznej metody magnetycznej w prospekcji stanowisk archeologicznych na obszarze starożytnego i średniowiecznego hutnictwa świętokrzyskiego w latach 1961 – 62.* Sprawozdania z Posiedzeń Komisji Naukowych Oddziału PAN w Krakowie, lipiec – grudzień, 1962
- [7] Krajewski R., *Sprawozdanie z inwentaryzacji złóż rud darniowych w roku 1934.* Sprawozdania z Posiedzeń Naukowych PIG, 42, 1935
- [8] Musiał J., *Geologiczne warunki zalegania, skład mineralny i chemiczny ochr z Janowic koło Tarnowa.* Maszynopis. Archiwum Katedry Mineralogii, Petrografii i Geochemii AGH, 1999
- [9] Ratajczak T., Rzepa G., *Polskie rudy darniowe.* Wydawnictwo AGH, Kraków 2012
- [10] Rzepa G., *Skład fazowy, chemiczny i własności fizykochemiczne rud darniowych w aspekcie wykorzystania ich jako naturalnych sorbentów.* Maszynopis doktoratu. Archiwum Katedry Mineralogii, Petrografii i Geochemii AGH, 2003
- [11] Sala D., *Skład mineralny i chemiczny, warunki powstania oraz możliwości wykorzystania osadów ochrowych (na przykładzie wystąpienia w Zabratówce koło Dynowa).* Maszynopis doktoratu. Archiwum Katedry Mineralogii, Petrografii i Geochemii AGH, 2013
- [12] Sala D., Gołębiowski T., *Analiza możliwości zastosowania metody georadarowej do detekcji osadów ochrowych.* Materiały z konferencji: Interdyscyplinarne zagadnienia w górnictwie i geologii, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 2011
- [13] Wojaś A., Rolirat A., Grabowska T., *Rekonosansowe badania podatności magnetycznej utworów przypowierzchniowych na wybranych obszarach południowej Polski.* Geologia T. 36, zesz. 2, 2010