

Michał Stefaniuk, Magdalena Krzysztofik, Adam Cygal

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

Model złoża ropy naftowej Łodyna i jego otoczenia w interpretacji danych elektromagnetycznych

Przedmiotem artykułu są wyniki badań elektromagnetycznych wykonanych w rejonie złoża ropy naftowej Łodyna, występującego w obrębie warstw menilitowych w jednostce skolskiej. Specyficzna budowa geologiczna złoża i jego otoczenia skutecznie utrudnia zastosowanie do jego rozpoznawania powierzchniowych metod geofizycznych, w szczególności sejsmicznej metody refleksyjnej. W tej sytuacji w obszarze złoża i w jego otoczeniu podjęta została próba wykorzystania metod elektromagnetycznych, w szczególności metody magnetotellurycznej z kontrolowanym źródłem (CSAMT) oraz metody polaryzacji wzbudzonej (IP). Złoże Łodyna położone jest stosunkowo płytko, a więc pozostaje w zasięgu głębokościowym ww. metod. Niestety rozmiary wysokooporowych warstw nasyconych ropą w stosunku do niskooporowych skał otaczających powodują nieznaczny tylko i trudno zauważalny wzrost oporności strefy złożowej, co ogranicza skuteczność metody magnetotellurycznej. Obiecujące rezultaty dają natomiast wyniki polaryzacji wzbudzonej, wskazujące zasięg konturu złoża.

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

Model of the Lodyna oilfield and its vicinity interpreted on the basis of electromagnetic data

The subject of the paper are results of an electromagnetic survey made in the area of the "Lodyna" oil field located within the Menillite Beds in the Skole Unit. The specific geological structure of the oil field and its surrounding effectively impede the use of geophysical surface methods, particularly the seismic reflection method for its recognition. In this case, an attempt at the application of electromagnetic methods, particularly Controlled Source Audiomagnetotelluric (CSAMT) and Induced Polarization (IP) methods was undertaken in the area of the oil field and its surrounding. Located relatively at shallow depths the oil field remains within the range of said methods. Unfortunately, the range of high-resistance oil saturated layers in relation to the low-resistance surrounding rocks, cause only a slight and hardly noticeable increase in resistance of the reservoir zone, which limits the effectiveness of magnetotelluric methods. Promising results are offered by the induced polarization method, which indicates the extent of the field's contour.

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

Wstęp

Złoże ropy naftowej Łodyna powstało w warstwach menilitowych na południowo-zachodnim skraju jednostki skolskiej, tuż przy jej granicy z jednostką śląską [7]. Granica tektoniczna pomiędzy powyższymi jednostkami zanika w rejonie południowo-wschodniego krańca polskiego segmentu Karpat zewnętrznych, w obrębie wybitnie skomplikowanych struktur fliszowych. Złoże występuje w stosunkowo cienkich warstwach piaskowców kliwskich, wyklinowujących się w otoczeniu uszczelniających łupków menilitowych i pozostających

w pozycji subwertykalnej [18]. Taka pozycja strukturalna i niewielkie miąższości warstw piaskowcowych stanowią wyjątkowo duże wyzwanie dla powierzchniowych metod geofizycznych, powszechnie stosowanych w prospekcji naftowej, w szczególności dla sejsmicznej metody refleksyjnej. W tej sytuacji podjęto próbę zastosowania metod elektromagnetycznych do rozpoznania budowy geologicznej złoża. Podstawową przesłanką skorzystania z ww. metod był szeroko znany fakt, że nasycenie ośrodka geologicznego węglowodorami

powoduje specyficzne zmiany jego własności elektrycznych i magnetycznych. 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. Wyraźne kontrasty opornościowe pojawiają się na dolnej granicy złoża, tj. pomiędzy skałą zbiornikową nasyconą silnie zmineralizowaną wodą złożową i ropą naftową lub gazem ziemnym. Podobne kontrasty obserwuje się w formacjach klastycznych na górnej granicy złoża pomiędzy skałami zbiornikowymi, nasycenymi węglowodorami i skałami uszczelniającymi, którymi są zwykle niskooporowe skały ilaste [13].

W obszarze złoża ropnego Łodyna oraz w jego najbliższym otoczeniu został wykonany zestaw badań elektroma-

gnetycznych obejmujący metodę magnetotelluryczną z kontrolowanym źródłem (CSAMT, ang. *controlled source audiofrequency magnetotellurics*), metodę audiomagnetotelluryczną (ang. *audiofrequency magnetotellurics*), metodę polaryzacji wzbudzonej (IP, ang. *induced polarization*) oraz metodą procesów przejściowych (TDEM, ang. *time-domain electromagnetic method*). W opinii autorów najbardziej interesujące wyniki badań, które są przedmiotem niniejszego artykułu, uzyskane zostały za pomocą metod CSAMT i IP. Położone stosunkowo płytko złożo pozostaje w zasięgu głębokościowym ww. metod. Niestety znajduje się ono na granicy rozdzielczości metody magnetotellurycznej z powodu niewielkich rozmiarów stref nasyconych ropą naftową [19]. Wyniki metody polaryzacji wzbudzonej wskazują natomiast zasięg konturu złoża.

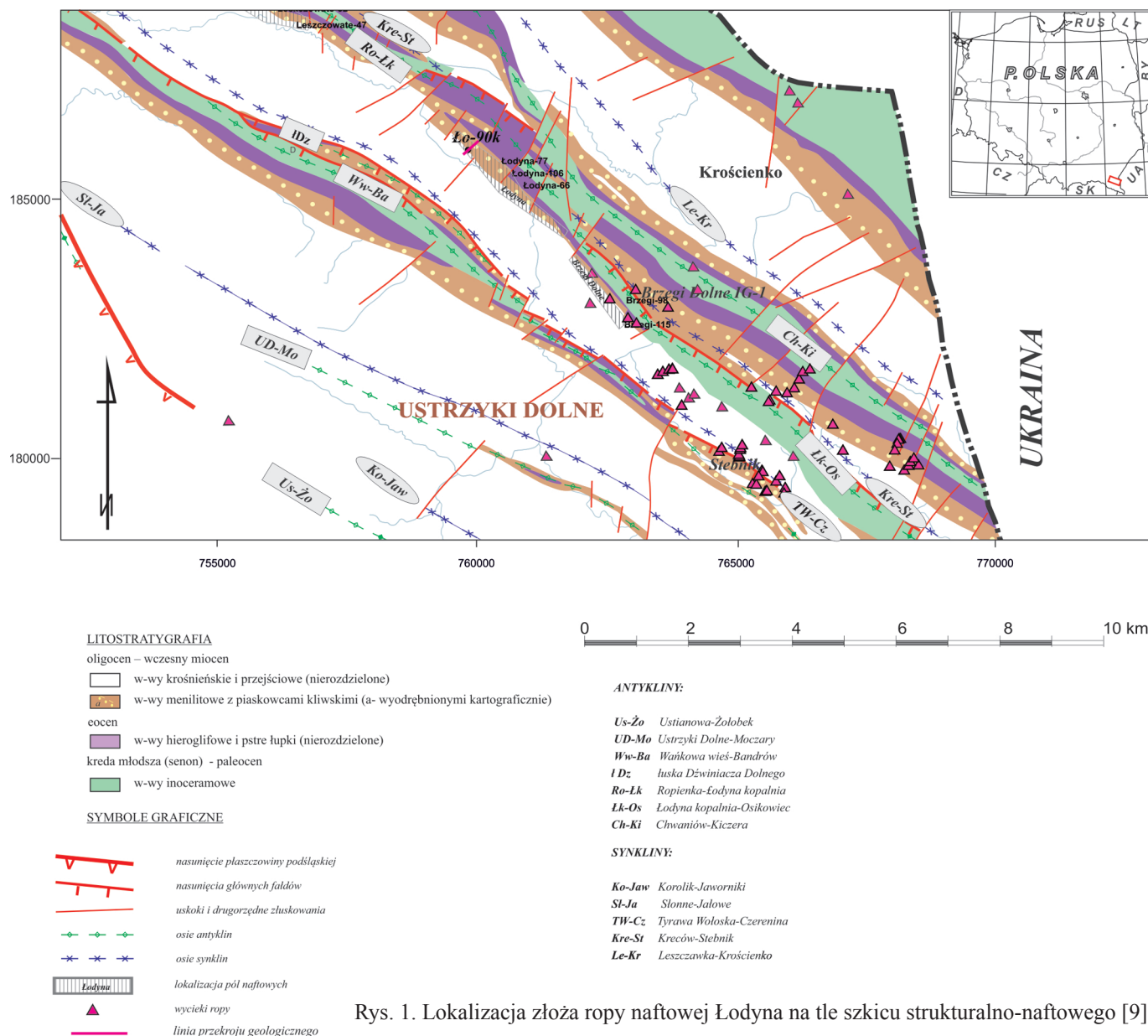
Budowa geologiczna złoża ropy naftowej Łodyna

Obszar złoża Łodyna znajduje się na pograniczu jednostek skolskiej i śląskiej. W elementach tektonicznych występujących na tym obszarze pojawiają się warstwy inoceramowe, przez to omawiany rejon zalicza się do jednostki skolskiej [22]. Złożo ropy naftowej Łodyna położone jest w południowym skrzydle antykliny „Wańkowej–Łodyny kopalni”, stanowiącej element strukturalny jednostki skolskiej polskich Karpat zewnętrznych (rysunek 1) [18]. Element tektoniczny, w którym założono kopalnię, nosi nazwę „fałdu Łodyny – kopalni”. Bardziej południowy nazwany został „fałdem Łodyny – wsi”. Ku północy wyróżnia się synklinę Krecowa–Stebnika i następny element fałd Wary–Chwaniowa–Kiczery. Te elementy tektoniczne mają charakter mało regularnych łusek, silnie zdyslokowanych i wewnętrznie ściętych. Charakterystyczne jest pionowe, a niekiedy łukowate ułożenie warstw, najczęściej wygiętych „brzuchami” ku północy [6].

Rejon złoża Łodyna budują osady górnej kredy (warstwy inoceramowe), eocenu (warstwy hieroglify) oraz oligocenu (warstwy menilitowe i krośnieńskie) [17]. Najstarszy element stratygraficzny tworzą tutaj warstwy inoceramowe (fm. z Ropianki, [8]). Powyżej, w profilu płaszczowiny skolskiej, zalegają łupki pstry (eocen dolny i środkowy), które na powierzchni odsłaniają się wzdłuż wychodni warstw inoceramowych. Warstwy hieroglify (eocen środkowy i górny), które składają się na kolejny element w profilu geologicznym, podobnie jak w przypadku łupków pstrych występują w odsłonięciach z warstwami inoceramowymi. W obrębie fałdu „Wańkowej–Łodyny kopalni” występują margle globigerynowe. Powyżej obecne są warstwy podrogowcowe oraz rogowce warstw menilitowych. Poziom rogowcowy warstw menilitowych występuje niemalże na całym terenie Karpat, dlatego też warstwy podrogowcowe mogą

stanowić poziom reperowy, a być może nawet chronostratygraficzny [5]. Ponad poziomem rogowców wykształcony jest górny kompleks warstw menilitowych, na który składają się piaskowce kliwskie oraz łupki menilitowe. Piaskowce kliwskie mogą występować w kilku poziomach lub jako zwarty pakiet w środku warstw menilitowych. Pakiety piaskowcowe przelawiczone są warstwami ciemnych łupków bitumicznych. W obrębie kompleksu kliwskiego zaobserwować można laminowane wapienie o litotypie wapieni jasielskich [5]. Warstwy krośnieńskie górne są najmłodszym osadem wypełniającym profil jednostki skolskiej (oligocen–miocen). W jednostce śląskiej wyróżnia się jedynie warstwy krośnieńskie dolne, podczas gdy w jednostce skolskiej występują jeszcze warstwy krośnieńskie górne [4]. Osadami rozdzielającymi wyżej wymienione jest poziom łupków z Niebylca [11], wieku miocenijskiego [2]. Kompleks piaskowców kliwskich od warstw krośnieńskich oddziela strefa ścięcia tektonicznego [5]. W miejscach, gdzie utrudnione jest określenie granicy pomiędzy warstwami krośnieńskimi a menilitowymi, wydziela się niekiedy warstwy przejściowe [18].

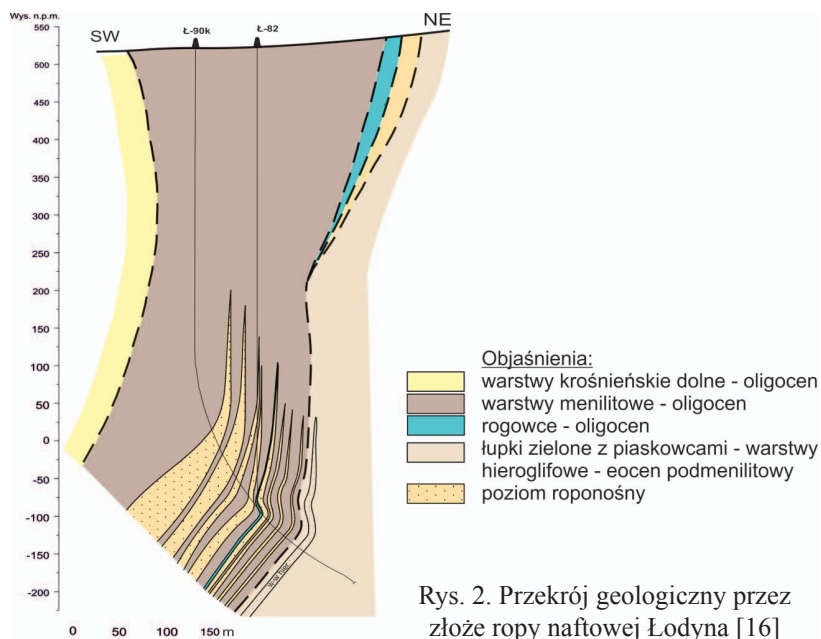
Charakterystyczną cechą strukturalną złoża Łodyna jest obecność przegięcia (fleksury), poniżej którego nastąpiła akumulacja węglowodorów. Zarówno od strony NW, jak i SE złożo jest ograniczone przez dyslokacje poprzeczne [18]. Nagromadzenia węglowodorów występują w pułapkach typu litologicznego (stratygraficznego według nomenklatury stosowanej w literaturze anglojęzycznej), związanych z sedymentacyjnym wyklinowaniem się pakietów piaskowcowych [9, 10]. Największymi miąższościami serii piaskowcowej odznacza się południowo-zachodnia część antykliny „Wańkowej–Łodyny kopalni”. Akumulacje ropy naftowej występują w pięciu poziomach piaskowców kliwskich (rysunek 2).



Rys. 1. Lokalizacja złoża ropy naftowej Łodyna na tle szkicu strukturalno-naftowego [9]

Horyzonty, z których eksploatowana jest ropa, nie są czystymi piaskowcami, a właściwie tworzą pakiety piaskowcowo-lupkowe w różnych proporcjach. Miąższości poszczególnych pakietów wynoszą od kilku do kilkudziesięciu centymetrów [18].

Istnieje przypuszczenie, że charakterystyczny soczewkowaty kształt horyzontów ropnych wynika z osadzania się materiału detrytycznego na skłonie basenu, który przybierał formę spływów piaszczystych [10]. Ze względu na ograniczoną liczbę otworów, które przewierciły dany poziom, nie ma podstaw do określenia rzeczywistej miąższości poziomów roponośnych. Na ponad 40 otworów jedynie trzy (Łodyna-58, Łodyna-104 oraz Łodyna-90k) przewierciły wszystkie horyzonty złożowe [18].

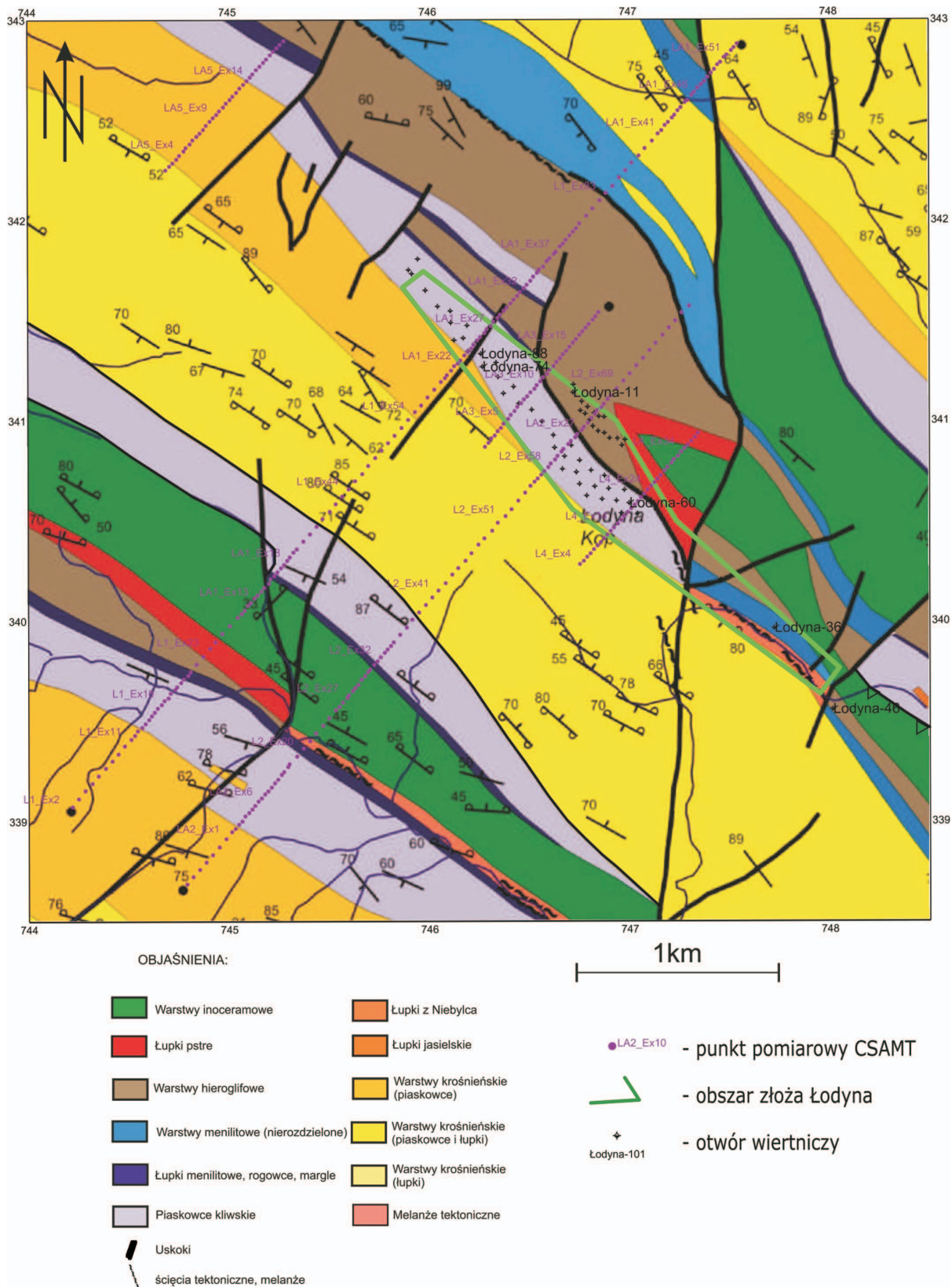


Rys. 2. Przekrój geologiczny przez złożo ropy naftowej Łodyna [16]

Badania metodą CSAMT

Podstawową metodą geofizyczną zastosowaną w rejonie złoża Łodyna była metoda profilowań audiomagneto-

tellurycznych z kontrolowanym źródłem (CSAMT) [15]. Pomiary wykonane zostały aparaturą serii System2000.net



Rys. 3. Lokalizacja obszaru złoża ropy naftowej Łodyna na tle mapy geologicznej wraz z zaznaczeniem profili pomiarowych (prace własne L. Jankowskiego 1986–2010: [21] (niepubl.), [3])

produkcji kanadyjskiej firmy Phoenix Geophysics Ltd., opartą na odbiornikach V8-6R i RXU-3ER [14]. Podstawowy układ pomiarowy dla odbiornika typu V8 składał się z trzech dipoli elektrycznych Ex ułożonych w linii profilu oraz czujnika magnetycznego typu AMTC-30 zlokalizowanego w pobliżu środka linii dipoli elektrycznych. W przypadku odbiornika RXU układ pomiarowy złożony był z trzech dipoli elektrycznych. Długość dipoli Ex wynosiła 50 m. W miejscu występowania wychodni łupków menilitowych krok pomiarowy został zagęszczony do 25 m. Badania elektromagnetyczne wykonano wzdłuż pięciu profili o łącznej długości ~11,7 km (rysunek 3).

Źródłem fali elektromagnetycznej był układ nadawczy zbudowany z dwóch grup elektrod prądowych A i B zlokalizowanych na linii równoległej do profilu pomiarowego

w odległości 4–6 kilometrów od niego. Długość dipola prądowego wynosiła 2900 m dla standardowych profili pomiarowych oraz 3100 m dla pomiarów wykonanych tzw. dipolem poprzecznym [14].

W ramach prac polowych zastosowano specjalną metodykę pomiarów pozwalającą na względnie dokładne odwzorowanie zmienności oporności ośrodka geologicznego. Oprócz standardowych prac CSAMT, polegających na wykonaniu pomiarów za pomocą układów pomiarowych zorientowanych wzdłuż profilu (poprzecznie do generalnej rozciągłości wychodni fliszowych), przeprowadzono także pomiary tzw. dipolami poprzecznymi. Pomiary te polegały na poprzecznej względem kierunku profilu orientacji dipoli elektrycznych (zgodnie z rozciągłościami wychodni) oraz orientacji czujników magnetycznych zgodnie z kierunkiem profilu.

Metodyka i technika prac pomiarowych metodą polaryzacji wzbudzonej

Pomiary polaryzacji wzbudzonej wykonane w domenie częstotliwości (SIP, ang. *spectral induced polarization*) [19] polegały na pomiarze natężenia prądu w dipolu nadawczym oraz różnicy potencjałów pomiędzy elektrodami na dipolach pomiarowych. Metodyka prac terenowych polaryzacji wzbudzonej jest podobna do wykorzystywanej w metodach

elektrooporowych oraz metodach CSAMT. W pomiarach został zastosowany tzw. układ ekwatorialny. Zasięg głębokościowy w metodzie polaryzacji wzbudzonej jest zależny od wielkości dipola pomiarowego oraz dipola prądowego, jak również od odległości pomiędzy nimi i rozkładu oporności w ośrodku geologicznym.

Przetwarzanie danych pomiarowych CSAMT i polaryzacji wzbudzonej

Przetwarzanie danych CSAMT wykonano, opierając się na programie CMTPro v.2 firmy Phoenix Geophysics Ltd., natomiast wyniki zinterpretowano oraz opracowano, używając oprogramowania WinGLink firmy Geosystem SRL. [14]. W wyniku przetwarzania danych obliczone zostały krzywe amplitudowe i fazowe sondowań dla określonego azymutu układu pomiarowego. Interpretacja ilościowa krzywych sondowań wykonana została z wykorzystaniem algorytmu Occama do inwersji 1D danych magnetotellurycznych [1].

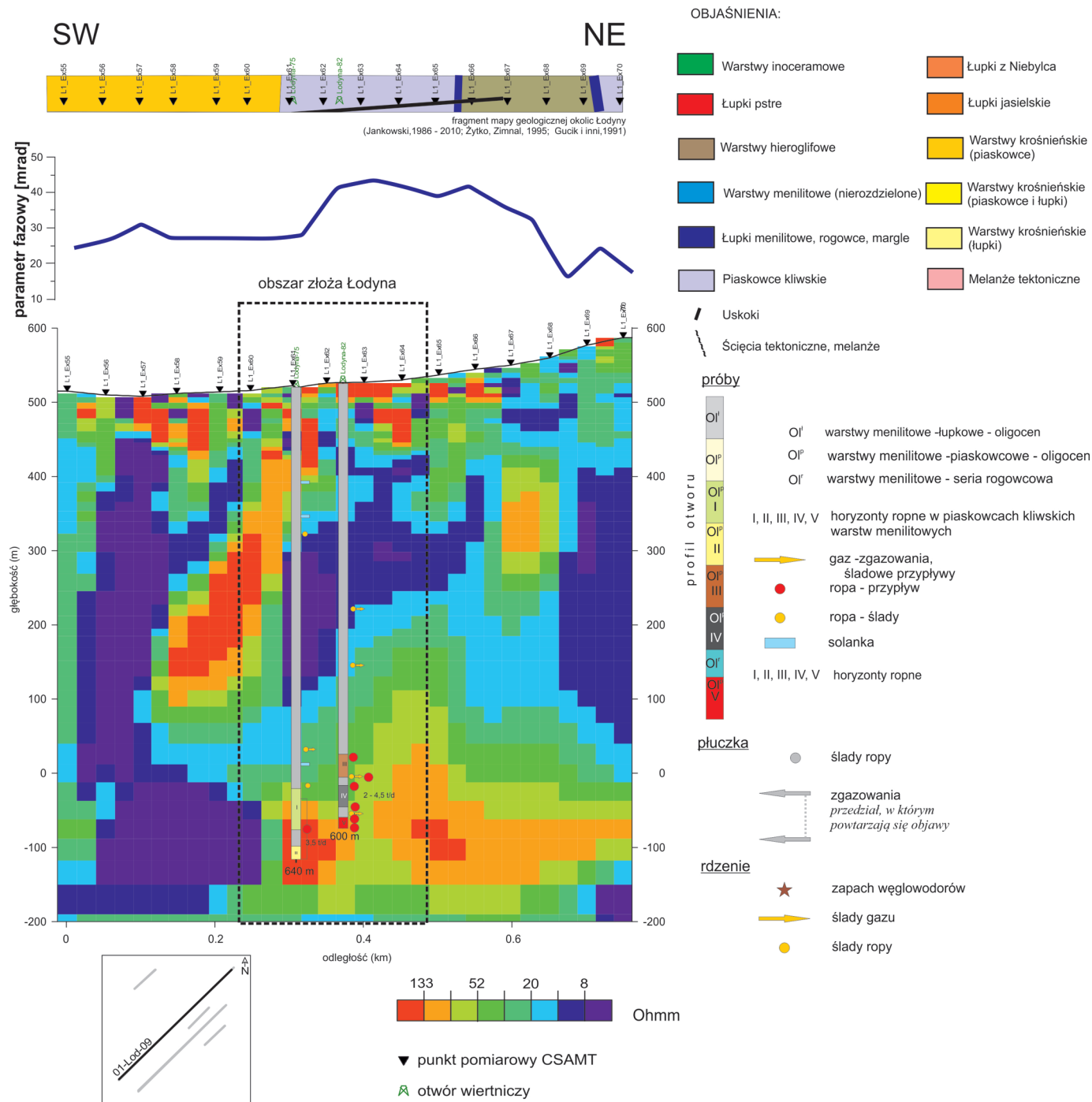
W metodzie polaryzacji wzbudzonej danymi pomiarowymi są wartości natężenia prądu elektrycznego i różnica potencjałów na dipolach pomiarowych dla różnych częstotliwości [20]. Podobnie jak w przypadku metody CSAMT sekwencja częstotliwościowa została ustalona podczas projektowania prac. Bezpośrednio w trakcie wykonywania pomiarów operator oceniał jakość danych, analizując wartości amplitudy i fazy. Obserwowane podczas akwizycji wartości parametrów mają jedynie charakter informacyjny, rzeczywiste wartości uzyskuje się po dodaniu danych z dipola prądowego.

Interpretacja

W ramach ilościowej interpretacji danych CSAMT obliczono przekroje głębokościowe metodami inwersji 1D (Occam) [1] i 2D (NLG) [12, 14, 19]. Wybrane, przykładowe wyniki inwersji zestawiono na rysunkach wraz z wycinkiem mapy geologicznej, konturem złoża Łodyna, wykresem parametru fazowego polaryzacji wzbudzonej oraz profilami litostratygraficznymi otworów wiertniczych (rysunki 4, 5, 6).

Dwuwymiarowy (a przy powierzchni terenu z pewnością także trójwymiarowy) model geoelektryczny ośrodka generuje szereg inwersyjnych modeli wynikowych, spośród

których trudno jest wybrać model jednoznacznie odpowiadający rzeczywistości geologicznej. Modele jednowymiarowe są z pewnością bardziej rozdzielcze. Wynika to z faktu, że algorytmy do inwersji 2D (tj. NLG) [12, 14] samym swoim działaniem generują model rozmyty. Należy jednak z ostrożnością podchodzić do anomalii opornościowych obliczonych w toku inwersji 1D, gdyż część z nich może być skażona np. przez wpływ niejednorodności przypowierzchniowych lub interpolację wyników, która sama w sobie może generować nieistniejące anomalie. Jednak inwersja 2D prawidłowo

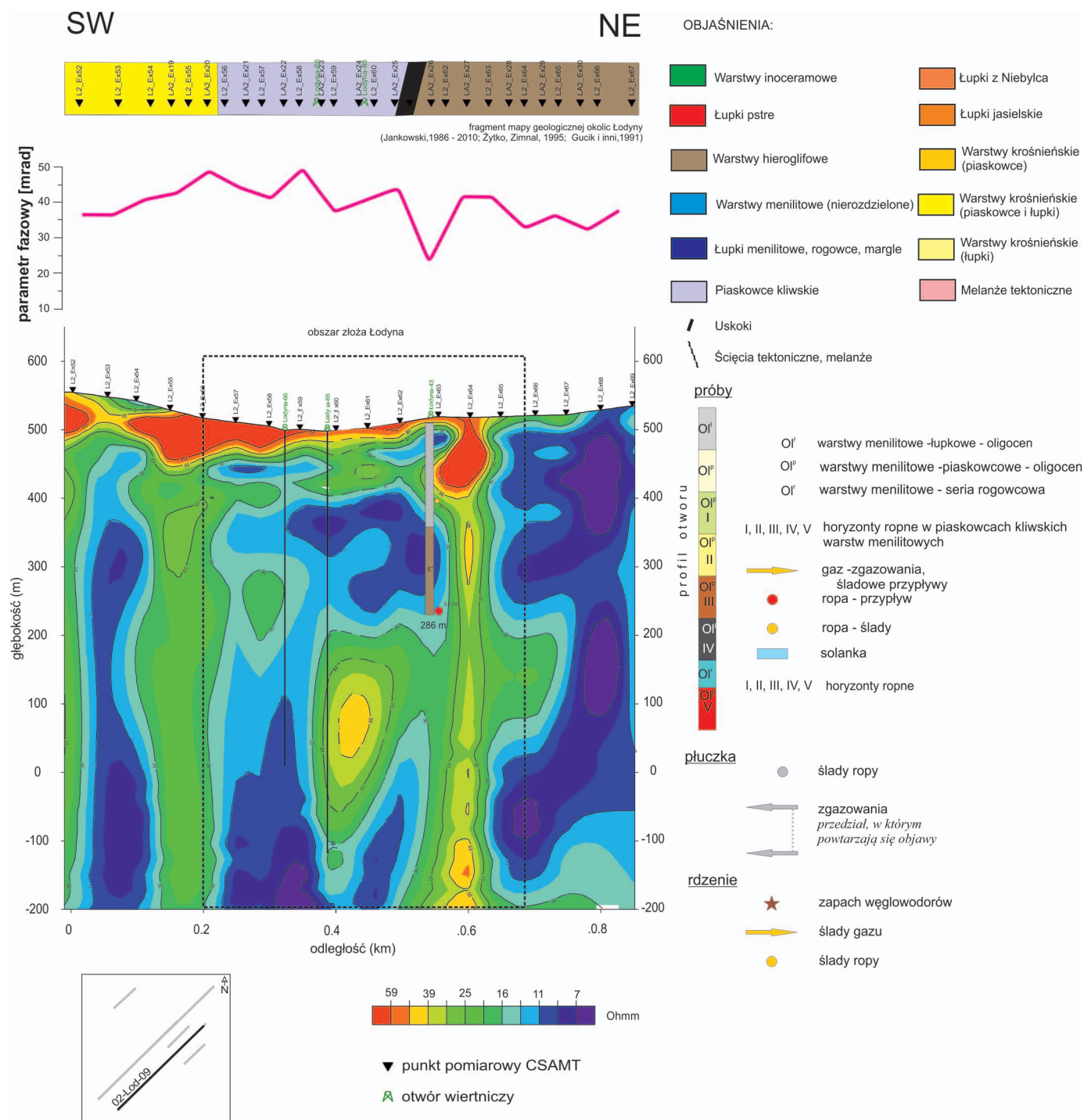


Rys. 4. Wynik inwersji 2D NLCG dla dwóch orientacji układu pomiarowego wzdłuż profilu 01-LOD-09 (model startowy – inwersja 2D dla profilu 03-LOD-09) ([14], zmodyfikowane)

odwzorowuje charakter przebiegu struktur. Dodatkowym elementem korzystnym dla interpretacji wyników inwersji 2D jest fakt jej obliczenia dla dwóch orientacji układu pomiarowego równocześnie, tj. w procesie iteracyjnym dopasowywane były w jednym punkcie cztery krzywe CSAMT (amplitudowa i fazowa XY oraz amplitudowa i fazowa YX) – w przeciwieństwie do inwersji 1D, gdzie w procesie iteracyjnym biorą udział dwie krzywe.

Pomimo przedstawionych powyżej możliwych przyczyn rozbieżności otrzymanych wyników należy zaznaczyć, że szereg

anomalii na poszczególnych profilach zostało wyliczonych niezależnie od przyjętego algorytmu inwersji oraz zestawu danych wejściowych. Ewidentnie występuje trójdzielny w kierunku linii profilu rozkład oporności, tj. (od SW) podwyższone (warstwy krośnieńskie) – obniżone (warstwy menilitowe) – podwyższone (warstwy hieroglifowe). Oczywiście wewnątrz tych głównych kompleksów widoczna jest zmienność oporności z głębokością, która ma niewątpliwie związek ze zmianami litologicznymi w seriach piaskowcowych i łupkowych. Tę właśnie zmienność, szczególnie



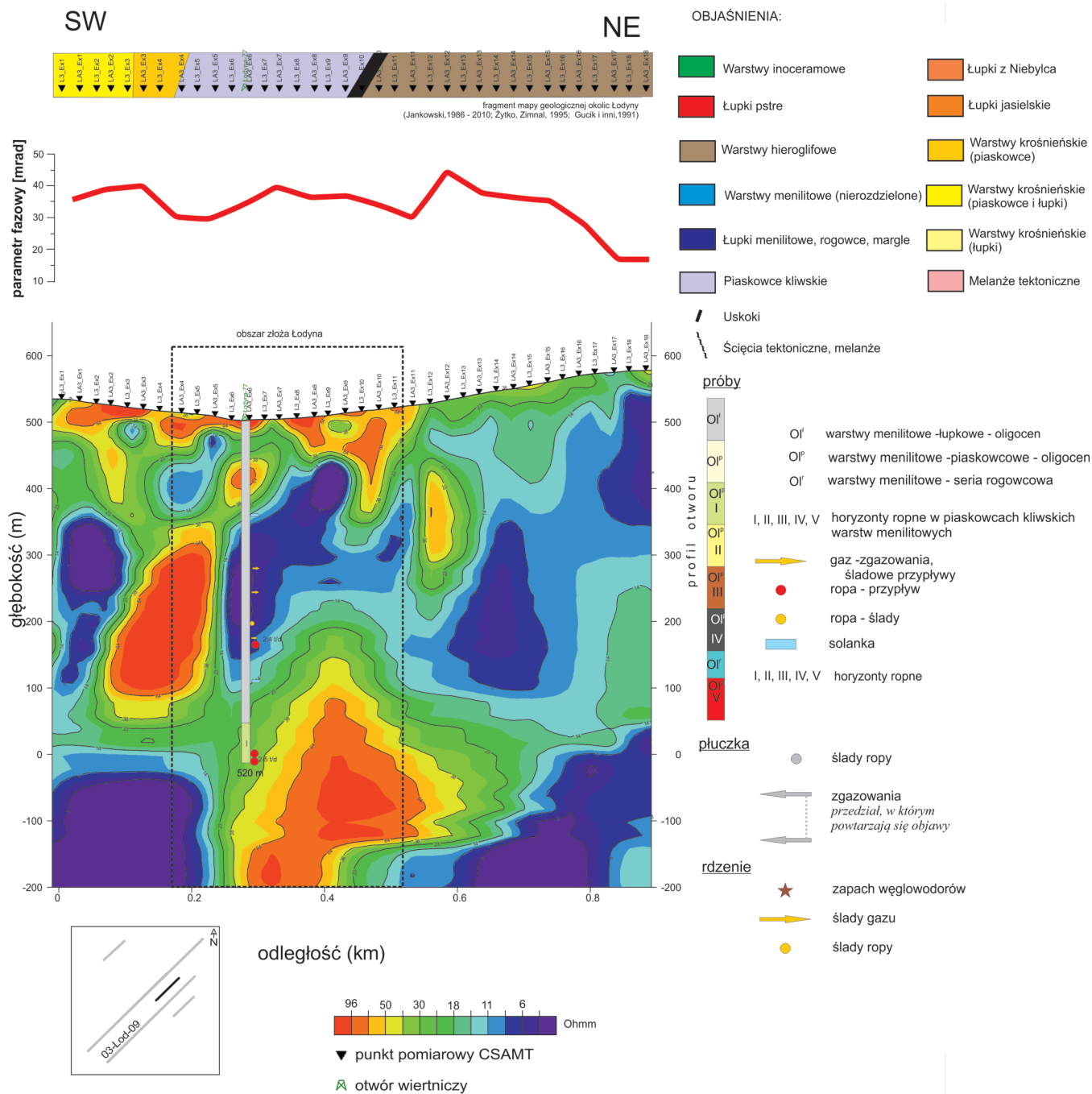
Rys. 5. Wynik inwersji 1D metodą Occama dla orientacji XY układu pomiarowego w obszarze złoża na profilu 02-LOD-09 ([14], zmodyfikowane)

w interwale głębokości od 200 m n.p.m. do -200 m, można wiązać z węglowodorami.

Interpretacja wyłącznie danych CSAMT nie zapewnia możliwości wskazania stref nasycenia węglowodorami. Pomocne może być natomiast wykorzystanie wyników metody polaryzacji wzbudzonej. Istnieje wiele teorii (również negatywnych) dotyczących możliwości użycia pomiarów polaryzacji do wykrywania złóż. Podstawy fizyczne i fizykochemiczne tej metody wskazują jednak na teoretyczną

możliwość określania zasięgu komina dyfuzyjnego (a dokładniej związanej z nim strefy pirytyzacji – metoda oparta na potencjale elektrodowym), jak i kontaktu woda–ropa (metoda bazująca na pomiarze potencjałów filtracyjnych) [14, 20]. Anomalie na wykresach parametru fazowego stosunkowo dobrze korelują ze znanymi granicami złoża (rysunek 4, 5, 6).

Kompleksowa analiza parametru fazowego i rozkładu oporności obliczonej z krzywych CSAMT pozwala na wska-



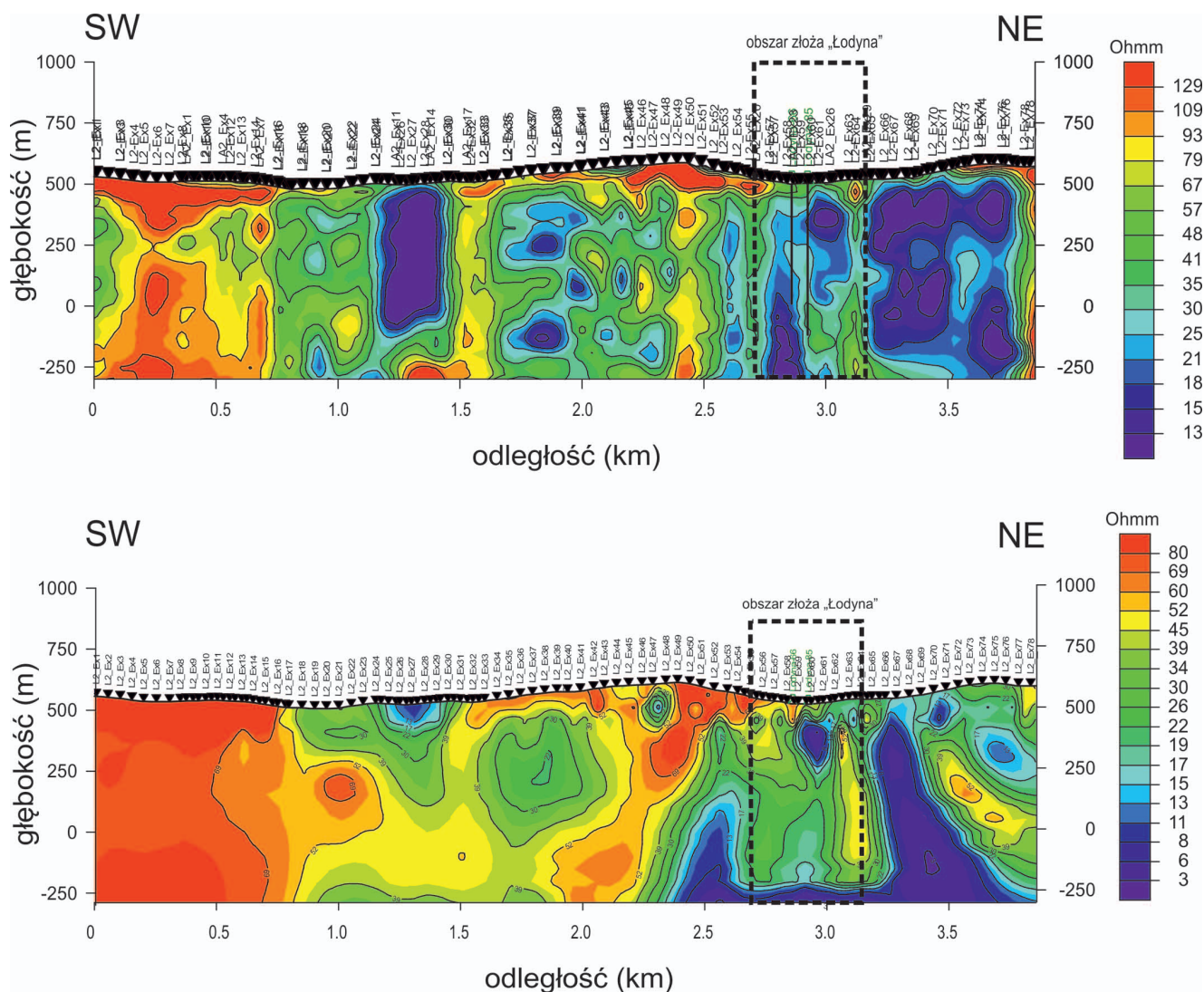
Rys. 6. Wynik inwersji 2D NLCG dla dwóch orientacji układu pomiarowego wzdłuż profilu 03-LOD-09 ([14], zmodyfikowane)

zanie stref perspektywicznych pod względem nasycenia węglowodorami. Dla profilu 01-LOD-09 strefą taką może być interwał głębokości pomiędzy 100 m n.p.m. a -100 m na północny wschód od otworu Łodyna-82 (rysunek 4).

Obok szczegółowych analiz strefy złożowej kopalni Łodyna wykonano także dwa długie profile CSAMT, których zadaniem była próba powiązania rozkładu oporności zarejestrowanego w strefie złożowej z rozkładem oporności w rejonie na południe od Łodyny, gdzie do tej pory nie stwierdzono znaczących objawów występowania węglowodorów. W ramach prac rozpoznawczych przedłużono na południe profile

01-LOD-09 i 02-LOD-09. Wyniki inwersji 1D i 2D jednego z nich zostały zaprezentowane na rysunku 7.

Rezultaty inwersji 1D i 2D dla profili przedłużonych wskazują, że obszar złoża Łodyna zlokalizowany jest w obrębie utworów o relatywnie niskich opornościach, poczynając od powierzchni terenu (uszczelnienie ilaste), i wzrastających wartościach oporności z głębokością (piaskowce zbiornikowe). Podobne rozkłady oporności uzyskano w południowych częściach obu profili (rysunek 7). Strefy te można, przez analogię do złoża Łodyna, rozpatrywać jako perspektywiczne dla dalszych poszukiwań naftowych.



Rys. 7. Wyniki inwersji 1D (powyżej) i 2D (poniżej) dla przedłużonego profilu 02-LOD-09 ([14], zmodyfikowane)

Podsumowanie i wnioski

Bazując na wynikach inwersji 1D według algorytmu Occama oraz 2D według NLCG, opracowano przekroje opornościowe. W ogólnym ujęciu rozkład oporności obliczony na podstawie inwersji jednowymiarowej jest w wysokim stopniu złożony i słabo czytelny. Występuje w tym przypadku efekt nakładania się zróżnicowania litologiczno-facjalnego na zaburzenia pola elektromagnetycznego w strefach przyskokowych. Przekroje obliczone na podstawie inwersji 2D są natomiast mocno zgeneralizowane i z pewnością „gubią” wiele szczegółów, zwłaszcza w strefie przypowierzchniowej. Czytelność przekrojów opornościowych pogarsza ponadto lokalizacja profili w wyraźnie trójwymiarowych ośrodkach geologicznych.

Dobrze zaznaczone granice opornościowe wiążą się zapewne ze strefami tektonicznymi. Stromo zapadające kompleksy niskooporowe, o szerokościach rzędu setek metrów, odzwierciedlają prawdopodobnie strefy melanzji

tektonicznych, które rysują się wyraziście w NE częściach przekrojów.

Odzwierciedlenie wglębnego położenia warstw geologicznych należy uznać raczej za problematyczne, chociaż granice wychodni kompleksów litologiczno-stratygraficznych zaznaczone na mapie powierzchniowej korelują dobrze z wychodniami granic geoelektrycznych. Wraz ze wzrostem głębokości zaznacza się jednak uniformizacja oporności i wpływ czynników dodatkowych, np. zasolenia wód złożowych.

Podsumowując powyższą analizę, należy podkreślić, że nie można oczekiwać szybkich i łatwych sukcesów w wykorzystaniu metod geoelektrycznych do tzw. bezpośredniej prospekcji złóż węglowodorów w ośrodkach o tak skomplikowanej budowie geologicznej jak w przypadku struktur kopalni Łodyna. Efekty anomalne związane z obecnością złóż są raczej słabe i trudne do wydzielenia z tła (szumu) anomalii generowanych przez ośrodek geologiczny.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2015, nr 9, s. 681–690

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

Artykuł opracowany został w ramach realizacji prac statutowych Katedry Surowców Energetycznych AGH, umowa nr 11.11.140.322. Wykorzystane zostały wyniki badań objętych Projektem naukowo-badawczym nr 13102 pt. *Opracowanie nowatorskich metod wykrywania złóż węglowodorów oraz rozpoznawania struktury i zmienności złóż w trakcie eksploatacji za pomocą głębokich i średniozasięgowych badań elektromagnetycznych* – Inicjatywa Technologiczna I, lata 2008–2010.

Literatura

- [1] Constable C. S., 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] Garecka M.: *Granica oligocen/miocen w polskich Karpatach zewnętrznych na podstawie nanoplanktonu wapiennego*. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego 2008, nr 432, s. 1–53.
- [3] Gucik S., Jankowski L., Raczkowski W., Zytko K.: *Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000. Arkusz Rybotycze–Dobromil*. Warszawa, Państwowy Instytut Geologiczny, 1991.
- [4] Gucik S., Paul Z., Słaczka A., Zytko K.: *Mapa geologiczna Polski w skali 1:200 000, arkusz Przemysł–Kalnikow. Mapa bez utworów czwartorzędowych – wydanie B*. Warszawa, Instytut Geologiczny, 1980.
- [5] Jankowski L., Probulski J.: *Rozwoj tektoniczno-basenowy Karpat zewnętrznych na przykładzie budowy geologicznej złożeń Grabownica, Strachocina i Lodyna oraz ich otoczenia*. Geologia 2011, t. 37, s. 555–583.
- [6] Jankowski L., Rauch-Włodarska M.: *Proba interpretacji tektoniki w otoczeniu struktur złożowych Grabownica, Strachocina i Lodyna*. Inicjatywa Technologiczna I, projekt nr 13102, Kraków 2009, umowa nr 162/R/T02/2007/IT1 (materiały niepublikowane).
- [7] *Katalog złóż ropy naftowej i gazu ziemnego w Polsce*. Zjednoczenie Górnictwa Naftowego, Wydawnictwa Geologiczne „Geonafta”, 1973.
- [8] Kotlarczyk J.: *Stratygrafia formacji z Ropianki (fm), czyli warstw inoceramowych w jednostce skolskiej Karpat fliszowych*. Prace Geologiczne – Polska Akademia Nauk 1978, nr 108.
- [9] Kusmierk J., Leszczynski S., Machowski G.: *Ocena możliwości występowania pulapek stratygraficznych w warstwach menilitowych w rejonie Tyrawa Wołoska–Bandrow – Etap I*. Towarzystwo Geosynoptyków „GEOS”, Kraków 2013, PGNiG S.A. (materiały niepublikowane).
- [10] Kusmierk J., Szczygiel M., Machowski G.: *Analiza uwarunkowania roponosności piaskowców kłiwskich pod kątem możliwości dokumentowania nowych zasobów w strefie Tyrawa Solna–Stebnik*. Archiwum PGNiG S.A., Oddział w Sanoku, 2009/2010.
- [11] Malata T.: *Analiza formalnych wydzieleni litostratygraficznych oraz propozycja podziału jednostki skolskiej polskich Karpat fliszowych*. Przegląd Geologiczny 1996, vol. 44, nr 5, s. 509–513.
- [12] Rodi W., Mackie R. L.: *Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotellurics inversion*. Geophysics 2001, vol. 66, s. 174–187.
- [13] Stefaniuk M.: *Metody elektromagnetyczne w prospekcji naftowej*. Geologia 2011, nr 37, s. 5–36.
- [14] Stefaniuk M. (red.): *Opracowanie i interpretacja wyników prac naukowo-badawczych wykonanych metodami elektromagnetycznymi w obszarze złoża Lodyna*. Inicjatywa Technologiczna I, projekt nr 13102, umowa nr: 162/R/T02/2007/IT1, Kraków 2010 (materiały niepublikowane).
- [15] Stefaniuk M., Wojdyła M.: *Badania magnetotelluryczne z zastosowaniem sztucznego źródła pola pierwotnego*. Geofizyka: Biuletyn Informacyjny 2007, nr 6.
- [16] Szeremeta M., Szewczyk E.: *Dokumentacja wyników odwiertu eksploatacyjnego Lodyna-90k*. Ustrzyki Dolne, PGNiG S.A., Oddział w Sanoku, 2012.
- [17] Szewczyk E.: *Złozę ropy naftowej Lodyna tradycja i nowoczesność*. Górnictwo Odkrywkowe 2009, R. 50, s. 154–157.
- [18] Szewczyk E., Grzys R., Kaminski A., Marcinkowski A., Rostowski R., Szeremeta M., Zola G., Rzeźnik M.: *Dodatek Nr 3 do dokumentacji geologicznej złoża ropy naftowej Lodyna*. PGNiG S.A., Oddział w Sanoku, 2013.
- [19] Wojdyła M., Stefaniuk M.: *Interpretacja złożonych struktur geologicznych z wykorzystaniem prostych i inwersyjnych modeli pola magnetotellurycznego*. Geologia 2011, t. 37, s. 113–140.
- [20] Wojdyła M., Stefaniuk M., Sada M., Sito L.: *Metoda polaryzacji wzbudzonej w prospekcji złóż węglowodorów*. Geologia 2011, t. 37, s. 63–88.
- [21] Zytko K., Malata T., Zimnal Z.: *Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000. Arkusz Ustrzyki Dolne*. Archiwum Państwowego Instytutu Geologicznego, Warszawa 1995 (materiały niepublikowane).
- [22] Zytko K., Zimnal Z.: *Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000. Arkusz Ustrzyki Dolne*. Warszawa, Państwowy Instytut Geologiczny, 1997.



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



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



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