

Radosław Florek¹, Michał Stefaniuk^{2,3}, Adam Koryczan², Cezary Ostrowski²

¹ *Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo SA*

² *Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych Sp. z o.o.*

³ *Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica*

Badania grawimetryczno-magnetotelluryczne struktury kompleksu mezopaleozoicznego brzeżnej strefy Karpat pomiędzy Gromnikiem a Wojniczem

Artykuł dotyczy sposobu rozpoznania budowy kompleksu mezopaleozoicznego brzeżnej strefy Karpat pomiędzy Gromnikiem a Wojniczem. Decydujące znaczenie w tym procesie miała wspólna interpretacja grawimetryczno-magnetotelluryczna, wsparta analizą dostępnych danych geologicznych i geofizycznych. Efektem tych działań było stworzenie w miarę wiarygodnego i spójnego modelu strukturalnego tej części Karpat. Wyróżniono w nim elementy, w których rejonie możliwe jest przeprowadzenie dalszych geofizycznych badań prospekcyjnych, zmierzających do zlokalizowania nieodkrytych złóż węglowodorów.

Słowa kluczowe: interpretacja grawimetryczno-magnetotelluryczna, anomalia rezydualna, oporność elektryczna, model strukturalny.

Gravity-magnetotelluric researches of structure of the Paleozoic-Mesozoic complex of the Carpathian front between Gromnik and Wojnicz

This paper is about the way of recognizing the structure of the Paleozoic-Mesozoic basement of the Carpathian front between Gromnik and Wojnicz. In this process the deciding factor is the shared gravity-magnetotelluric interpretation backed up with analysis of available geophysical, geological and other data. Creating a reliable and cohesive structural model of this part of the Carpathian was the effect of this action. In the article structural elements were singled out in the area of which further geophysical research will be conducted with the aim of locating undiscovered deposits of hydrocarbons.

Key words: gravity-magnetotelluric interpretation, residual anomaly, resistance, structural model.

Wstęp

Zapewne do przeszłości należą czasy, gdy wydobycie ropy naftowej z ziem polskich w Karpatach (wówczas pod zaborami) stanowiło 5,2% produkcji światowej – było to w 1909 r., a Galicja plasowała się wtedy na trzecim miejscu globalnego wydobycia [5]. Długoletnia eksploatacja oraz malejąca z upływem czasu liczba nowych odkryć pokazały, że lata prosperity tego zagłębia nie mogły trwać wiecznie. Nie znaczy to jednak, że w Karpatach wyczerpały się możliwości odkrycia nowych złóż, zarówno gazu ziemnego,

jak i ropy naftowej. Wynika to między innymi z faktu słabego rozpoznania Karpat poniżej głębokości 1200 m [4]. Sukces może zapewnić zbadanie głębszych poziomów górotworu karpackiego, zwłaszcza w jego brzeżnej strefie. Tutaj bowiem do perspektywicznych formacji zalicza się zamaskowane nasunięciem karpackim utwory paleozoicznego i mezozoicznego podłoża [4]. Odkrycie akumulacji węglowodorów w niełatwych warunkach geologicznych i terenowych wymaga odpowiedniego dostosowania kon-

cepeji i metodyki poszukiwań oraz właściwej interpretacji otrzymanych danych.

Przykładem zastosowania adekwatnego do sytuacji sposobu rozpoznania budowy strukturalnej są badania przeprowadzone w celu rozpoznania podłoża mezopaleozoicznego granicznej strefy Karpat pomiędzy Gromnikiem a Wojniczem [10]. W rejonie tym mięszony kompleks fliszowy utrudniał uzyskanie wysokiej jakości wyników

wcześniejszych prac sejsmicznych, wobec czego zastosowano badania grawimetryczne i magnetotelluryczne wspierające w interpretacji metodę sejsmiczną. Należy sądzić, że użycie dobrze dobranych metod geofizycznych i zintegrowana interpretacja dostępnych danych pozwolą na skuteczniejsze niż dotychczas rozwiązywanie problemów związanych z poszukiwaniami ropy i gazu w obszarach o złożonej budowie geologicznej.

Dotychczasowe rozpoznanie rejonu badań oraz perspektywy jego ropo- i gazonośności

Prace geofizyczne przeprowadzono w brzeżnej strefie nasunięcia karpackiego, na południe od Tarnowa i Wojnicza, w obrębie miocenijskiej oraz trzech karpackich jednostek tektoniczno-stratygraficznych, odpowiednio: zgłobickiej oraz skolskiej, podśląskiej i śląskiej. Wierceniami stwierdzono obecność sfałdowanych osadów trzeciorzędowych i kredowych fliszu karpackiego, miocenu autochtonicznego, górnej kredy, środkowej i górnej jury, triasu, karbonu, dewonu górnego i środkowego, syluru oraz prekambriu. Tworzą one pięć wyraźnie zróżnicowanych pięter strukturalnych: prekambryjskie, paleozoiczne, mezozoiczne (permsko-mezozoiczne?), miocenijskie i fliszowe piętro karpackie. Trzy pierwsze rozdzielone są niezgodnościami erozyjno-kątowymi, natomiast granica pomiędzy miocenem autochtonicznym a jednostkami karpackimi ma charakter ścięcia tektonicznego [10].

Rejon prac jest słabo rozpoznany wierceniami, zlokalizowanymi głównie w jego północnej części, natomiast badania sejsmiczne 3D miały miejsce tylko w północno-wschodnim fragmencie omawianego obszaru [7]. Teren badań objęły natomiast prace sejsmiczne 2D wykonane pod koniec minionego stulecia i na początku obecnego [1, 2,

3, 8]. W interpretacji sejsmicznych profilowań refleksyjnych utrudnienie stanowiła skomplikowana budowa geologiczna zarówno pokrywy fliszowej, jak i podłoża. Do analizy ich struktury pomocne okazały się przeprowadzone w 2005 r. w sąsiednim rejonie Tarnawy–Łątki–Czchowa [9] badania grawimetryczne i magnetotelluryczne. Potwierdziły one swoją przydatność do rozpoznawania struktury podłoża podtrzeciorzędowego i do śledzenia przebiegu stref tektonicznych.

Strefa Karpat położona między Zakliczynem a Tuchowem jest przedmiotem zainteresowania geologów strukturalnych i naftowych głównie ze względu na perspektywy odkrycia nowych akumulacji węglowodorów. Na taką sugestię pozwalają rezultaty wieloletnich prac poszukiwawczych w górotworze pod nasunięciem karpacko-stebnickim. Dotychczasowe badania doprowadziły do znalezienia złóż ropy naftowej i gazu ziemnego, do których należą m.in.: Nosówka, Zalesie, Zagorzyce oraz Trzebowniko, a także: Tarnów, Łąka, Łapanów, Góra Ropczycka, Stryszawa, Lachowice. W omawianym tu rejonie perspektywiczne są mezopaleozoiczne osady zalegające pomiędzy stropem prekambriu a trzeciorzędowym przykryciem.

Lokalizacja i zakres obszaru prac

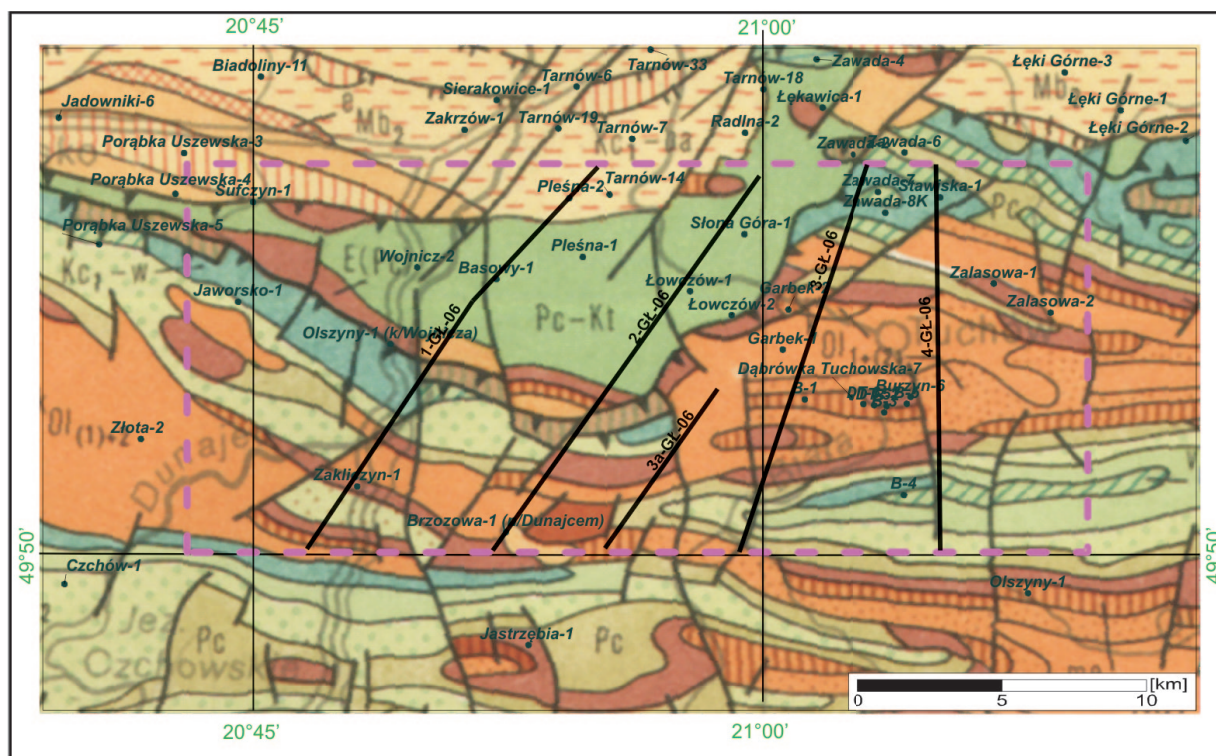
Pomiary geofizyczne [10] miały miejsce w obrębie obszaru koncesyjnego PGNiG SA. Przebadany rejon o powierzchni 422 km² jest położony w województwie małopolskim na terenie powiatu brzeskiego i tarnowskiego. Omawiany obszar w ujęciu geograficznym rozciąga się w obrębie dwóch

mezoregionów: Pogórza Rożnowskiego oraz Pogórza Ciężkowickiego, zaliczanych do makroregionu Pogórza Środkowobeskidzkiego [6]. Rejon prac to niemal w całości tereny wiejskie, z wyraźną przewagą obszarów rolnych nad leśnymi. Położenie rejonu prac prezentuje rysunek 1.

Cele i zakres zintegrowanej interpretacji grawimetryczno-magnetotellurycznej

Uzyskane z prac grawimetrycznych i magnetotellurycznych dane pomiarowe uzupełniono materiałami archiwalnymi z wcześniejszych opracowań geofizycznych i geologicznych [11, 12] oraz wiertniczych. Następnie przeprowadzono interpretację polegającą na łącznej analizie rezultatów dwóch

ww. odrębnych metod geofizyki powierzchniowej. Jej celem było rozpoznanie budowy podłoża podtrzeciorzędowego pod kątem wytypowania obiektów interesujących dla poszukiwania węglowodorów – głównie struktur zbudowanych ze skał węglanowych jury i dewonu.



- – granica obszaru prac
— 2-Gł-06 – linia przekroju grawimetrycznego i magnetotellurycznego wraz z nazwą
● Basowoy-1 – wybrany otwór wiertniczy

Oznaczenia utworów skalnych zgodnie z przedstawioną na mapie symboliką geologiczną

Rys. 1. Lokalizacja obszaru prac na tle wycinka mapy geologicznej

Rezultaty prac interpretacyjnych

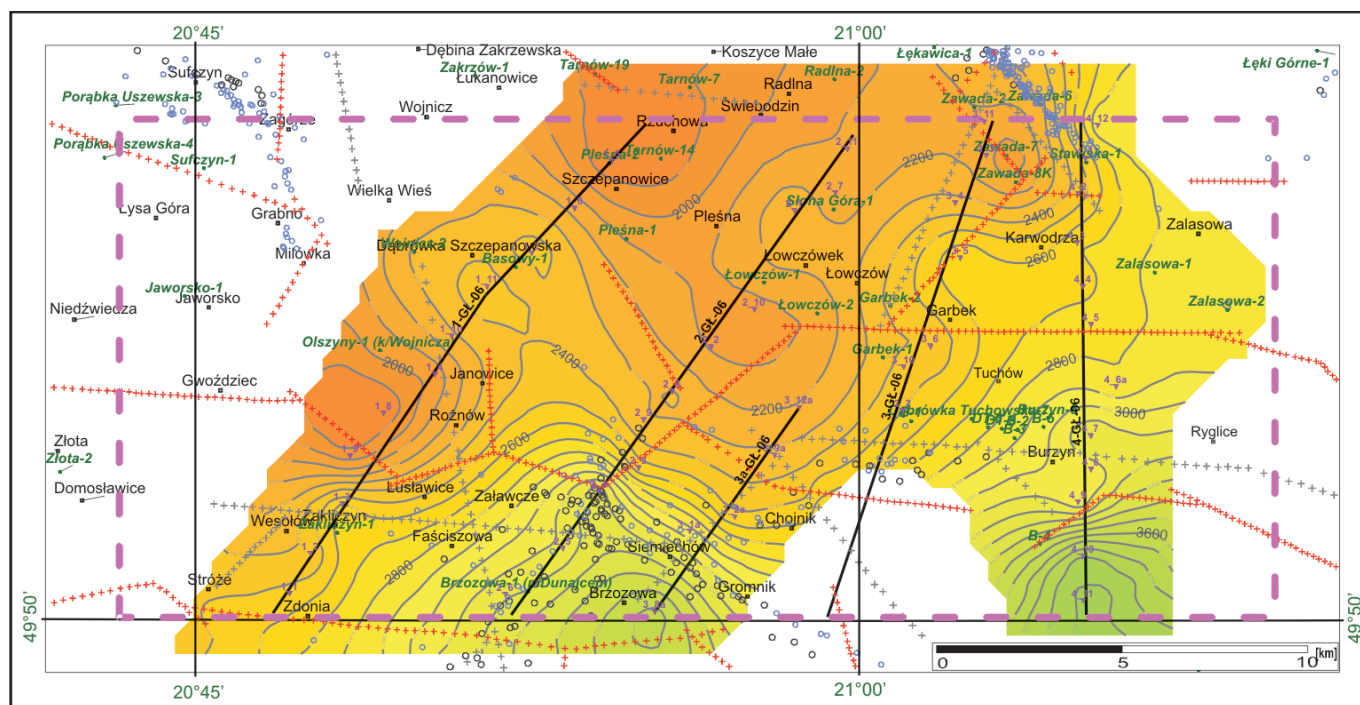
Z uwagi na parametry fizyczne skał badany ośrodek geologiczny charakteryzuje się wyraźną dwudzielnością. Mniejsze gęstości objętościowe i niższe oporności występują w górnej części kompleksu. Składają się na to utwory orogenu karpackiego (oczywiście poza fragmentem zapadliska przedgórskiego) oraz utwory miocenu sfałdowanego i autochtonicznego. Wyższe gęstości i wysokie oporności charakteryzują generalnie dolną część badanego górotworu, będącą podrzeczorządowym podłożem osadowym oraz stropową partią skonsolidowanych utworów prekambru.

Dla rozpoznania warstwy przypowierzchniowej, czyli najwyższej partii górnej części ośrodka, przeanalizowano mapę anomalii rezydualnych siły ciężkości odzwierciedlających grawitacyjne oddziaływanie mas skalnych zalegających w przedziale głębokości 0÷0,5 km p.p.m. Dodatkowe informacje uzyskano z rozkładu oporności dla poziomu 0,75 km p.p.m., a także z modelowania oporności i gęstości. Materiały te [10], a zwłaszcza anomalie rezydualne, pokazują zasięgi poziome utworów różniących się gęstością, wskazują

przebiegi wychodni kompleksów fliszowych i wyznaczają pionowe granice gęstości, często o charakterze tektonicznym. Mogą być zatem wykorzystywane do uzupełniania map geologicznych (bez czwartorzędu).

Natomiast informacje o budowie orogenu karpackiego (poniżej warstwy przypowierzchniowej) i podścielającego miocenu uzyskano, analizując rozkłady anomalii rezydualnych pochodzących od utworów w przedziałach głębokości 0,5÷2 km i 2÷4 km, a także mapy oporności na kilku poziomach do 3 km p.p.m. oraz przekroje geofizyczne pokazujące rozkłady gęstości objętościowej i oporności elektrycznej. Poszczególne ogniwa litologiczne fliszu o różnych gęstościach objętościowych odzwierciedliły się na obrazach grawimetrycznych w postaci dodatnich i ujemnych anomalii. Umożliwiło to prześledzenie granicy nasunięcia płaszczowiny śląskiej i wyróżnienie w jej obrębie elementów tektoniki ciągłej (fałdów) i nieciągłej (uskoków).

Przybliżoną miąższość miocenu (sfałdowanego i autochtonicznego łącznie) wyinterpretowano, rozpatrując głównie



- — — — — granica obszaru prac
 - 2-GL-06 — — — — — linia przekroju grawimetrycznego i magnetotellurycznego wraz z nazwą
 - 2-10 — — — — — numer sondowania magnetotellurycznego
 - Basowy-1 — — — — — otwór wiertniczy
 - 2800 — — — — — poziomica stropu utworów podtrzeciorzędowych – kreślono co 100 m
- Pionowe granice gęstości, litologiczne i/lub tektoniczne:
- według dekonwolucji Eulera dla przedziałów głębokości:
 - ⊗⊗⊗ 2–3 km
 - ⊗⊗⊗ 3–4 km
 - według gradientu poziomego metodą Rosenbacha dla przedziałów głębokości:
 - + + + 0–4 km
 - + + + 0–6 km

Rys. 2. Szkic strukturalny stropu podtrzeciorzędowych wysokooporowych utworów węglanowych na podstawie sondowań magnetotellurycznych

przekroje grawimetryczne i magnetotelluryczne. Założono przy tym, na podstawie danych wiertniczych, że osady miocenu mają dużo niższe oporności i nieco mniejsze gęstości niż utwory budujące płaszczowiny karpackie.

Nieźle rozpoznano dolną część badanego ośrodka skalnego, tj. podłoże podtrzeciorzędowe, co było głównym celem prac. Wyniki sondowań magnetotellurycznych pozwoliły określić głębokości do stropu utworów wysokooporowych, najprawdopodobniej węglanowych jury albo kredy wraz z jurą (jeśli kreda występuje i jest wykształcona w facji węglanowej), co sugerują wyniki wierceń. Morfologię stropu węglanowego kompleksu podtrzeciorzędowego przedstawiono na rysunku 2.

Na znacznej części obszaru prac, poza wysokooporowymi utworami jury, udokumentowano kolejną warstwę o wysokiej oporności. Zidentyfikowano ją jako węglanowe utwory dewonu lub łącznie karbonu z dewonem. Identyfikacji informacji dostarcza analiza grawimetrycznej mapy anomalii rezydual-

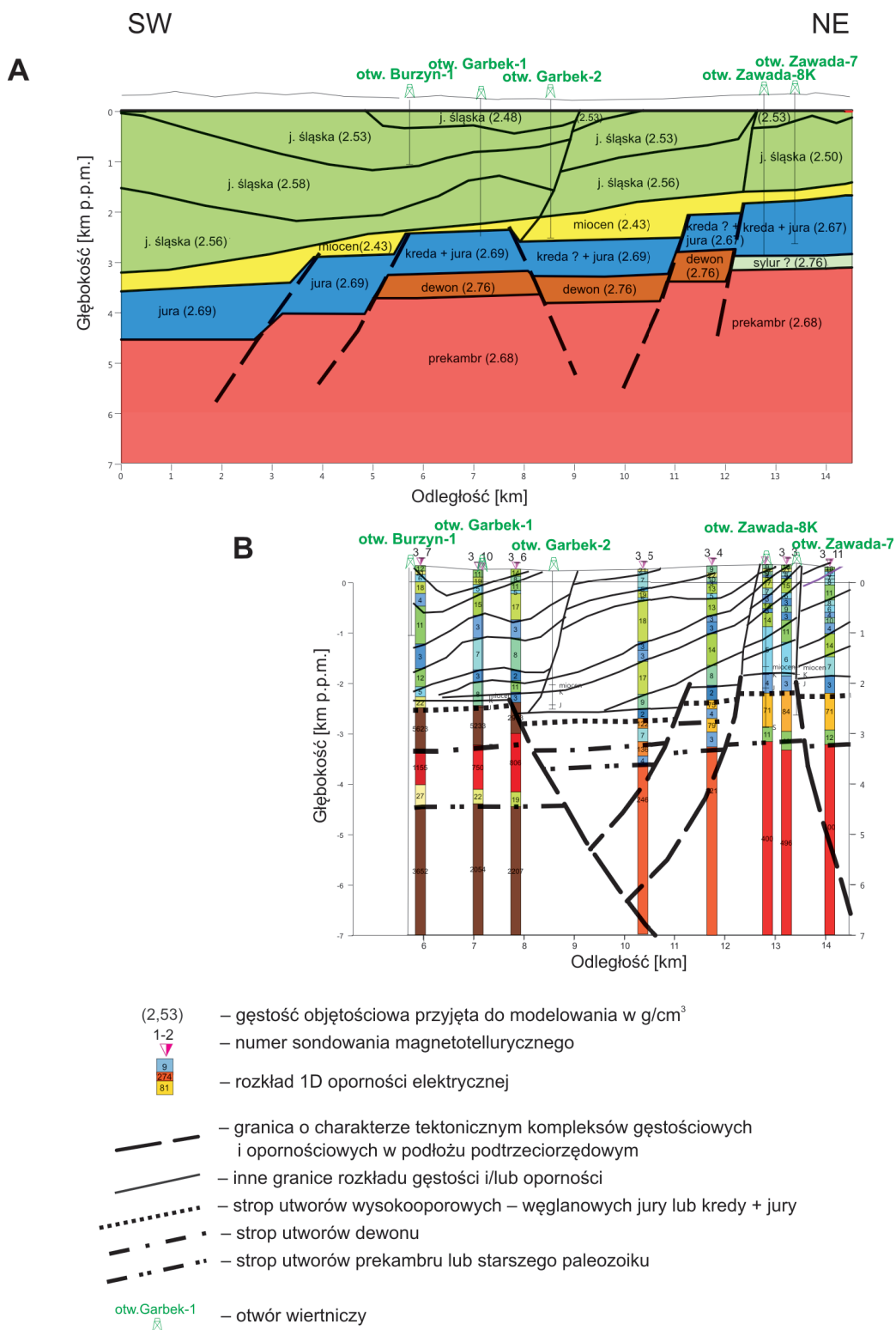
nych dla głębokości 2÷4 km p.p.m., wskazująca na występowanie utworów dewonu o większej gęstości objętościowej, i szacunkowo określająca jego zasięg powierzchniowy. Przy całkowitym braku permu i sporadycznym występowaniu triasu utwory węglanowe dewonu i jury wyróżniają się dużym rozprzestrzenieniem i wysoką opornością. Tworzą wspólny kompleks wysokooporowy, który gdzieś może być rozszerzony o węglanowe ogniwa kredy i/lub karbonu. Dla takiego kompleksu obliczono miąższość i przedstawiono ją na przekroju geofizycznym (rysunek 3A).

Interpretacja sondowań magnetotellurycznych przy wykorzystaniu danych geologicznych i wiertniczych pozwoliła też na określenie głębokości stropu prekambryjskich utworów wysokooporowych, o opornościach rzędu kilkuset i kilku tysięcy Ωm , znamionujących podłoże krystaliczne. Powierzchnię morfologiczną tego kompleksu pokazano na przekroju magnetotellurycznym (rysunek 3B).

Pomiędzy kompleksami wysokooporowymi, czyli prekambryjskim i węglanowym, wydzielono warstwę geoelektryczną o mniejszych opornościach, odpowiadającą skałom klastycznym. Mogą to być okruchowe utwory triasu lub starszego paleozoiku albo stropowa partia prekambru, co

jest najbardziej prawdopodobne i potwierdzone kilkoma odwiertami.

Podjęto także próbę rozpoznania tektoniki podłoża podtrzeciorzędowego. W tym celu przeanalizowano rozkład gradientu poziomego anomalii siły ciężkości, wyniki trój-



Rys. 3. Przekrój (3-GŁ-06) grawimetryczny i magnetotelluryczny z elementami tektoniki

A – rozkład gęstości objętościowej na podstawie modelowania grawimetrycznego, B – rozkład oporności elektrycznej na podstawie modelowania magnetotellurycznego

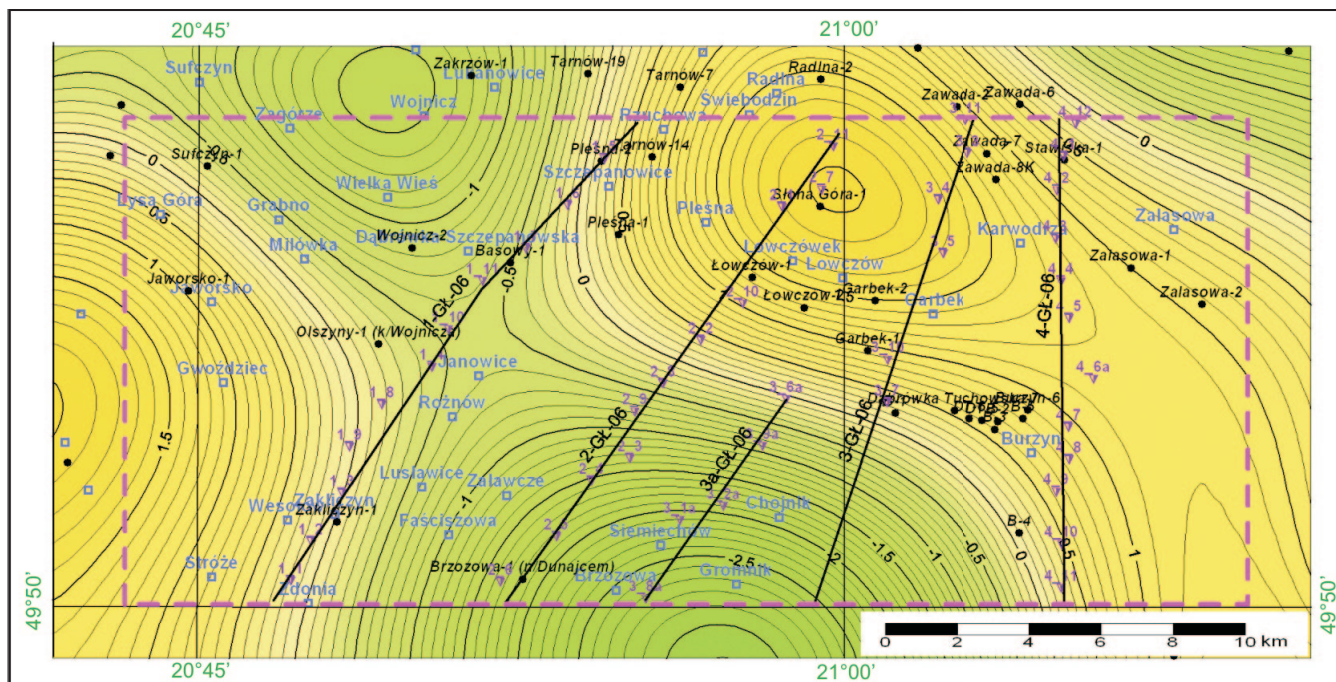
wymiarowej dekonwolucji Eulera oraz geoelektryczne mapy strukturalne i rozkłady oporności. Uwzględniono przy tym dostępne archiwalne informacje geofizyczne i geologiczne. W efekcie rozpoznano w podłożu podtrzeciorzędowym system uskoku dzielących to podłoże na bloki wypiętrzone i obniżone względem siebie. Uskoki te mają różne rozciągłości. Najczęstszy jest kierunek SE-NW i SW-NE, występuje także kierunek równoleżnikowy, a rzadko południkowy. Pewne wyobrażenie o stopniu skomplikowania budowy górotworu w tej strefie Karpat daje przekrój grawimetryczny (rysunek 3A) i magnetotelluryczny (rysunek 3B).

Sprawdzianem poprawności rozwiązań interpretacyjnych jest zadowalająca zgodność wyników obydwu zastosowanych w badaniach metod oraz zgodność z danymi otworowymi. Generalnie zbieżne są też rezultaty zdjęć sejsmicznych z wynikami grawimetrii i magnetotelluryki. Dwa kolejne rysunki (rysunki 4 i 5) ilustrują wzajemne uzupełnianie rezultatów geofizycznych metod badania górotworu. W górnej części rysunku 4 wyróżnia się wielkopromienna, dodatnia anomalia rezydualna siły ciężkości (z centrum w okolicach otworu Słona Góra-1), pochodząca od mas skalnych zalegających na głębokości 2÷4 km p.p.m. Jednym z jej źródeł są węglany

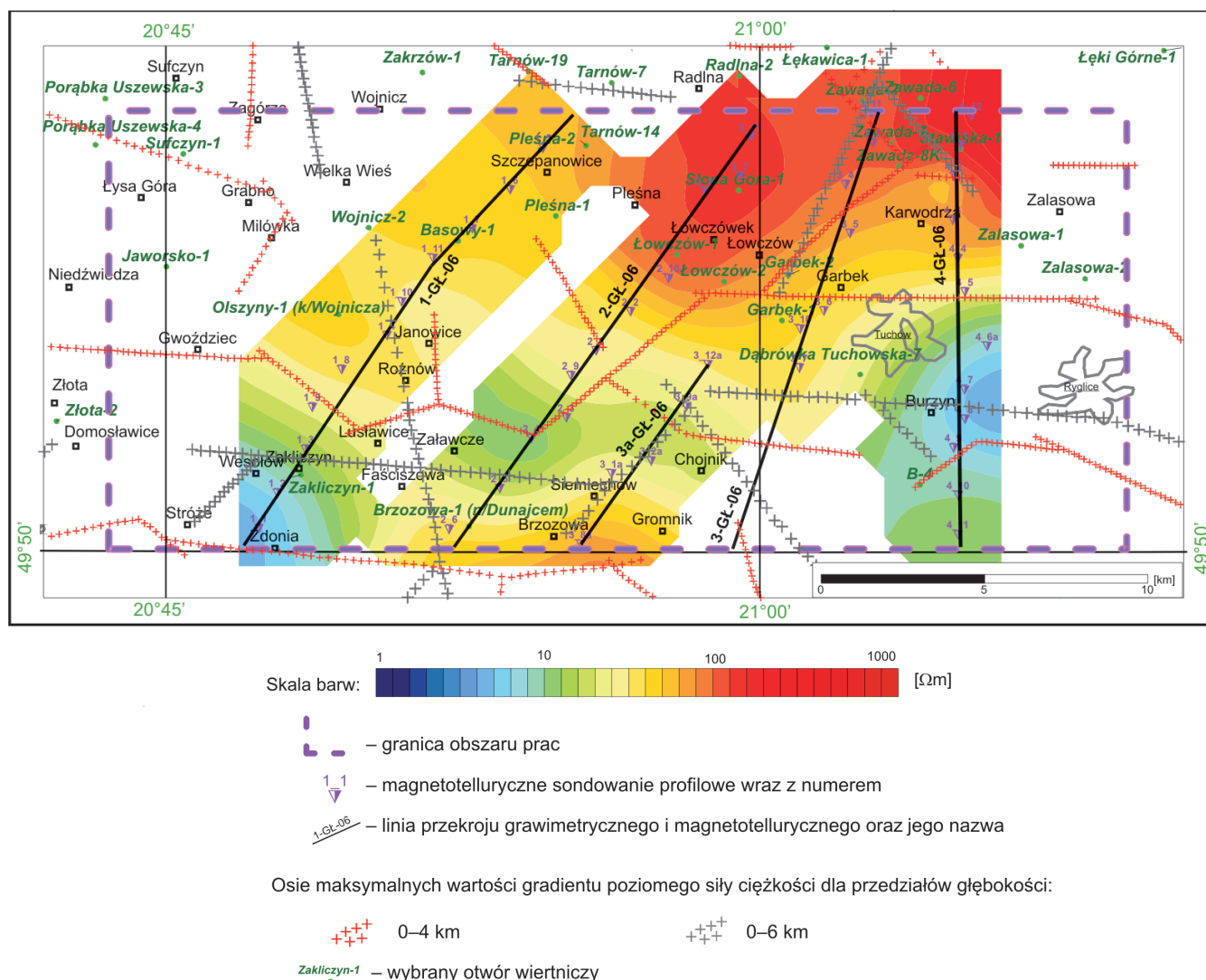
dewonu o znacznej gęstości. Odpowiednik tej anomalii widoczny jest w rozkładzie oporności elektrycznej na głębokości 3,75 km p.p.m. (rysunek 5) w postaci strefy nagłego wzrostu oporności od ponad 100 do kilkuset Ωm (w miejscu występowania anomalii grawimetrycznej). Potwierdza to możliwość zalegania wysokooporowych węglanowych osadów dewońskich. Sygnalizowana zbieżność wyników widoczna jest na przekroju przecinającym ww. anomalię w odległości około 3 km na ESE od jej centrum (rysunki 3A i 3B).

Zintegrowana interpretacja pozwoliła na odwzorowanie przebiegu dwóch ważnych powierzchni ograniczających kompleks potencjalnie ropo- i gazonośnych osadów. Od góry jest to strop węglanowych utworów podtrzeciorzędowych (rysunek 2), a od dołu – strop prekambriu. Równie istotne są grawimetryczne i magnetotelluryczne przekroje ilustrujące zmienność litologii i tektonikę ośrodka skalnego.

Uzyskane rezultaty rozszerzają wiedzę na temat perspektyw poszukiwawczych w badanym rejonie. Powinny one w szczególności ułatwić projektowanie dalszych prac sejsmicznych na obszarach wybranych elementów strukturalnych. Są nimi zwłaszcza wyniesienia oraz struktury przydyslokacyjne w strope utworów węglanowych podłoża mezopaleozoicznego.



Rys. 4. Anomalie rezydualne siły ciężkości na podstawie filtracji częstotliwościowej (2D FFT filtr BTWR) dla przedziału głębokości 2÷4 km p.p.m.



Rys. 5. Rozkład oporności elektrycznej opracowany metodą modelowania odwrotnego (inwersji) 2D według NLG na głębokości 3,75 km p.p.m.

Podsumowanie

Na podstawie uzyskanych rezultatów można mówić o korzyściach wynikających z przemysłowej i kompleksowej interpretacji geofizycznej. Dzięki niej uzyskano spójny i stosunkowo wiarygodny model geofizyczno-geologiczny skomplikowanej tektonicznie strefy Karpat. Przemawia to za koniecznością podjęcia na większą skalę zintegrowanych prac interpretacyjnych. W ich ramach jest też miejsce na

reprocessing i reinterpretację wcześniejszych opracowań geofizycznych i geologicznych, jak i na dodatkowe prace uszczegóławiające. Pracom tym przypisany jest jeden cel nadrzędny: opracowanie przestrzennego modelu geofizyczno-geologicznego pozwalającego z większą dokładnością lokalizować nowe otwory wiertnicze, mogące przyczynić się do odkrycia kolejnych złóż węglowodorów w tej strefie.

Prosimy cytować jako: *Nafta-Gaz* 2013, nr 7, s. 507–514

Literatura

- [1] Borkowska L., Fuks-Kopiejka A.: *Opracowanie wyników badań sejsmicznych, temat: Brzesko–Wojnicz*, 2002. Archiwum Geofizyka Kraków Sp. z o.o., Kraków 2002.
- [2] Górecka M.: *Opracowanie badań sejsmicznych wykonanych na terenie: Pilzno–Kowalowy–Brzostek, 1989–1991*. Archiwum Geofizyka Kraków Sp. z o.o., Kraków 1992.
- [3] Górecka M.: *Opracowanie badań sejsmicznych wykonanych, temat: Liplas–Grobla–Żukowice, rejon: Tarnów–Zawada*,

- 1993–1994. Archiwum Geofizyka Kraków Sp. z o.o., Kraków 1994.
- [4] Jakiel M., Radecki M., Jaskólski T.: *Terazniejszość i przyszłość węglowodorów w Polsce*. Polish Journal of Mineral Resources 2004, vol. 8.
- [5] Karnkowski P.: *Przegląd historyczny odkryć złóż ropy naftowej i gazu ziemnego w Polsce*. Przegląd Geologiczny 2004, vol. 52, nr 2.
- [6] Kondracki J.: *Geografia regionalna Polski*. Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., 2002.
- [7] Ochał J., Borowska L.: *Opracowanie wyników badań sejsmicznych, temat: Zawada–Garbek 3D, 1997*. Archiwum Geofizyka Kraków Sp. z o.o., Kraków 1999.
- [8] Ochał J., Przybyło Sz.: *Opracowanie badań sejsmicznych wykonanych w rejonie Tuchów–Kowalowy, 1983–1987*. Archiwum Geofizyka Kraków Sp. z o.o., Kraków 1988.
- [9] Ostrowska K., Stefaniuk M., Targosz P., Wojdyła M.: *Dokumentacja badań grawimetrycznych i magnetotellurycznych w rejonie Tarnawa–Łąka–Czchów, 2005*. Archiwum PBG, Warszawa 2006.
- [10] Ostrowski C., Stefaniuk M., Targosz P., Wojdyła M.: *Dokumentacja badań grawimetrycznych i magnetotellurycznych w rejonie Garbek–Łowczów, 2006*. Archiwum PBG, Warszawa 2006.
- [11] Stefaniuk M., Kuśmierk J.: *Interpretation of the basement roof of the eastern part of Polish Carpathians in the light of magnetotelluric survey and geological premises*. XXXI International Geophysical Symposium, Gdańsk 1986, s. 232–240.
- [12] Stefaniuk M.: *Główne elementy strukturalne podłoża wschodniej części Karpat polskich w świetle badań magnetotellurycznych*. Kwart. AGH Geologia 2001, t. 27, z. 1, s. 127–159.
- [13] Żytka K., Gucik S., Ryłko W., Oszczytko N., Zając R., Garlicka I., Nemčok J., Eliaś M., Menčík E., Dvořák J., Stráňák Z., Rakus M., Matějovská O.: *Geological map of the western Outer Carpathians and their foreland – without Quaternary formations* [w:] Poprawa D. and Nemčok J. (Eds.): *Geological Atlas of the Western Outer Carpathians and their Foreland*. Skala 1:500 000, Warszawa, PIG, 1989.



Mgr inż. Radosław FLOREK
Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo SA,
Oddział Geologii i Eksploatacji w Warszawie,
Biuro w Krakowie
ul. Lubicz 25
31-503 Kraków
E-mail: radoslaw.florek@pgnig.pl



Dr hab. inż. Michał STEFANIUK
Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica,
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska,
Katedra Surowców Energetycznych. Al. A. Mickie-
wicza 30, 30-059 Kraków oraz Przedsiębiorstwo
Badań Geofizycznych Sp. z o.o. ul. Jagiellońska 76,
03-301 Warszawa. E-mail: m_stefaniuk@pbg.com.pl



Mgr inż. Adam KORYCZAN
Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych Sp. z o.o.
ul. Jagiellońska 76
03-301 Warszawa
E-mail: a_koryczan@pbg.com.pl



Mgr inż. Cezary OSTROWSKI
Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych Sp. z o.o.
ul. Jagiellońska 76
03-301 Warszawa
E-mail: c_ostrowski@pbg.com.pl