

Michał Stefaniuk, Adam Cygal, Magdalena Krzysztofik

*AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie*

Marek Sada, Elżbieta Maj

*Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych Sp. z o.o., Warszawa*

## Zastosowanie metod elektromagnetycznych w rozpoznawaniu pułapek naftowych w płytkich strukturach fliszowych

W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących wykorzystania metod elektromagnetycznych w prospekcji złóż węglowodorów oraz w rozpoznawaniu struktury i zróżnicowania litologicznego kompleksów fliszowych. W latach 2008–2014 wykonano serię badań elektromagnetycznych w rejonach wybranych karpaccich złóż węglowodorów, m.in. w obszarze złoża ropy naftowej i gazu ziemnego Grabownica, złoża gazu ziemnego Strachocina oraz złóż ropnych Łodyna i Wańkowa. Zastosowane zostały metody: audiomagnetotelluryczna (AMT), audiomagnetotelluryczna z kontrolowanym źródłem (CSAMT), metoda polaryzacji wzbudzonej (IP) oraz metoda procesów przejściowych (TDEM). W niniejszej publikacji wykorzystano w charakterze przykładów wyniki badań wykonanych w rejonie złoża ropy naftowej Grabownica za pomocą metod magnetotellurycznych (AMT, CSAMT) oraz metody polaryzacji wzbudzonej (IP). Rezultaty badań potwierdzają przydatność metody magnetotellurycznej do wykrywania i rozpoznawania akumulacji węglowodorów. Parametry polaryzacji wzbudzonej wskazują na obecność złoża i pozwalają na określenie jego zasięgu. Anomalie generowane przez nasycenie węglowodorami są jednak trudne do odróżnienia od efektów związanych ze zróżnicowaniem litologii i/lub elementów struktury geologicznej.

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

### Applications of electromagnetic methods in the exploration of petroleum traps in shallow-buried flysch structures

Results of a survey related to the application of electromagnetic methods for hydrocarbon deposits prospection and recognizing of the structure and lithological diversity of flysch complexes in the Polish Outer Carpathians are presented in the paper. Between 2008–2014 a series of electromagnetic research in selected areas of the Carpathian's hydrocarbon deposits were carried out, inter alia on oil and natural gas "Grabownica", natural gas reservoir "Strachocina" and oil fields: "Łodyna" and "Wańkowa". The electromagnetic methods applied were the : audiofrequency magnetotelluric method (AMT), controlled source audiofrequency magnetotelluric method (CSAMT), method of induced polarization (IP) and time-domain electromagnetic method (TDEM). In this paper, as examples, the results of surveys carried out in the area of the "Grabownica" oil field with use of magnetotelluric methods (AMT, CSAMT) as well as the induced polarization method (IP) were presented. The presented results confirm the usefulness of a magnetotelluric method for discovering and recognizing hydrocarbon accumulations. The parameters of induced polarization indicates the presence of deposits and allow to specify its scope. However, anomalies generated by the saturation of hydrocarbons are often difficult to distinguish from effects associated with the lithology differentiation and/or geological structure.

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

Wstęp

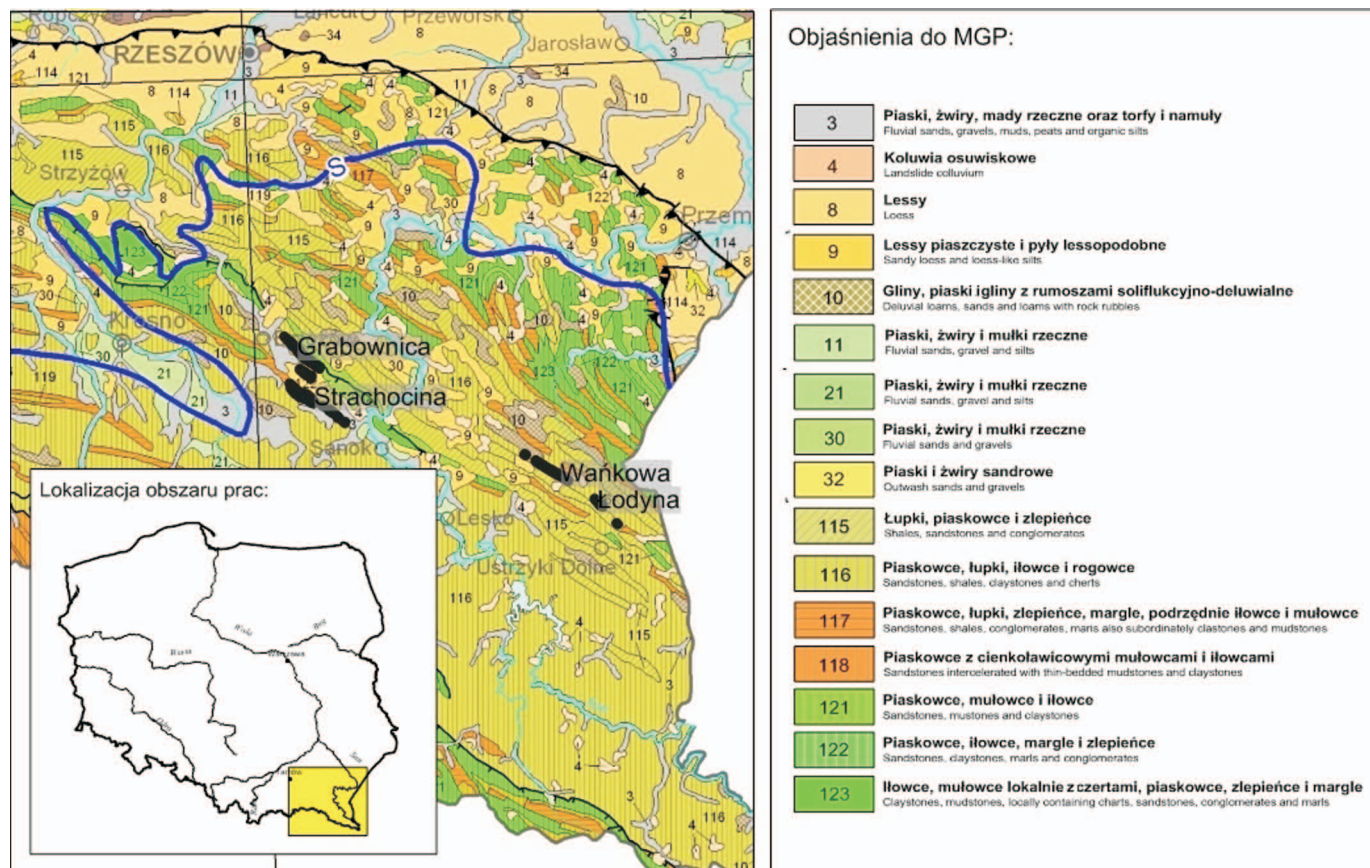
Karpackie złoża węglowodorów występują w skomplikowanych warunkach strukturalnych i litologiczno-facjalnych. Ich wykrywanie i rozpoznawanie za pomocą geofizycznych metod powierzchniowych, np. z wykorzystaniem sejsmicznej metody refleksyjnej, jest więc utrudnione. Położone są one natomiast względnie płytko w strefie dobrej rozdzielczości metod elektromagnetycznych. Powyższe fakty stanowiły motywację do próby wykorzystania ww. metod w prospekcji złóż węglowodorów i w badaniach struktury i zróżnicowania litologicznego kompleksów fliszowych.

W latach 2008–2014 wykonana została seria badań elektromagnetycznych w rejonach wybranych karpackich złóż węglowodorów, m.in. w obszarze złoża ropy naftowej i gazu ziemnego Grabownica, złoża gazu ziemnego Strachocina oraz złóż ropnych Łodyna i Wańkowa (rysunek 1).

Wykorzystane zostały metody: audiomagnetotelluryczna (AMT – ang. *audiofrequency magnetotellurics*), audiomagnetotelluryczna z kontrolowanym źródłem (CSAMT – ang. *controlled source audiofrequency magnetotellurics*), metoda polaryzacji wzbudzonej (IP – ang. *induced polarization*) oraz metoda procesów przejściowych (TDEM – ang. *time-domain electromagnetic method*). Większość prac badawczych

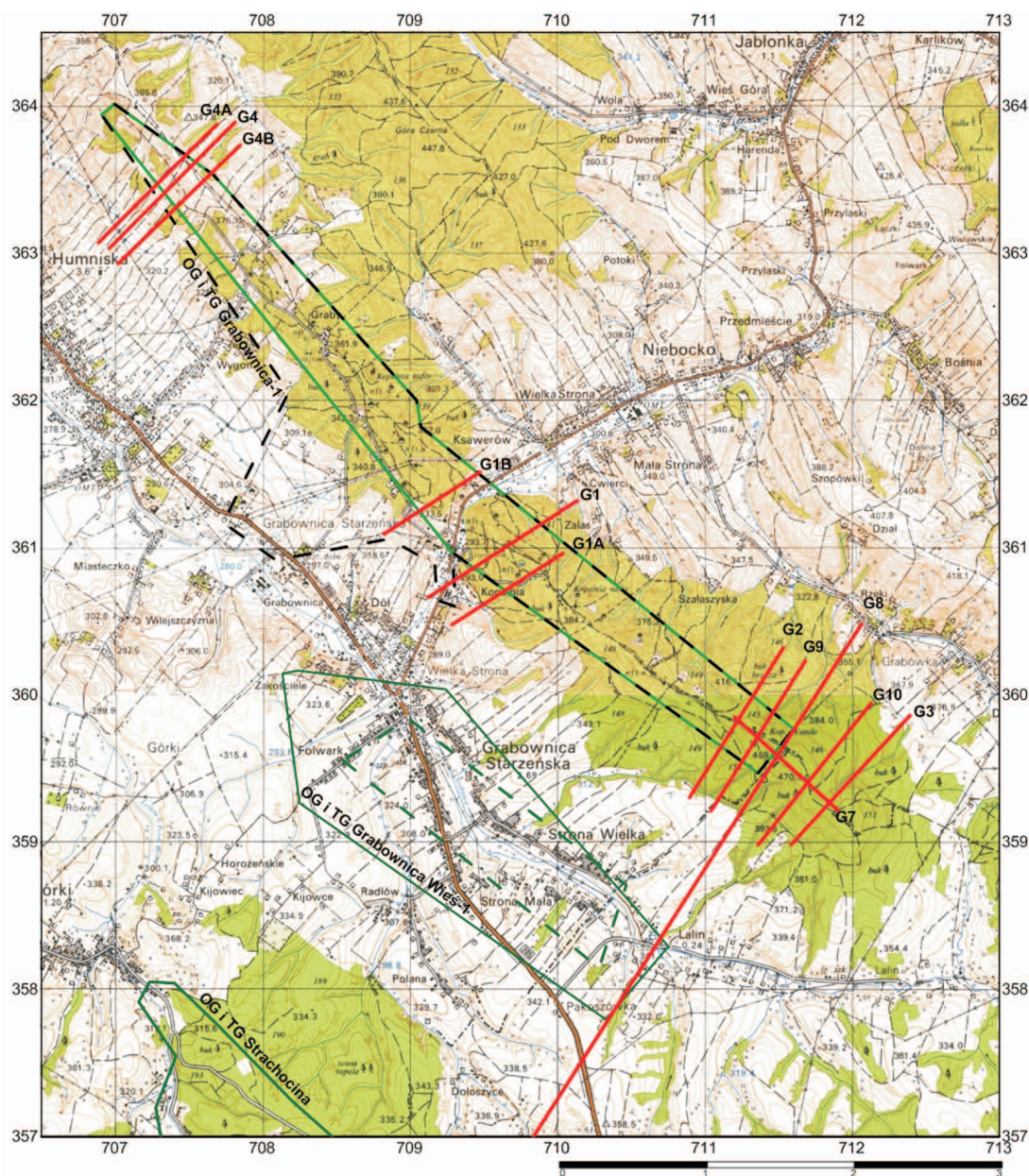
wykonano w latach 2008–2011, w ramach projektu naukowo-badawczego pt. *Opracowanie nowatorskich metod wykrywania złóż węglowodorów oraz rozpoznawania struktury i zmienności złóż w trakcie ich eksploatacji za pomocą kompleksu głębokich i średniozasięgowych badań elektromagnetycznych*, realizowanego przez Akademię Górniczo-Hutniczą im. Stanisława Staszica w Krakowie jako część programu rządowego „Inicjatywa Technologiczna I” [10].

Celem ww. badań było określenie przydatności metod elektromagnetycznych do rozpoznawania strukturalnych i tektonicznych warunków występowania złóż, w tym wyznaczenia położenia stref nasyconych węglowodorami. Obecność akumulacji węglowodorów w ośrodku geologicznym powoduje specyficzne zmiany jego własności fizycznych [9]. Strefy nasycone generują anomalie w rozkładzie parametrów fizycznych ośrodka i pomierzonych pól geofizycznych, pozwalające w pewnym stopniu na wykrywanie obecności złóż, a nawet rozpoznawanie ich zasięgu, struktury i zmienności parametrów złożowych. Charakteryzują się one znaczącym podwyższeniem oporności ośrodka geologicznego. W formacjach klastycznych występują wyraźne kontrasty pomiędzy skałą zbiornikową nasyconą zmineralizowaną wodą złożową



Rys. 1. Lokalizacja obszaru badań na tle mapy geologicznej [Mapa geologiczna Polski 1:500 000, [http://www.pgi.gov.pl/component/docman/cat\\_view/218-publikacje/283-mapy.html](http://www.pgi.gov.pl/component/docman/cat_view/218-publikacje/283-mapy.html) – zmienione]





Rys. 2. Lokalizacja profili geoelektrycznych w strefie złoża Grabownica na tle mapy topograficznej [10 – zmienione]

a nasyconą węglowodorami oraz na stopie złoża przykryte- go niskooporowymi, uszczelniającymi skałami ilastymi. Na granicach złoża pojawiają się ponadto specyficzne anomalie polaryzacji wzbudzonej. Odrębnym zagadnieniem są zmiany własności fizycznych strefy przypowierzchniowej w obrębie komina dyfuzyjnego, towarzyszącego często akumulacjom węglowodorów, również wykorzystywane jako bezpośredni wskaźnik obecności złoża [5, 8, 9].

Wyniki badań wykazują związek rozkładu oporności z układem geometrycznym stref złożowych wyinterpretowanych na podstawie danych otworowych. Charakterystyczne anomalie parametru fazowego polaryzacji wzbudzonej względnie dokładnie wskazują określony wcześniej kontur złoża [9, 17]. Powyższe fakty świadczą o możliwości

wykorzystania zespołu metod elektromagnetycznych do bezpośredniego wykrywania kompleksów nasyconych węglowodorami w złożonych warunkach geologicznych. Utrudnieniem w interpretacji wyników badań elektromagnetycznych jest skomplikowana struktura złóż. Anomalie generowane przez elementy strukturalne są często trudne do odróżnienia od anomalii związanych ze zróżnicowaniem litologii i/lub nasyceniem węglowodorami [9].

W prezentowanym artykule przeanalizowane zostały wyniki badań magnetotellurycznych i polaryzacji wzbudzonej przeprowadzonych w strefie złoża Grabownica, ponieważ w opinii autorów są one najbardziej reprezentatywne dla omawianej problematyki (rysunki 2, 3). Ponadto w obszarze tego złoża wykonany został najpełniejszy zakres badań

elektromagnetycznych, pozwalający na wiarygodną analizę uwarunkowań ich stosowania i ocenę efektywności. Nietypowe, specyficzne struktury złożowe, charakterystyczne np. dla złóż Łodyna i Wańkowa, będą przedmiotem odrębnych

publikacji. Pominięte zostały także wyniki badań uzyskane za pomocą metody procesów przejściowych (TDEM), które przedstawione zostaną niezależnie ze względu na objętościowe ograniczenia artykułu.

### Zarys budowy geologicznej

Złoża węglowodorów będące przedmiotem badań elektromagnetycznych prezentowanych w niniejszej pracy położone są na pograniczu jednostek tektoniczno-stratygraficznych śląskiej i skolskiej, w strefie północnego obrzeżenia centralnej depresji karpackiej, w miejscu zaniku nasunięcia śląskiego i podśląskiego (rysunek 1). Jednostka podśląska (węglowiecka) rozbudowuje się ku zachodowi. Obszar pogranicza trzech wspomnianych jednostek tektoniczno-facjalnych to rejon północnego obrzeżenia głębokiego obniżenia w podłożu Karpat tworzącego założenia centralnej depresji. Obniżenie to odegrało istotną rolę podczas rozwoju basenu karpackiego, w znacznej mierze determinując charakter i rozwój facji w tym rejonie [6, 7, 10].

Stratygrafia obszaru brzeżnej części jednostki śląskiej i jednostki węglowieckiej została rozpoznana w toku długoletnich badań [15]. Brak możliwości określenia wieku utworów, zwłaszcza dolnej kredy, przez długie lata stwarzała, w opinii niektórych specjalistów, problemy we właściwym rozpoznaniu poszczególnych pięter. Występowanie utworów o typie margli węglowieckich w profilach fałdu Grabownicy – kopalni i w profilach elementów tektonicznych zaliczanych już do jednostki skolskiej (okolice Bandrowa) obrazuje błędne podziały i niezrozumienie procesu tworzenia górotworu we wcześniejszych opracowaniach [6, 7]. Na profil stratygraficzny omawianych kopalń, najlepiej widoczny i najpełniej rozwinięty w kopalni Grabownica Wieś, składają się elementy deponowane od dolnej kredy aż po dolny miocen. Część tych elementów

stratygraficznych widoczna jest jedynie w otworach. Niestety brak rdzeniowania w ostatnich latach nie pozwala na dobre zaznajomienie się z ich charakterem litologicznym, a szereg próbek uzyskanych podczas wierceń przedwojennych zaginęło [14, 15].

O charakterze litologicznym dolnokredowych pięter wnioskować można na podstawie analogii z sąsiednimi obszarami.

Złożo Grabownica, na którym postanowiono skupić się w niniejszym artykule, występuje w strukturze antyklinalnej. Jest ona podzielona przez poprzeczne dyslokacje na kilka bloków (rysunek 3). Złożo ma typ warstwowy, przy czym produktywnie są tu piaskowce dolnej kredy [14, 15]. Poziomo stwierdzono w obrębie trzeciego poziomu dolnej kredy, w elemencie wglębnym pod nasunięciem fałdu głównego.



Rys. 3. Lokalizacja profili geoelektrycznych w strefie złoża Grabownica na tle powierzchniowej mapy geologicznej [10 – zmienione]

### Charakterystyka metod badawczych i prace pomiarowe

Nadrzędnym celem przeprowadzonych w omawianym obszarze badań geoelektrycznych było szczegółowe rozpo-

znanie budowy geologicznej i stref nasycenia węglowodorami skał zbiornikowych. Jak wspomniano powyżej, główną



część badań wykonano za pomocą trzech wariantów metody magnetotellurycznej oraz metody polaryzacji wzbudzonej. W metodzie magnetotellurycznej wykorzystywane są harmonicznie (quasi-harmonicznie) zmienne pola źródłowe. Wspólną cechą wyróżniającą grupę metod magnetotellurycznych stanowi charakterystyczna konfiguracja pola źródłowego. W założeniu jest to płaska fala elektromagnetyczna padająca z góry prostopadle do powierzchni Ziemi [1, 11]. Takie założenie upraszcza rozwiązania matematyczne opisujące rozkład pola indukowanego w złożonym przewodniku, jaki stanowi skorupa ziemska. Jest ono stosunkowo dobrze spełnione dla klasycznej metody magnetotellurycznej (MT) i metody audiomagnetotellurycznej (AMT). Obydwa te warianty metody magnetotellurycznej wykorzystują źródła naturalne. W przypadku metody klasycznej (MT) źródłem są zmienne prądy wzbudzone w jonosferze przez zmienne natężenie wiatru słonecznego. Dolna granica obszaru źródłowego przebiega mniej więcej równoległe do powierzchni Ziemi, czoło wyemitowanej fali elektromagnetycznej jest więc również równoległe do tej powierzchni, a kierunek propagacji jest do niej prostopadły. Zakres częstotliwościowy docierającego do powierzchni Ziemi promieniowania źródła jonosferycznego zaczyna się od około 1 Hz i w praktyce nie jest ograniczony od strony niskich częstotliwości. Przedłużenie zakresu częstotliwości w stronę ich wysokich wartości zapewniają odległe wyładowania atmosferyczne, trwające permanentnie w strefie równikowej [16]. Są one źródłem naturalnego pola elektromagnetycznego w tzw. paśmie audiomagnetotellurycznym (AMT). Fale elektromagnetyczne generowane przez wyładowania atmosferyczne odbijają się wielokrotnie od jonosfery i powierzchni Ziemi, tworząc w tzw. dalekiej strefie pole interferencyjne, spełniające główne kryterium pola magnetotellurycznego [11]. Masowość wyładowań atmosferycznych zachodzących ciągle w tej części strefy okołorównikowej, w której słońce znajduje się w zenicie, zapewnia w praktyce ciągłość występowania wysokoczęstotliwościowego pola naturalnego. Zakres częstotliwości pola generowanego przez wyładowania atmosferyczne zmienia się

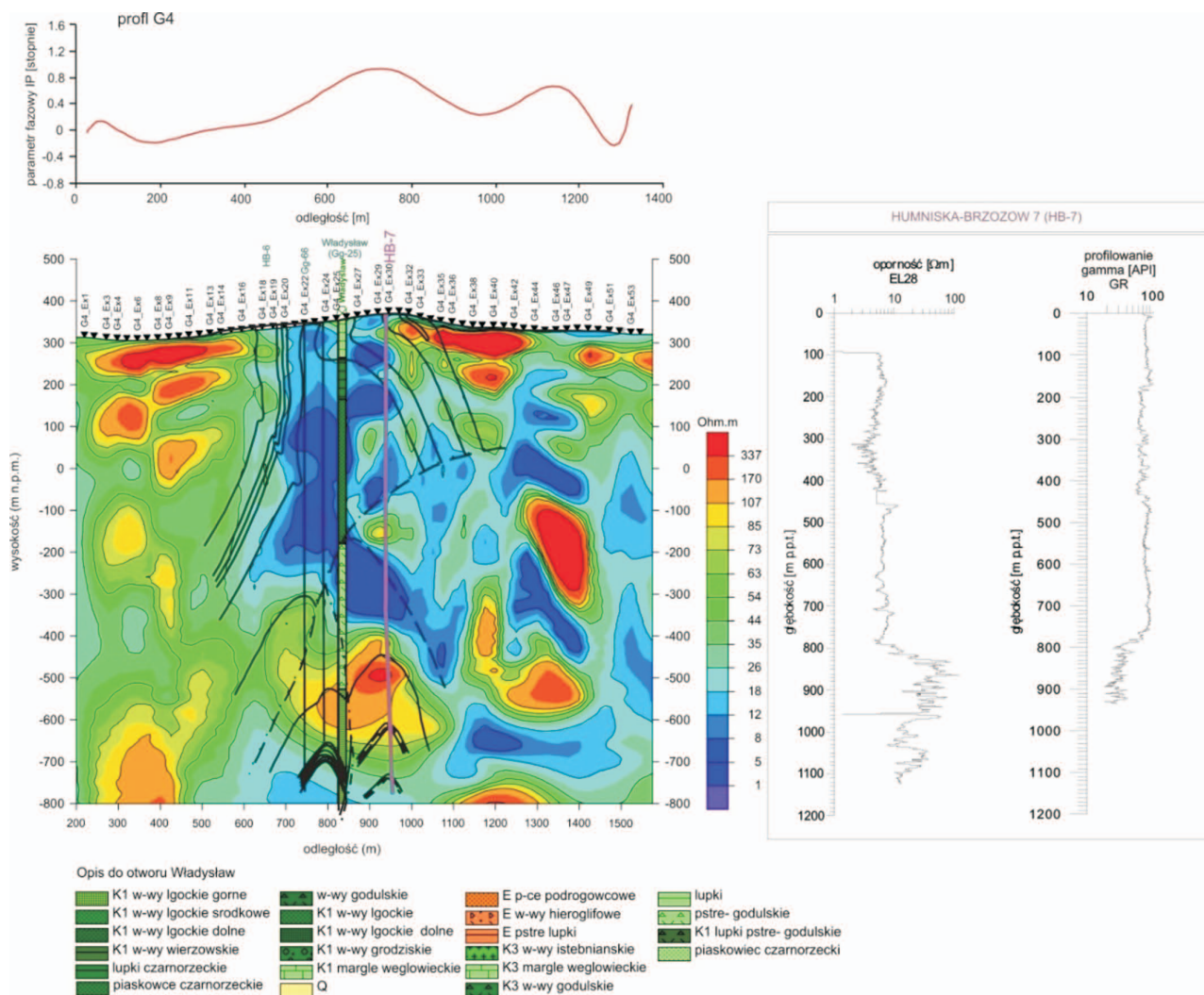
od około 0,1 Hz do nieokreślonej wielkości bliskiej 100 kHz. Umowną granicę wysokoczęstotliwościową zwykle utożsamia się nieprecyzyjnie z zakresem częstotliwości aparatury pomiarowej [8]. Trzeci wariant metody magnetotellurycznej, korzystający z pola sztucznego o odpowiedniej konfiguracji geometrycznej, nazwany został metodą audiomagnetotelluryczną z kontrolowanym źródłem (CSAMT) [11, 12]. Problemem w tym wariantcie metodycznym jest zachowanie odpowiedniej geometrii pola elektromagnetycznego, spełniającej kryteria pola magnetotellurycznego, będącej warunkiem wykorzystania stosunkowo prostych rozwiązań matematycznych przyjętych w metodzie magnetotellurycznej.

Metoda polaryzacji wzbudzonej (IP) jest rozszerzeniem metody elektrooporowej o dodatkowy pomiar zdolności ośrodka geologicznego do gromadzenia ładunków elektrycznych [4, 11]. Efekt elektryczny spolaryzowanych pod wpływem impulsu prądu elektrycznego obiektów geologicznych generujących zanikający w czasie prąd elektryczny może być obserwowany, najlepiej po wyłączeniu prądu wzbudzającego, na powierzchni Ziemi. Ponieważ obiekty te, zależnie od swojej budowy geologicznej i składu oraz budowy geologicznej ich otoczenia, mają różną amplitudę polaryzacji pola elektrycznego i różny czas jego zanikania, to pomiar i analiza tych wielkości dają pewną informację o budowie geologicznej. Efekt polaryzacji wzbudzonej jest najsilniejszy dla minerałów o przewodnictwie elektronowym występujących masowo w złożach rud metali [9]. Chemiczne procesy związane z dyfuzją węglowodorów w kominie dyfuzyjnym mogą w pewnych warunkach prowadzić do powstania w strefie przypowierzchniowej rozproszonej mineralizacji siarczkowej o elektronowym charakterze przewodnictwa [9]. Zjawisko to daje podstawy do zastosowania metody IP w poszukiwaniu i kartowaniu złóż węglowodorów poprzez możliwość określania zasięgu komin dyfuzyjnych (a dokładnie związanej z nim strefy pirytyzacji) [8, 9, 13]. Granice złoża wskazują ponadto anomalie parametrów polaryzacji związane z potencjałami filtracyjnymi w strefie kontaktu woda–ropa naftowa [4, 9, 17].

### Interpretacja wyników badań

Szeroki zakres wykonanych pomiarów elektromagnetycznych, głównie wzdłuż profilu G4 (rysunki 2, 3), skłonił autorów opracowania do przeprowadzenia połączonej interpretacji metod CSAMT – IP wzdłuż profilu G4 wraz z weryfikacją istniejących i wskazaniem nowych stref nasycenia węglowodorami. Profil ten, zaprojektowany w północno-zachodniej części struktury Grabownica, wykonany został z użyciem kompletu metod elektromagnetycznych, tj. MT, AMT, CSAMT, IP (w dwóch wersjach: czasowej – TDIP, ang. *time-domain induced polarization*,

i spektralnej – SIP, ang. *spectral induced polarization*) i TDEM. Zastosowanie wszystkich dostępnych metod geoelektrycznych pozwoliło na precyzyjną ich kalibrację w aspekcie wykrywania stref nasyconych węglowodorami i wskazania nowych perspektywicznych obszarów. Kompleksową interpretację danych CSAMT przedstawia rysunek 4, na którym przekrój geoelektryczny został zestawiony z modelem geologicznym złoża Grabownica oraz rezultatami profilowań geofizyki otworowej. Korelacja wyniku inwersji 1D wg Occama [2] z krzywą profilowania gamma (PG)



Rys. 4. Wyniki inwersji 1D danych CSAMT wzdłuż profilu G4 wraz z modelem geologicznym zestawione z krzywymi profilowania gamma (PG) i elektrometrii otworowej (EL28) z otworu HB-7 oraz wykresem parametru fazowego

z otworu HB-7 (rysunek 4) pozwoliła na uwiarygodnienie rozkładu oporności, przy założeniu, że podwyższonym opornościom związanym z obecnością frakcji piaszczystej towarzyszy obniżona wartość anomalii PG, natomiast niskooporowe anomalie związane z utworami ilastymi są skorelowane z podwyższonymi wartościami PG. Zestawienie wyniku inwersji 1D z elektrometrią otworową również jednoznacznie wskazuje na poprawne rozwiązanie zadania odwrotnego, czyli inwersji 1D, i wyraźny związek wyinterpretowanej oporności z litologią badanych skał (rysunek 4). Ostatnim weryfikacyjnym elementem było zestawienie wyników inwersji z przekrojem geologicznym opracowanym wzdłuż linii o przebiegu zbliżonym do przebiegu profilu G4. Jak widać na rysunkach, rezultaty inwersji 1D danych CSAMT w przypadku profilu G4 pozwalają na rozpoznanie charakteru i zmienności litologii (litotyp ilasty lub piaskowcowy) oraz struktury geologicznej rejonu badań, natomiast nie zapewniają możliwości jednoznacznego wskazania stref akumulacji ani też określenia stopnia nasycenia węglowodorami skały zbiornikowej.

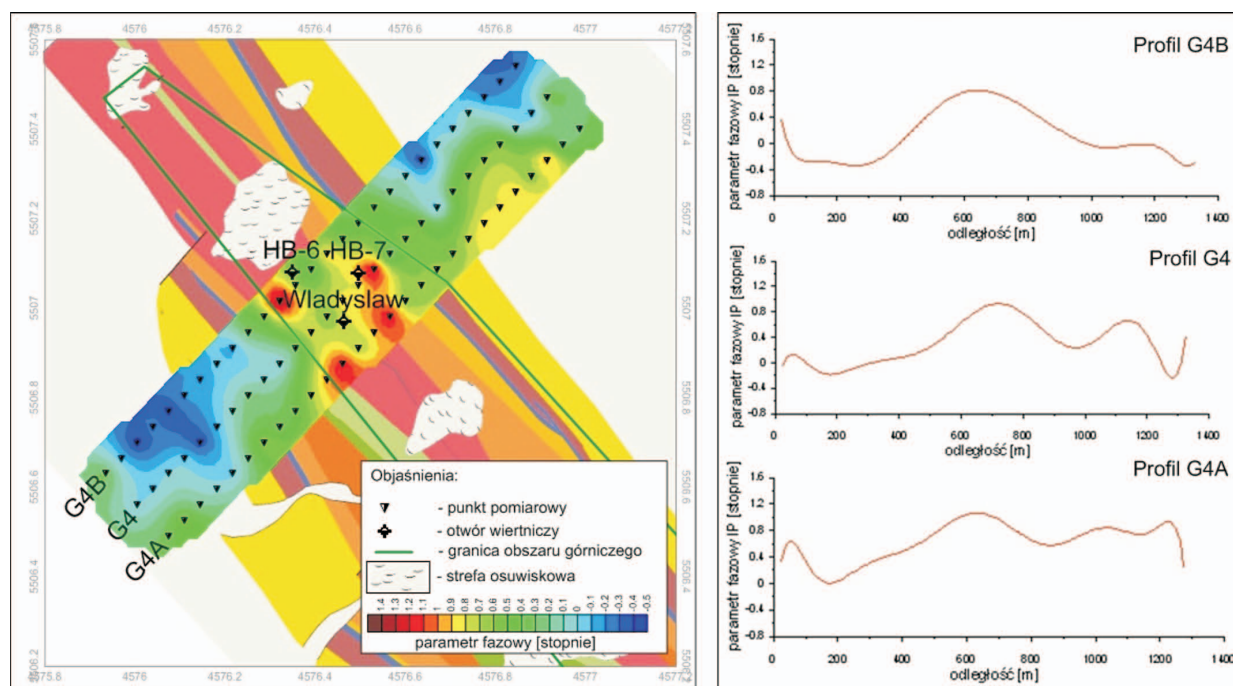
Wzdłuż profilu G4 i w jego bezpośrednim sąsiedztwie wykonano pomiary metodą polaryzacji wzbudzonej z zastosowaniem układu ekwatorialnego [17]. Wyniki uzyskane dla trzech profili zestawiono w postaci mapy parametru fazowego (rysunek 5). Na uwagę zasługuje fakt wysokiej zbieżności podwyższonych wartości parametru fazowego zarówno w granicach kopalni, jak i w rejonie otworu HB-7 oraz wartości obniżonych poza obszarem struktury Grabownica, jak i lokalnie w rejonie otworu HB-6 (otwór negatywny). Niewykluczone, że dodatkowa anomalia parametru fazowego zlokalizowana w północno-wschodniej części profilu, poza obszarem kopalni Grabownica, jest związana z kolejną strefą nasycenia węglowodorami.

Przekroje geoelektryczne opracowane wzdłuż profili przecinających poprzecznie struktury geologiczne w rejonie złoża Grabownica pozwoliły na podjęcie próby zweryfikowania koncepcji budowy geologicznej tego obszaru [10]. Specyficzna mozaika rozkładu niskich i wysokich oporności w poprzecznym przekroju fałdu odzwierciedla zdaniem autorów

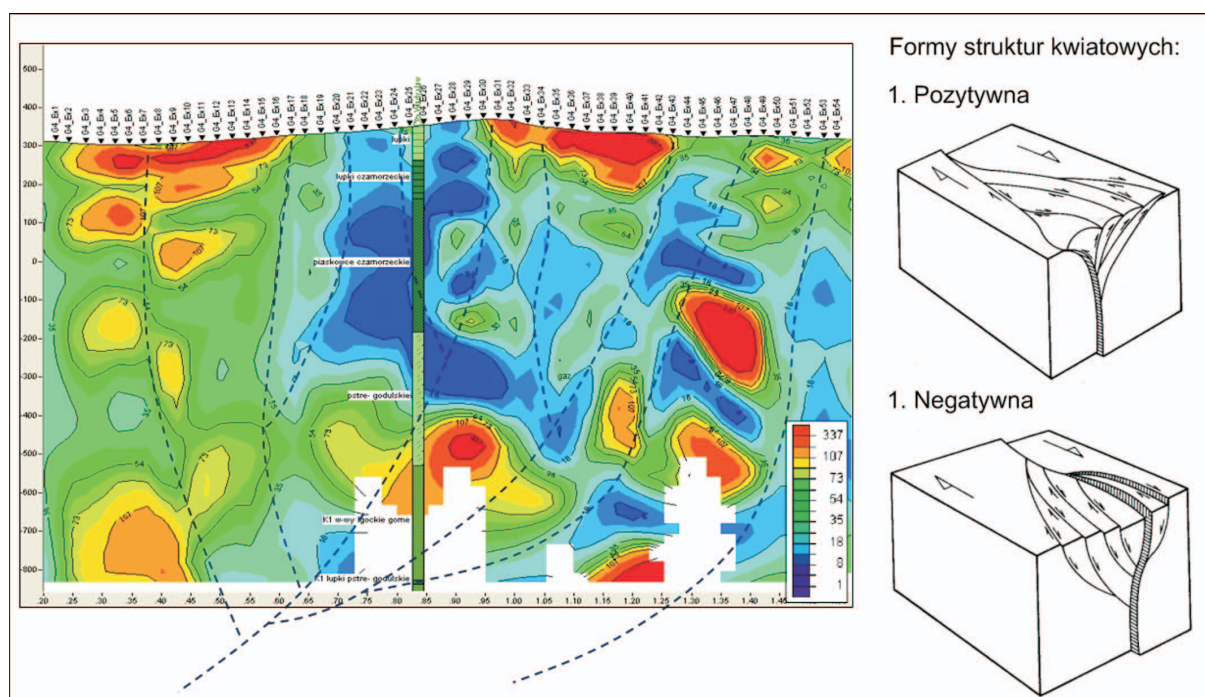


głównie zróżnicowanie litologii. Wąskie strefy o obniżonej oporności zaburzające ciągłość relatywnie wysokooporowych kompleksów piaskowcowych można z dużym prawdopodobieństwem wiązać z uskokami (ścięciami). Taki obraz rozkładu oporności można wyjaśnić jako skutek nałożenia systemu uskoków na zróżnicowanie oporności związane ze zmiennością litologiczną. Wyznaczenie granic tektonicznych według powyższych założeń tworzy charakterystyczny

układ negatywnej struktury kwiatowej (rysunek 6). Obecność tego typu struktur, świadcząca o przesuwczym charakterze uskoków, może mieć istotne implikacje dla tworzenia i testowania koncepcji tektonicznych dotyczących obszaru badań [6, 7]. Natomiast potwierdzenie faktu powstawania pewnej grupy złóż węglowodorów w obrębie struktur kwiatowych można traktować jako informację pomocną w projektowaniu i realizacji prac poszukiwawczych.



Rys. 5. Mapa parametru fazowego polaryzacji w rejonie otworu HB-7 na tle wycinka powierzchniowej mapy geologicznej (objaśnienia do mapy jak na rys. 3)



Rys. 6. Interpretacja tektoniczna przekroju opornościowego (według inwersji 1D danych CSAMT wzdłuż profilu G4), po lewej – modelowe formy struktur kwiatowych według [3]

## Podsumowanie i wnioski

W ogólnym sensie wyniki przedstawionych powyżej badań potwierdzają możliwość stosowania metod geoelektrycznych do pośredniego poszukiwania złóż węglowodorów, głównie jako źródła informacji strukturalnych i litologicznych. W sprzyjających warunkach geologicznych (i pomiarowych) metody te można wykorzystywać do bezpośredniego wykrywania złóż i ich rozpoznawania. W kontekście aktualnych uwarunkowań i problemów prospekcji węglowodorów jako perspektywiczne należy traktować badania z zastosowaniem różnorodnych wariantów sondowań (metod) częstotliwościowych oraz metody polaryzacji wzbudzonej. Powyższe metody będą szczególnie skuteczne w przypadku złóż zalegających względnie płytko w relacji do ich rozmiarów i głębokości pograżenia. W takiej sytuacji metody magnetotelluryczne można stosować do kartowania stropu złoża oraz kontaktu woda–ropa naftowa lub woda–gaz ziemny, wykorzystując zależność (podwyższenie) oporności skał zbiornikowych od ich nasycenia węglowodorami. Relatywny wzrost oporności strefy akumulacji powoduje powstanie znacznego kontrastu opornościowego na granicy złoża z ilasto-mułowcowymi skałami uszczelniającymi, podobnie jak ze skałami zbiornikowymi nasyconymi silnie zasolonymi wodami złożowymi. Perspektywiczne wydaje się także wykorzystanie metody polaryzacji wzbudzonej do wykrywania obecności złoża oraz określenia położenia jego konturu. Przyczyny powstawania anomalii rozkładu parametrów polaryzacji wzbudzonej są ciągle dyskusyjne i nie jest oczywiste, czy należy je wiązać z mineralizacją siarczkową w przypowierzchniowej strefie komina dyfuzyjnego tworzącego się

nad złożami ropy naftowej i gazu ziemnego, czy też z procesami zachodzącymi na granicy węglowodory–woda złożowa. W odniesieniu do przedstawionych wyników badań elektromagnetycznych dobrze udokumentowane wydają się poniższe stwierdzenia:

- serie złożowe zaznaczają się na przekroju oporności jako strefy wysokooporowe, jednak trudna lub niemożliwa jest ilościowa ocena wpływu nasycenia węglowodorami na wartość oporności,
- dobre uszczelnienie złoża związane jest z obecnością miększych kompleksów niskooporowych (iłowce, mułowce) w nadkładzie,
- obniżenie oporności poniżej złoża wiąże się prawdopodobnie z obecnością zmineralizowanych wód złożowych w porowatych skałach zbiornikowych lub z podścielającymi warstwami ilasto-mułowcowymi,
- rozkład oporności odzwierciedla także strefy uskokowe i może być podstawą do interpretacji tektoniki.

Na zakończenie należy podkreślić, że efekty anomalne związane z obecnością złóż są raczej słabe i trudne do wydzielenia z tła anomalii generowanych przez ośrodek geologiczny i sztuczne zakłócenia elektromagnetyczne. Anomalie przypowierzchniowe nie zawsze się pojawiają, natomiast niewielkie rozmiary złoża w stosunku do głębokości jego pograżenia ograniczają prawdopodobieństwo zarejestrowania w badaniach powierzchniowych efektów bezpośrednich. Perspektywiczne wydaje się kompleksowe zastosowanie kilku metod geofizycznych, geochemicznych i analizy powierzchniowego zdjęcia geologicznego.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2015, nr 9, s. 691–699

Artykuł nadesłano do redakcji 16.07.2015 r. Zatwierdzono do druku 1.09.2015 r.

## Literatura

- [1] Berdicevski M. H.: *Elektriceskaja razvedka metodom magnetotelluriceskogo profilirovanija*. Moskwa, Nedra, 1968, 253 s.
- [2] 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.
- [3] Dadlez R., Jaroszewski W.: *Tektonika*. Warszawa, PWN, 1994, 743 s.
- [4] 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.
- [5] Dzwiniel J.: *Geofizyczne podstawy bezpośrednich poszukiwań naftowych*. Geofizyka i Geologia Naftowa 1974, nr 9–12, s. 241–270.
- [6] Jankowski L., Probulski J.: *Rozwoj tektoniczno-basenowy Karpat zewnętrznych na przykładzie budowy geologicznej złoża Grabownica, Strachocina i Lodyna oraz ich otoczenia*. Geologia 2011, t. 37, s. 555–583.
- [7] Jankowski L., Rauch-Włodarska M.: *Proba interpretacji tektoniki w otoczeniu struktur złożowych Grabownica, Strachocina i Lodyna*. Inicjatywa Technologiczna I, projekt nr 13102, materiały niepublikowane, Kraków 2009.
- [8] Pirson S. J.: *Physical and chemical signals around oil and gas traps*. The Log Analyst 1978, vol. 19, issue 2, s. 18–23.
- [9] Stefaniuk M.: *Metody elektromagnetyczne w prospekcji naftowej*. Geologia 2011, t. 37, z. 1, s. 5–36.
- [10] Stefaniuk M. (red.): *Sprawozdanie z eksperymentalnych badań elektromagnetycznych w rejonie kopalni „Grabownica” i „Strachocina”*. Inicjatywa Technologiczna I, 2010, projekt nr 13102, materiały niepublikowane, Kraków 2010.
- [11] Stefaniuk M., Farbisz J., Wojdyła M., Sito L.: *Badania magnetotelluryczne na Dolnym Śląsku – nowe możliwości wyko-*



rzystania metody magnetotellurycznej w geologii strukturalnej, złozonej, poszukiwania wód mineralnych i termalnych. [W:] Zelazniewicz A., Wojewoda J., Cieczkowski W. (red.): *Mezozoik i kenozoik Dolnego Śląska*. 81 Zjazd Polskiego Towarzystwa Geologicznego, 2011, ISBN 978-83-924869-8-5, s. 169–193.

- [12] Stefaniuk M., Wojdyła M.: *Badania magnetotelluryczne z zastosowaniem sztucznego źródła pola pierwotnego*. Geofizyka: Biuletyn Informacyjny 2007, nr 2, s. 7–23.
- [13] Sternberg B. K.: *A review of some experience with the induced polarization – resistivity method for hydrocarbon surveys: Successes and limitations*. Geophysics 1991, vol. 56, no. 10, s. 1332–1522.
- [14] Wdowiarz S.: *Budowa geologiczna faldy Grabownicy 1:5000*. Kopalnictwo Naftowe, Geolog Rejonu Sanok 1952, uaktualniono 1967.

- [15] Wdowiarz S.: *Geologia faldy Grabownicy*. Biuletyn Instytutu Geologicznego 1953, nr 120, s. 1–94.
- [16] Wight D. E.: *MT/EMAP Data Interchange Standard*. Revision 1.0: SEG, Tulsa 1988, 91 s.
- [17] Wojdyła M., Stefaniuk M., Sada M., Sito L.: *Metoda polaryzacji wzbudzonej w prospekcji złóż 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. Magdalena KRZYSZTOFIK  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie  
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska  
al. Mickiewicza 30  
30-059 Kraków  
E-mail: [krzysztofikmagda@wp.pl](mailto:krzysztofikmagda@wp.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. Elżbieta MAJ  
Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych Sp. z o.o.  
ul. Jagiellońska 76  
03-301 Warszawa  
E-mail: [e.maj@pbg.com.pl](mailto:e.maj@pbg.com.pl)