

Michał Stefaniuk, Adam Cygal

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica

Marek Sada, Anna Kret, Grzegorz Lewiński

Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych Sp. z o.o.

## Złoże ropy naftowej Wańkowa w interpretacji danych elektromagnetycznych

W rejonie złoża Wańkowa wykonane zostały szczegółowe badania elektromagnetyczne wzdłuż jednej z linii sejsmicznych, przebiegającej w jego najbliższym sąsiedztwie. Przeprowadzone prace geofizyczne miały na celu weryfikację założeń metodycznych dotyczących wykrywania struktur złożowych znajdujących się w piaskowcach menilitowych. Pomiary zrealizowano za pomocą metod bazujących na polach elektromagnetycznych, generowanych w sposób naturalny i sztuczny. Konfrontacja wyników uzyskanych z niezależnych metod pozwoliła na sprecyzowanie i potwierdzenie dotychczasowych założeń. Ostatecznym rezultatem było wyznaczenie charakterystycznych wskaźników obecności struktur złożowych.

Słowa kluczowe: Karpaty zewnętrzne, złoża węglowodorów, warstwy menilitowe, struktury fliszowe, metody elektromagnetyczne.

### The “Wańkowa” oilfield in electromagnetic data interpretation

Detailed electromagnetic measurements in the Wańkowa deposit area along one of the seismic lines running nearby were performed. Geophysical measurements were performed to verify the methodological assumptions related to the detection of reservoir structures located in the menillite sandstones. The measurements were performed using methods based on the electromagnetic fields generated naturally and artificially. Comparison of the results obtained from independent methods, helped to clarify and confirm existing assumptions. The final result was to determine the characteristic indicators of the reservoir structures presence.

Key words: Outer Carpathians, hydrocarbon deposits, menillite beds, flysch structures, EM methods.

### Wstęp

Złoże ropy naftowej Wańkowa należy do największych w polskich Karpatach [5]. Zlokalizowane jest w zachodniej części strefy złożowej ciągnącej się od Łodyny przez Leszczowate aż do Brelikowa (rysunek 1A). Wchodzi w skład jednostki skolskiej, zbudowanej z warstw inoceramowych (kreda górna–paleocen), łupków pstrych (eocen), warstw hieroglifyowych (eocen górny), warstw menilitowych (oligocen–dolny miocen) oraz warstw krośnieńskich (oligocen górny–miocen). Model złoża Wańkowa przedstawiony jest na rysunku 1B [4, 5]. Na obszarze tego złoża, w pobliżu miejscowości Brelików, wykonane zostały szczegółowe badania elektromagnetyczne wzdłuż jednej z linii sejsmicznych, przebiegającej

w najbliższym sąsiedztwie złoża. Przeprowadzone prace miały na celu weryfikację założeń metodycznych dotyczących rozpoznania struktur złożowych, zbudowanych głównie z piaskowców menilitowych. Do realizacji tego zadania wykorzystano metody bazujące zarówno na naturalnym polu elektromagnetycznym, jak i polach sztucznie wzbudzanych. Pomiary zrealizowane zostały przez Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych Sp. z o.o. przy zastosowaniu nowoczesnej, wielofunkcyjnej aparatury pomiarowej kanadyjskiej firmy Phoenix Geophysics Ltd. Do zobrazowania struktur złożowych „Wańkowej” opisanych w tym opracowaniu wykorzystano metodę AMT (ang. *audio magnetotelluric method*),

opartą na rejestracji naturalnego pola elektromagnetycznego Ziemi, metodę procesów przejściowych (TDEM, ang. *time-domain electromagnetics method*) oraz metodę polaryzacji wzbudzonej (IP, ang. *induced polarization*), zarówno w domenie czasu (TDIP, ang. *time domain induced polarization*), jak i w domenie częstotliwości (SIP, ang. *spectral induced polarization*), z zastosowaniem ekwatorialnego układu pomiarowego. Wyniki badań pozwoliły na uzyskanie zgeneralizowanego obrazu geoelektrycznego ośrodka geologicznego

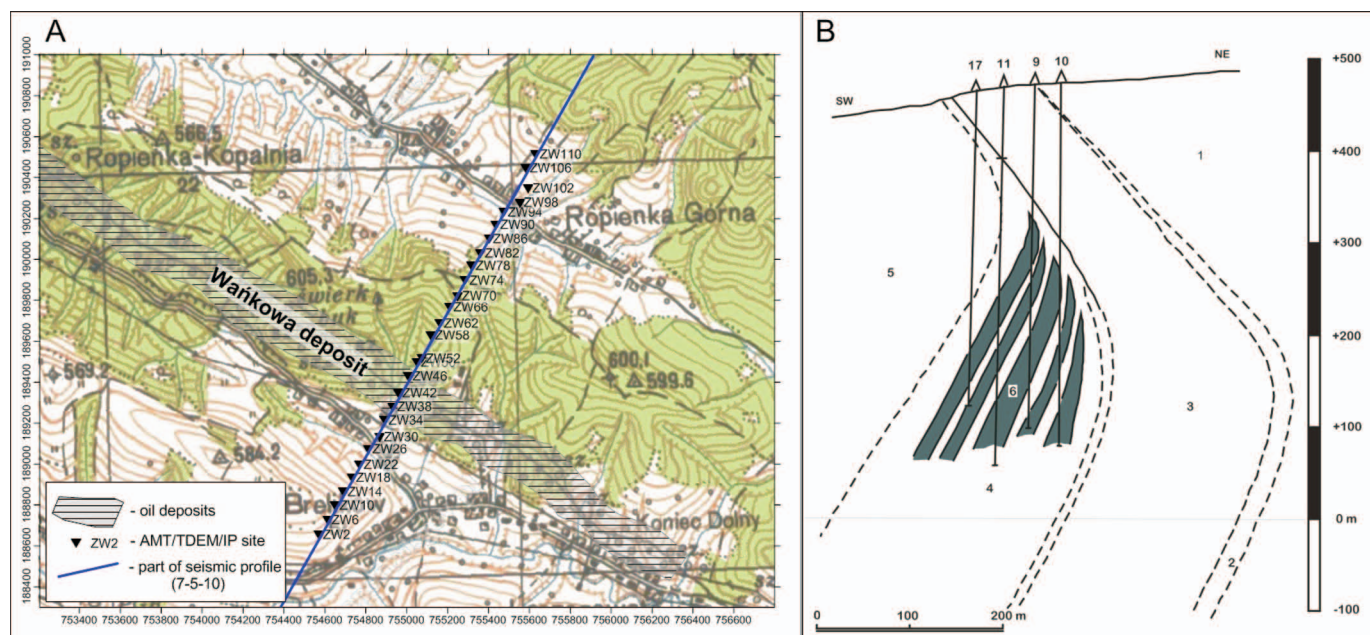
oraz powiązanie go z warunkami geologicznymi i tektonicznymi w rejonie złoża. Dzięki przeprowadzeniu badań na obszarze dobrze rozpoznanym pod względem geologicznym i sejsmicznym możliwa była weryfikacja otrzymanych wyników, a tym samym sprawdzenie poprawności przyjętej metodyki analizy danych elektromagnetycznych. Do weryfikacji wyników interpretacji danych elektromagnetycznych wykorzystano dane geologiczne i profilowania elektrometrii otworowej z otworu wiertniczego Paszowa-1.

### Zarys budowy geologicznej

Najstarszy element profilu jednostki skolskiej na analizowanym obszarze stanowią warstwy inoceramowe. Wykształcone są one jako łupki, piaskowce cienkoławicowe oraz margle [4]. Piaskowce warstw inoceramowych najczęściej są szare lub popielatoszare, skorupowe, mikowe i wapniste, w opisywanym rejonie badań zwykle cienkoławicowe. Popielate łupki, które przeławicają piaskowce, są ilasto-wapniste. Zgodnie z modelem Raźnego [5] powyżej warstw inoceramowych zalegają pstry łupki, zbudowane w znacznej części z czerwonych i zielonych łupków ilastych, w których można zauważyć skrzemionkowane wkładki oraz cienkoławicowe piaskowce glaukonitowe [4, 5]. Nad pstryimi łupkami w profilu jednostki skolskiej występują warstwy hieroglifowe, w tym rejonie zbudowane z jasnoszarych lub popielatych piaskowców, nad którymi zalega seria warstw menilitowych. Warstwy menilitowe charakteryzują się znaczną zmiennością litologiczną, a przez obecność piaskowca

kliwskiego – zmienną miąższością [4]. W obrębie warstw menilitowych wyróżnia się warstwy podrogowcowe, tworzące stratygraficznie ich dolną część, następnie występują warstwy rogowcowe, piaskowce kliwskie i łupki menilitowe. Piaskowce kliwskie, obecne na ogół powyżej środkowej warstwy rogowcowej, czasami pojawiają się w obrębie warstw podrogowcowych, zwiększając miąższość całego kompleksu. Często charakteryzują się względnie wysokimi porowatościami i stanowią skałę zbiornikową w pułapkach naftowych. Łupki menilitowe zazwyczaj są bogate w materię organiczną i w strefach, w których osiągnęły dojrzałość termiczną, uważa się je za główną skałę macierzystą dla generowania węglowodorów.

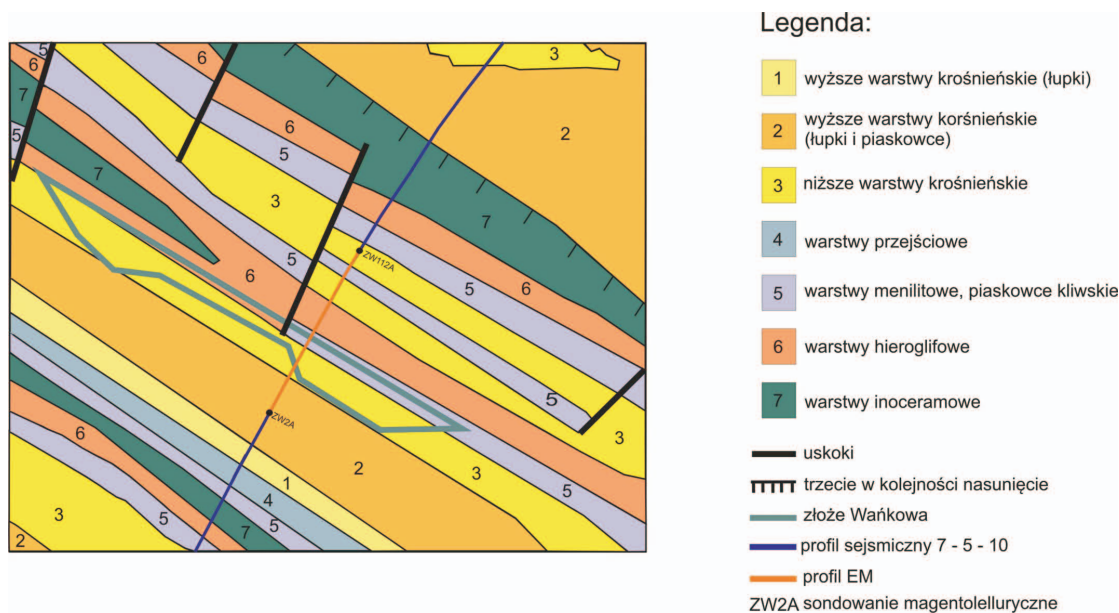
Analiza profilowań geofizyki otworowej z otworu Paszowa-1 dostarczyła danych o własnościach geoelektrycznych ośrodka geologicznego. Na ich podstawie możliwe było założenie, że w rejonie złoża Wańkowa występuje korzystna



Rys. 1. A – Mapa lokalizacyjna obszaru badań (źródło podkładu: mapy archiwalne PBG Sp. z o.o.); B – Model złoża Wańkowa według Raźnego 1973 [5]: 1 – warstwy inoceramowe, 2 – warstwy pstrych łupków (czerwonych), 3 – warstwy hieroglifowe, 4 – warstwy menilitowe, 5 – warstwy krośnieńskie dolne, 6 – horyzont roponośny

sytuacja do wykorzystania metod elektromagnetycznych do celów rozpoznawczych. Analizowane dane otworowe, pomierzone sondą potencjałową EL-14, wykazały istnienie wyraźnego kontrastu opornościowego pomiędzy warstwami menilitowymi a skałami otaczającymi. Średnie wartości oporności warstw inoceramowych wynoszą  $\sim 5,2 \Omega\text{m}$ , pstrych łupków (czerwonych)  $\sim 6,3 \Omega\text{m}$ , warstw hieroglifowych  $\sim 9,8 \Omega\text{m}$ , warstw menilitowych (piaskowców kłiwskich)  $\sim 97 \Omega\text{m}$ , warstw krośnieńskich dolnych  $\sim 43 \Omega\text{m}$ .

Analiza oporności wykazała, że możliwe jest wyznaczenie strefy kontaktowej pomiędzy warstwami menilitowymi (piaskowcami kłiwskimi) a kompleksami otaczającymi, charakteryzującymi się dużo niższymi opornościami. Jak zostało wykazane w dalszej części artykułu, znacząca różnica oporności pomiędzy piaskowcami menilitowymi a piaskowcami krośnieńskimi – dolnymi (rysunek 2) stwarza korzystną sytuację dowykorzystania m.in. metody polaryzacji wzbudzonej.



Rys. 2. Mapa geologiczna obszaru badań (według [3], zmienione)

### Charakterystyka metod badawczych i prace pomiarowe

Poniżej opisano wyniki badań przeprowadzonych metodą audio-magnetotelluryczną, procesów przejściowych oraz polaryzacji wzbudzonej. Przedstawiony fragment dłuższego profilu magnetotellurycznego zaprojektowany został wzdłuż profilu sejsmicznego 7-5-10 (będącego własnością PGNiG S.A.). Profil elektromagnetyczny przecina obszar złoży Wańkowa w kierunku SW-NE w rejonie miejscowości Brelików (rysunek 1A).

W celu realizacji postawionego zadania w pierwszej kolejności zastosowano metodę audio-magnetotelluryczną (AMT), która polega na rejestracji dwóch składowych elektrycznych i trzech magnetycznych naturalnego pola elektromagnetycznego. Pomiaru wykonano zostały z krokiem pomiarowym równym 40 m, według schematu przedstawionego na rysunku 3A. Konfiguracja pola źródłowego pozwala na rejestrację płaskiej fali elektromagnetycznej, która pada prostopadłe do powierzchni Ziemi, co jest fundamentalnym założeniem grupy metod magnetotellurycznych [8]. Takie założenie pozwala na względnie łatwe rozwiązanie zadania matematycznego opisującego rozkład pola indukowanego w złożonym

przewodniku, którym w przypadku pomiarów AMT jest ośrodek geologiczny. Źródłem rejestrowanych pól są odległe wyładowania atmosferyczne, trwające permanentnie w strefie równikowej. Impulsowe sygnały elektromagnetyczne odbijają się wielokrotnie od przewodzących granic naturalnego falowodu, jaki tworzy strefa dielektryczna pomiędzy powierzchnią Ziemi i spągiem jonosfery. W rezultacie na dużej odległości od miejsca generowania (wzbudzania) tych sygnałów powstaje zinterferowane pole, równoległe do granic falowodu, a więc wspomniane powyżej główne założenie metody magnetotellurycznej zostaje spełnione. Intensywność i częstość wyładowań atmosferycznych w strefie okołorównikowej zapewniają ciągłość występowania wysokoczęstotliwościowego pola naturalnego. Z praktycznego punktu widzenia zakres częstotliwości tego pola zawiera się w przedziale od około 0,1 Hz do wielkości rzędu 10 kHz (zakres działania aparatury pomiarowej dla pasma AMT). Do pomiarów zastosowano metodykę z wykorzystaniem punktu referencyjnego (ang. *remote reference site*), na którym rejestrowane są poziome składowe pola magnetycznego (rysunek 3A),

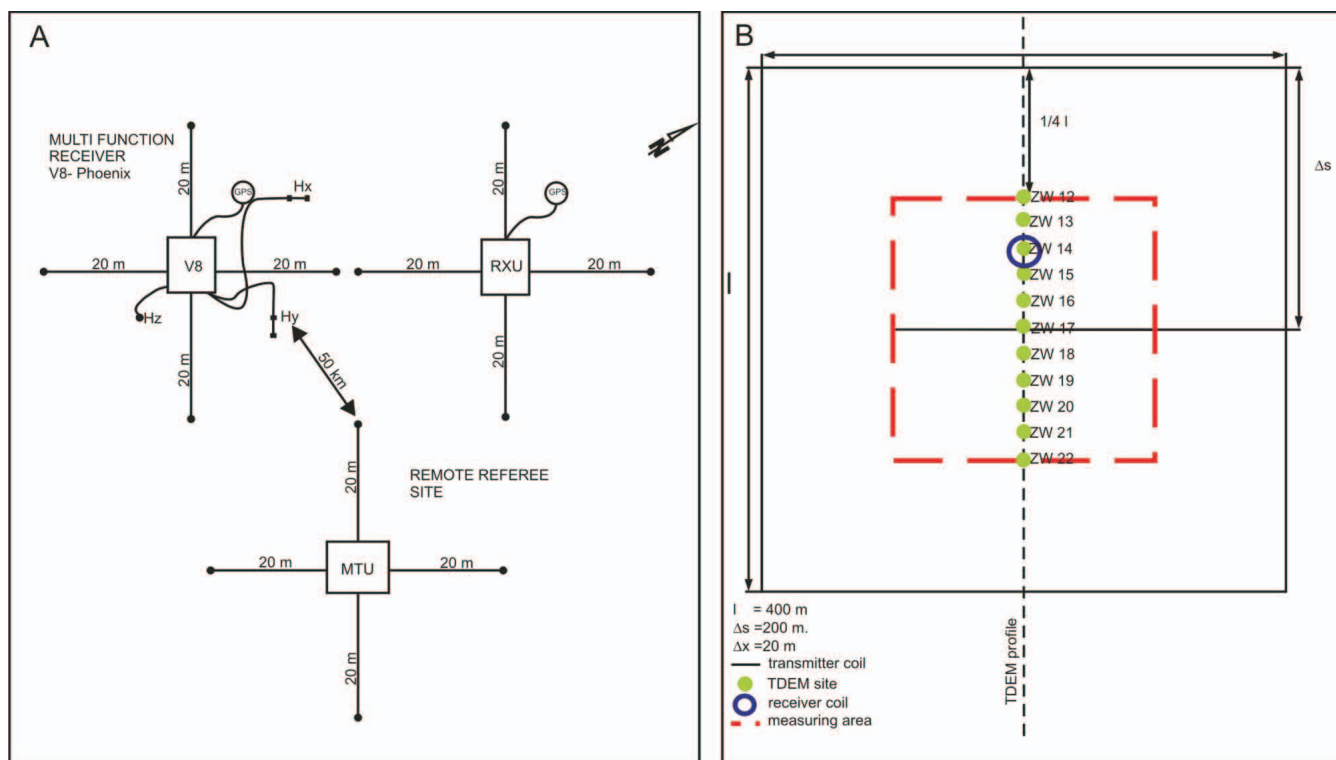


używanew czasie przetwarzania danych do eliminacji wpływu zakłóceń elektromagnetycznych [8].

Następnie, w celu porównania z wynikiem uzyskanym metodą AMT, zastosowano metodę TDEM (procesów przejściowych). Jest ona rzadko wykorzystywana, głównie z powodu konieczności użycia specjalistycznego sprzętu pomiarowego oraz dedykowanego oprogramowania do interpretacji tego rodzaju danych. Kluczowym problemem jest również sama akwizycja danych pomiarowych, która w trudnym terenie karpackim przysparza szeregu poważnych problemów logistycznych. Jednak wykorzystanie tej metody pozwoliło na nowe spojrzenie na zastosowanie metod elektromagnetycznych w niełatwych karpackich warunkach strukturalnych. Źródłem sygnału elektromagnetycznego w metodzie TDEM jest nadajnik prądowy (ang. *transmitter*), połączony z pętlą nadawczą, zasilany przez generator prądowy [6]. Pętlę nadawczą tworzy jednożyłowy miedziany przewód, ułożony na powierzchni terenu w formie kwadratu, prostokąta lub koła. Prąd wzbudzany jest impulsowo, dzięki czemu wewnątrz badanego ośrodka generowane jest zmienne pole elektromagnetyczne (rysunek 3B). Indukowany prąd początkowo kumuluje się przy powierzchni ziemi, a następnie płynie w dół, powiększając tym samym zasięg pola EM. Polu elektrycznemu, ściśle związanemu z prądami wirowymi, zgodnie z równaniami Maxwella, towarzyszy zmienne pole magnetyczne, które jest niezbędne do zastosowania opisywanej metody. Na powierzchni mierzone jest ono za pomocą

cewki odbiorczej. Zmiany pola magnetycznego pośrednio niosą informację na temat rozkładu przewodności w badanym ośrodku. Pomiar odbywa się w interwałach pomiędzy kolejnymi wzbudzonymi impulsami. Mierzone jest natężenie wtórnego pola magnetycznego, a konkretnie zmiany wartości pionowej składowej pola magnetycznego w czasie (krzywa opadania). W przypadku opisywanych pomiarów jako pętlę nadawczą zastosowano kwadrat o boku 400 m (rysunek 3B). Dla zapewnienia odpowiednich warunków pomiarowych pętla nadawcza przesuwana była wzdłuż profilu pomiarowego z krokiem  $\Delta s = 200$  m, natomiast pomiary pionowej składowej pola magnetycznego realizowano z krokiem pomiarowym  $\Delta x = 20$  m, a więc krokiem dwukrotnie zagęszczonym w stosunku do pomiarów AMT, co pozwoliło na zwiększenie rozdzielczości poziomej metody.

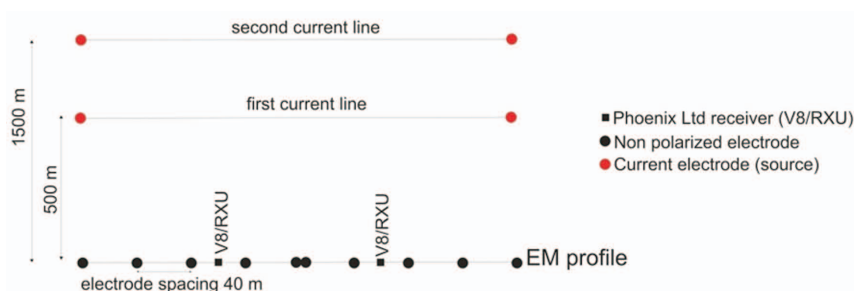
Dla uzupełnienia wyników obydwu powyższych metod wykonano pomiary polaryzacji wzbudzonej (IP) z wykorzystaniem układu ekwatorialnego, w którym dipol nadawczy i odbiorczy są względem siebie równoległe (rysunek 4). Metoda ta umożliwia pomiar zdolności ośrodka geologicznego do gromadzenia ładunków. Polaryzację wzbudzoną można określić przez obecność wygenerowanych wtórnych pól elektromagnetycznych pod wpływem impulsu prądu elektrycznego [9]. Bezpośrednią przyczyną tego zjawiska są procesy elektrochemiczne zachodzące w ośrodku dwufazowym, które powodują powstawanie pól elektromagnetycznych. Pod wpływem pola zewnętrznego procesy elektrochemiczne



Rys. 3. Schemat układów pomiarowych AMT i TDEM stosowanych w rejonie złoża Wańkowa. A – schemat układu pomiarowego AMT; B – schemat układu pomiarowego i przyjęta metodyka akwizycji dla metody TDEM

uaktywniają się, wywołując zaburzenia stanu równowagi ośrodka, który stopniowo powraca do niej w momencie wyłączenia impulsu [7]. Podczas tego procesu warstwy, obiekty znajdujące się w mierzonym ośrodku, w zależności od budowy geologicznej, generują sygnały polaryzacji o różnej amplitudzie oraz różnym czasie ich zanikania. Pomiar i analiza tych składowych dają informację na temat budowy geologicznej ośrodka. Zjawisko polaryzacji wzbudzonej jest najbardziej intensywne, gdy w badanym ośrodku występują minerały o przewodnictwie elektronowym, dlatego metodę tę stosuje się głównie do poszukiwania złóż rud. W literaturze opisano przypadki wykorzystania zjawiska polaryzacji wzbudzonej do scharakteryzowania ośrodka geologicznego pod kątem występowania złóż węglowodorów [7]. Parametry, jakie opisują zjawiska polaryzacyjne, wchodzi w skład tzw. urojonej składowej przewodności ośrodka. Nasylenie przestrzeni porowej przez węglowodory powoduje wzrost wartości stałej zaniku pola indukowanego, a w związku z tym rejestrację anomalnych wartości parametrów polaryzacji wzbudzonej oraz tzw. przesunięcia fazowego pomiędzy polem pierwotnym i indukowanym [2]. Obecność pola pierwotnego

proceeds to the accumulation of excess positive charges at the boundary of the deposit and negative charges in its immediate vicinity. Not always anomalies, generated in connection with the presence of the ore zone, are possible to be registered on the surface. The occurrence of hydrocarbons, and thus the possibility of their migration to the surface, causes geochemical changes in the immediate environment of the deposit. Such a phenomenon leads to the formation of a so-called diffusion chimney, the presence of which will also be a cause of specific mineralogical changes in the near-surface zone, which are a source of noticeable geophysical anomalies [7]. Typical measurement schemes used for induced polarization measurements in an equatorial configuration are presented in Figure 4.



Rys. 4. Schemat układu pomiarowego dla metody polaryzacji wzbudzonej (IP) realizowany w rejonie złoża Wańkowa (brak skali)

### Interpretacja wyników badań

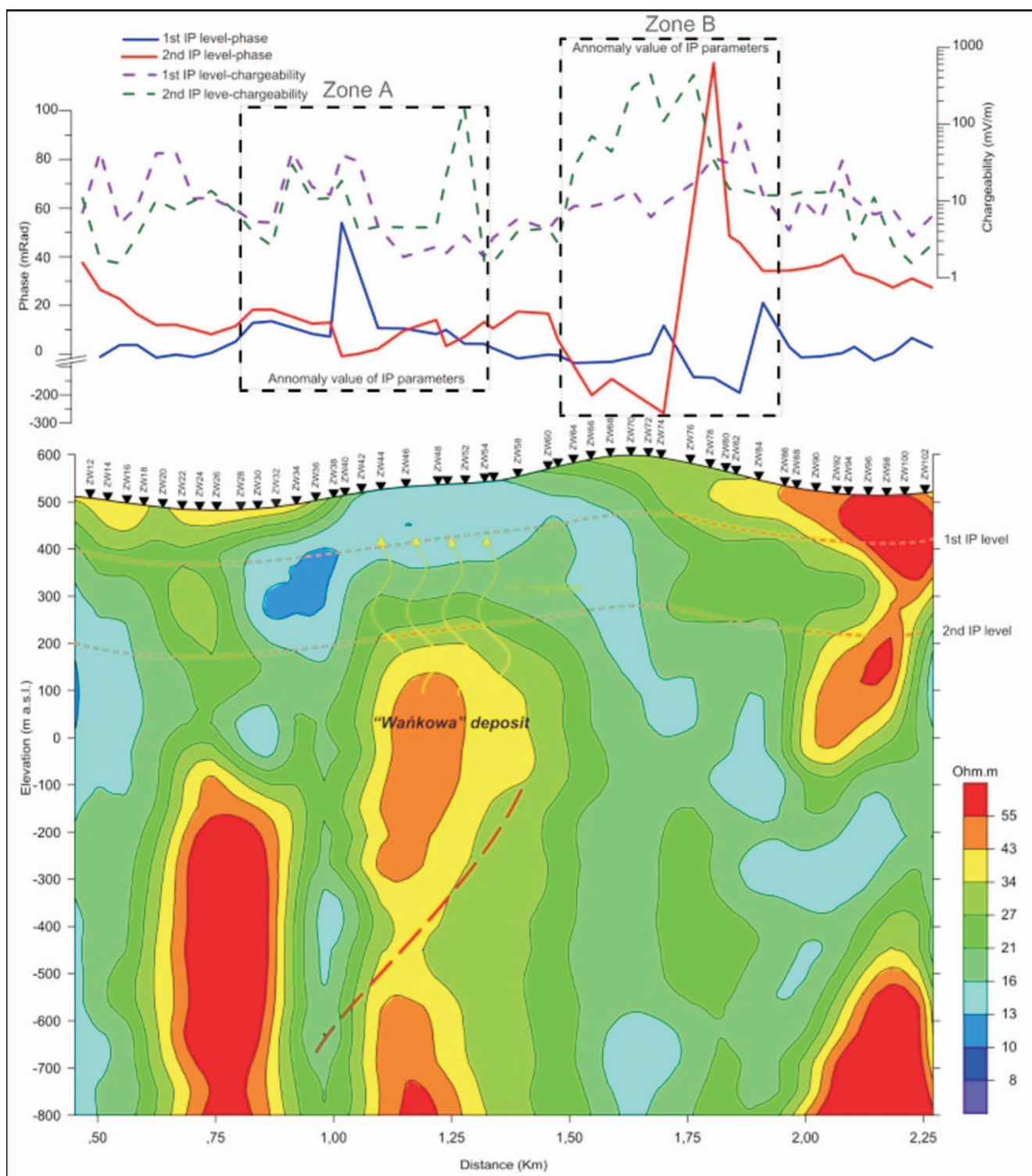
Interpretacja danych przeprowadzona została przy wykorzystaniu oprogramowania WinGLink firmy Geosystem-SRL., udostępnionego przez Akademię Górniczo-Hutniczą w Krakowie, które pozwala na wykonanie pełnego przetwarzania danych AMT/MT i TDEM. Interpretowane były wyniki inwersji jednowymiarowych 1D według algorytmu Occama. Modelowanie jednowymiarowe zakłada brak zmienności lateralnej oporności, co oznacza założenie ośrodka płasko-równoległego. Inwersja jednowymiarowa według Occama zakłada automatyczne obliczanie rozkładu oporności w ośrodku na podstawie krzywych amplitudowych i fazowych [1]. Podstawą ww. metody jest dążenie do uzyskania rozwiązania w postaci, w miarę możliwości, wygładzonego modelu, dzięki czemu przekroje wynikowe nie posiadają wyraźnie widocznych kontrastów. Modelem startowym dla tego typu inwersji jest ośrodek płasko-równoległy z miąższościami rosnącymi z głębokością, w skali logarytmicznej.

Wybór sposobu interpretacji, wykorzystującego wyłącznie inwersję jednowymiarową, podyktowany był koniecznością porównania wyników uzyskanych z dwóch niezależnych metod (AMT, TDEM). Zastosowane oprogramowanie pozwala na obliczenie dla krzywych TDEM modeli jednowymiarowych oraz późniejsze ich złożenie w postaci

pseudosekcji 2D. Dla pomiarów AMT wykonano ten sam rodzaj inwersji (rysunek 5), a obliczenia przeprowadzono dla tzw. mody elektrycznej (polaryzacji elektrycznej – TE), a więc takiej, dla której składowa elektryczna była zgodna z biegiem warstw, natomiast składowa magnetyczna prostopadła do ich upadu. Wyniki interpretacji dla jednej i drugiej metody wskazują, w postaci wysokooporowej anomalii, na obecność piaskowców kliwskich formacji menilitowej zalegającej niemal pionowo. Sekwencja oporności odpowiada założonej kolejności warstw na podstawie modelu Raźnego (rysunek 1B). Zmiany wartości w części wysokooporowej świadczą o intensywnym zaawansowaniu tektonicznym strefy złożowej, co zostało zaznaczone na przekrojach przerywanymi czerwonymi liniami (rysunki 5, 6). Wyniki inwersji dla metod AMT i TDEM są generalnie zbieżne. Na obydwu rysunkach anomalia wysokooporowa, związana z występowaniem struktury zbudowanej z piaskowców kliwskich, jest zlokalizowana w tym samym miejscu, co potwierdza poprawność wykonanej inwersji. W przypadku obydwu zastosowanych metod bardzo wyraźnie zaznacza się także granica wysokooporowych piaskowców menilitowych i niskooporowego kompleksu, zbudowanego z łupków menilitowych, warstw hieroglifowych, pstrych łupków, i warstw inoceramowych.

Wyniki inwersji 1D, według algorytmu Occama, zestawiono z rezultatami pomiarów polaryzacji wzbudzonej. Jako reprezentatywne wybrano dwa parametry polaryzacyjne: parametr fazowy (ang. *phaseparameter*) oraz polaryzowalność (ang. *chargeability*), pomierzone dla dwóch poziomów głębokościowych, wynikających z geometrii ekwatorialnego układu pomiarowego (rysunek 4). Jak wspomniano we wstępie, silny kontrast oporności pozwolił na powstanie efektu

polaryzacyjnego (efektu naskórkowego) na kontakcie piaskowców menilitowych z niskooporowym otoczeniem, czego efektem są zmiany wartości parametru fazowego oraz polaryzowalności. Parametry te stanowią dodatkowe wskaźnik, pozwalające na potwierdzenie obecności strefy kontaktu, jak również dają możliwość okonturowania samej strefy złożowej. Odznaczają się one znaczną zmianą wartości parametru fazowego. Na podstawie pomiarów IP wyznaczono dwie

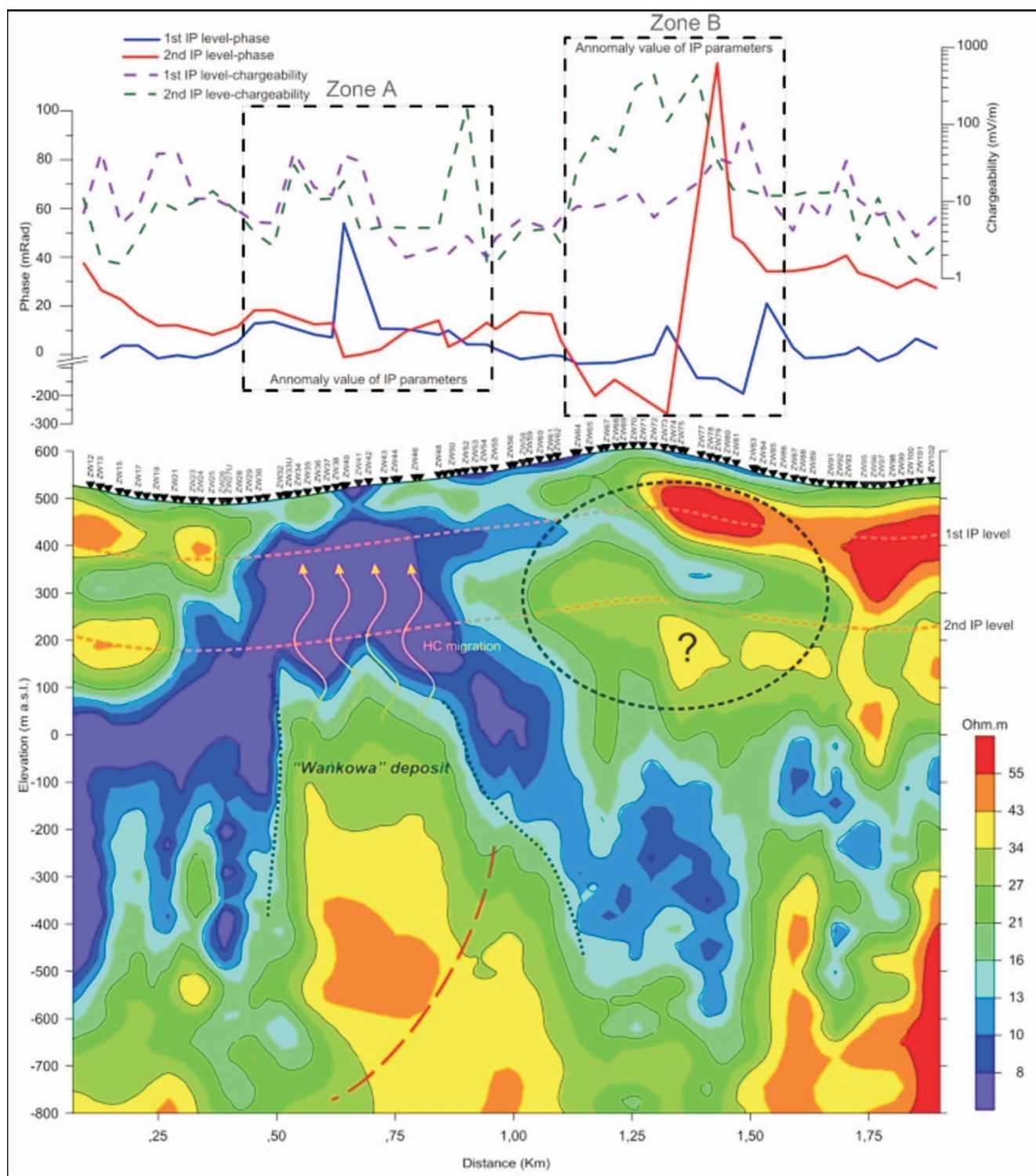


Rys. 5. Zestawienie wyniku inwersji 1D według algorytmu Occama dla danych AMT oraz wyniku pomiarów polaryzacji wzbudzonej



anomalne strefy, wynikające ze zmiany przesunięcia fazowego i polaryzowalności (rysunki 5, 6). Nad złożem stwierdzono duże zróżnicowanie parametrów polaryzacji wzbudzonej. Nad samym złożem (strefa A, rysunki 5, 6) obserwowany jest wzrost wartości polaryzacji, co odpowiada geoelektrycznemu modelowi złoża [8]. Ciekawa wydaje się również anomalna wartość parametru przesunięcia fazowego, widoczna na rysunku 5, 6 – strefa B.

Obserwując wyniki AMT, nie można wprost określić źródła zarejestrowanych anomalii. Jest to jednak możliwe na podstawie wyników metody TDEM, które charakteryzują się większą rozdzielczością, dzięki czemu można wyróżnić anomalie geoelektryczną, zlokalizowaną na drugim poziomie śledzenia IP (rysunek 6, strefa B). Obszar ten został zaznaczony na rysunku czarną obwiednią. Taka anomalja wskazywać może lokalizację strefy złożowej z nagromadzeniem węglowodorów.



Rys. 6. Zestawienie wyniku inwersji 1D według algorytmu Occama dla danych TDEM oraz wyniku pomiarów polaryzacji wzbudzonej

## Podsumowanie i wnioski

Przedstawione powyżej wyniki badań potwierdzają przydatność kompleksu metod elektromagnetycznych w bezpośrednich poszukiwaniach złóż węglowodorów, zwłaszcza złóż zalegających względnie płytko, w skomplikowanych litologicznie, facjalnie i tektonicznie strukturach fliszowych Karpat zewnętrznych. W prospekcji naftowej wykorzystującej metody elektromagnetyczne problem stanowić może (w tym obszarze) warstwowa budowa złoża oraz litologiczno-tektoniczny charakter pułapek złożowych. Skutkiem takiej sytuacji będzie rejestrowanie anomalii elektromagnetycznych

niedających dobrej rozdzielczości, ale przedstawiających zgeneralizowany obraz geoelektryczny strefy złożowej, co zostało zobrazowane na zamieszczonych w tekście rysunkach. Pomimo tych niedoskonałości, jak wskazują dane literaturowe, wyniki uzyskane za pomocą metod elektromagnetycznych stanowią wskaźnik potwierdzający istnienie anomalnych stref wyinterpretowanych na podstawie badań sejsmicznych. Kolejnym etapem interpretacji danych geofizycznych będzie planowana w dalszej kolejności kompleksowa interpretacja z rezultatami prac sejsmicznych.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2015, nr 9, s. 673–680

Artykuł nadesłano do Redakcji 16.07.2015 r. Zatwierdzono do druku 4.08.2015 r.

Artykuł opracowany został na podstawie badań wykonanych w ramach projektu pt. *Eksperymentalna oraz kompleksowa i wielowariantowa interpretacja danych sejsmicznych, magnetotellurycznych, gravimetrycznych i otworowych jako narzędzie poprawy efektywności badań strukturalnych i złożowych* – Program Badań Stosowanych III (realizacja badań 2015–2017; finansowanie – NCBiR).

## Literatura

- [1] Constable S. C., Parker R. L., Constable C. G.: *Occam's inversion: A practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data*. Geophysics 1987, vol. 52, no. 3, s. 289–300.
- [2] Davydycheva S., Rykhlini N., Legeido P.: *Electrical-prospecting method for hydrocarbon search using the induced-polarization effect*. Geophysics 2006, vol. 71, no. 4, s. G179–G189.
- [3] Jankowski L.: *Mapa geologiczna obszaru Łodyny*. (Jankowski 1986–2010, Zytko, Zimnal 1995; Gucik i in. 1991). Kraków 2010.
- [4] Jankowski L., Probulski J.: *Rozwoj tektoniczno-basenowy Karpat Zewnętrznych na przykładzie budowy geologicznej złoż Grabownica, Strachocina i Łodyna oraz ich otoczenia*. Geologia 2011, t.37, z.4, s. 555–583.
- [5] Karnkowski P.: *Oil and gas deposits in Poland*. Geosynoptics Society „Geos”, 1999, ISBN 83-86695-01-3, s. 75.
- [6] Klitynski W., Targosz P.: *Zastosowanie metody procesowoprzejsciowych do wykrywania złożów węglowodorów w rejonie Grabownicy Starzeńskiej–Humnisk–Brzozowa*. Geologia 2011, t. 37, z.1, s. 141–156.
- [7] Stefaniuk M.: *Metody elektromagnetyczne w prospekcji naftowej*. Geologia 2011, t.37, z.1, s. 5–36.
- [8] Stefaniuk M., Farbisz J., Wojdyła M., Sito L.: *Badania magnetotelluryczne na Dolnym Śląsku – nowe możliwości wykorzystania metody magnetotellurycznej w geologii strukturalnej, złożowej, poszukiwaniach wód mineralnych i termalnych*, [W:] Żelazniewicz A., Wojewoda J., Cieszkowski W. (red.): *Mezozoik i kenozoik Dolnego Śląska*. 81 Zjazd Polskiego Towarzystwa Geologicznego, 2011, ISBN 978-83-924869-8-5, s. 169–193.
- [9] Wojdyła M., Stefaniuk M., Sada M., Sito L.: *Metoda polaryzacji wzbudzonej w prospekcji złożów węglowodorów*. Geologia 2011, t.37, z.1, s. 63–88.



Dr hab. inż. Michał STEFANIUK  
Geofizyk, Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Katedra Surowców Energetycznych  
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków  
Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych Sp. z o.o.  
ul. Jagiellońska 76, 03-301 Warszawa  
E-mail: [stefaniu@agh.edu.pl](mailto:stefaniu@agh.edu.pl)



Mgr inż. Adam CYGAL  
Doktorant w Katedrze Surowców Energetycznych na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska. Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie  
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków  
E-mail: [cygal@agh.edu.pl](mailto:cygal@agh.edu.pl)



Mgr inż. Marek SADA  
Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych Sp. z o.o.  
ul. Jagiellońska 76  
03-301 Warszawa  
E-mail: [m.sada@pbg.com.pl](mailto:m.sada@pbg.com.pl)



Mgr inż. Anna KRET  
Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych Sp. z o.o.  
ul. Jagiellońska 76  
03-301 Warszawa  
E-mail: [a.kret@pbg.com.pl](mailto:a.kret@pbg.com.pl)



Mgr inż. Grzegorz LEWIŃSKI  
Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych Sp. z o.o.  
ul. Jagiellońska 76  
03-301 Warszawa  
E-mail: [g.lewiński@pbg.com.pl](mailto:g.lewiński@pbg.com.pl)