

Interpretacja i wizualizacja danych otworowych w utworach niższego paleozoiku obszaru kratonu wschodnioeuropejskiego i karbonu podłoża monokliny przedsudeckiej

Michał G. Roman¹



Interpretation and visualization of well data in the lower Palaeozoic of the East European Craton and in the Carboniferous of the Fore-Sudetic Homocline basement. *Prz. Geol.*, 64: 976–981.

Abstract. In order to determine the lithological complexes and to evaluate the prospective shale/tight gas zones, analysis of well data and a multi-well correlation have been performed. Over 30 wells were used for the analysis. Lithostratigraphic units have been verified and correlated in the wells. In some of them, TOC (Total Organic Carbon), effective porosity and lithological profiles have been determined after calibration with the laboratory analysis performed on core samples. Vast majority of the gathered data were visualized in 10 correlation lines.

Keywords: well logging, shale gas, tight gas

W ramach realizacji projektu „Rozpoznanie stref perspektywicznych dla występowania niekonwencjonalnych złóż węglowodorów w Polsce, etap I” zebrano archiwalne i współczesne dane otworowe dotyczące utworów kambru, ordowiku i syluru obniżenia bałtyckiego, podlaskiego i obszaru Lubelszczyzny oraz karbonu podłoża monokliny przedsudeckiej (południowo-zachodnia Polska). Wykonano analizy laboratoryjne i stratygraficzne rdzeni otworów wiertniczych, a także interpretacje archiwalnych pomiarów geofizyki wiertniczej. Uzyskane dane należało zintegrować, przetworzyć i zwizualizować. W tym celu wszystkie dostępne dane otworowe wprowadzono do bazy danych programu Techlog. Głównym celem opisanych poniżej prac było wydzielenie stref perspektywicznych występowania niekonwencjonalnych złóż węglowodorów w wybranych otworach wiertniczych w rejonie badanych obszarów. W artykule przedstawiono wyniki przeprowadzonych badań.

WERYFIKACJA WYDZIELEŃ LITOSTRATYGRAFICZNYCH

Pierwszym zadaniem analizy profilowań geofizyki wiertniczej była weryfikacja wydzielen litostratigraficznych w wybranych otworach na obszarach badań. Z uwagi na różny sposób określania głębokości granic stratygraficznych i litostratigraficznych w Centralnej Bazie Danych Geologicznych (CBDG) (w zależności od dostępności danych są to wydzielenia oparte na mierze wiertniczej lub geofizycznej), a także stosowanie nieaktualnych lub nieformalnych wydzielen litostratigraficznych (bądź ich braku dla perspektywicznych interwałów), niezbędna okazała się weryfikacja i ujednoczenie tych danych.

Dla otworów z rejonu bałtyckiego, podlaskiego i lubelskiego weryfikacja ta była przeprowadzona w następujący sposób (Roman & Podhalańska, 2016):

1. Zebrano dostępne dane dotyczące wydzielen litostratigraficznych w wybranych otworach. Dane te pochodziły z CBDG, z przeprowadzonych na potrzeby

projektu profilowań rdzeni wiertniczych oraz dostępnej literatury przedmiotu zamieszczonych w serii Profile Głębokich Otworów Wiertniczych Państwowego Instytutu Geologicznego, a także artykułach naukowych (m.in. Podhalańska, 1980, 2009; Modliński, 1984, 2010; Tomczyk, 1990; Modliński & Szymański, 1997; Paczeńska & Poprawa, 2005; Modliński i in., 2006). Dane pochodziły także z dokumentacji i materiałów roboczych dotyczących nowych otworów, udostępnionych przez niektóre firmy na potrzeby realizacji projektu;

2. Sprowadzono wszystkie otwory do głębokości wyznaczonej wg miary geofizycznej odniesionej do poziomu terenu;

3. Zweryfikowano dane stratygraficzne (Roman & Podhalańska, 2016) zebrane w pkt. 1 i wprowadzono do programu;

4. Zwizualizowano kompozytowe profilowania średnicy, naturalnej promieniotwórczości i oporności, a gdy było to konieczne również profilowanie neutron-gamma dla wybranych otworów wiertniczych. Zestawiono je ze zweryfikowanymi wydzieleniami stratygraficznymi;

5. Na podstawie karotaży zweryfikowano zgodność anomalii geofizycznych z litologią właściwą dla odpowiednich wydzielen litostratigraficznych. Referencyjną krzywą głębokości przy wyznaczaniu litologii było kompozytowe profilowanie gamma (profilowanie powstałe przez połączenie odcinkowych pomiarów, dostępne w zasobach CBDG). Ponadto korzystano, w miarę potrzeb, ze wszystkich dostępnych dla danej głębokości pomiarów. Tam gdzie badania stratygraficzne przeprowadzone w ramach projektu wykazały taką konieczność, wprowadzono zmiany głębokości tych wydzielen lub/i uzupełniono brakujące wydzielenia;

6. Zweryfikowano podziały chronostratygraficzne kambru, ordowiku i syluru oraz określono wiek jednostek litostratigraficznych w poszczególnych otworach (Paczeńska i in., 2016; Podhalańska & Paczeńska, 2016).

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; michal.roman@pgi.gov.pl.

W trakcie weryfikacji napotkano różne problemy wynikające z nieścisłości wydzieleni stratygraficznych pochodzących z różnych źródeł. Było to spowodowane m.in.:

- różnym czasem tworzenia tych wydzieleni (inny sposób podziału);

- wyznaczaniem granic na podstawie różnych domen głębokościowych (wiertniczej/geofizycznej);

- nie pokrywaniem się głębokości wydzieleni ustalonych w czasie wiercenia otworu za pomocą geofizyki wiertniczej ze współcześnie ustalonymi głębokościami na podstawie cyfrowych wersji pomiarów (możliwe błędy generowane podczas archiwizacji materiałów analogowych – ozalidów, oraz ich cyfrowania; w przypadku nieostrych granic litologicznych, powodem mógł być również subiektywizm przy wyznaczaniu głębokości takich granic);

- błędami w wykorzystywanych publikacjach.

OBLICZENIE PROFILI CAŁKOWITEJ ZAWARTOŚCI WĘGLA ORGANICZNEGO (TOC)

Obliczenia profili TOC zostały wykonane przez:

a) INiG-PIB – metodą CARBOLOG (Carpantier i in., 1991; Gašior & Reicher, 2014b) dla 16 otworów: Busówno IG 1, Gdańsk IG 1, Krowie Bagno IG 1, Malbork IG 1, Marcinki IG 1, Niestępowo 1, Objezierze IG 1, Polik IG 1, Siciny IG 1, Terebin IG 5, Tuszcz IG 1, Więcki IG 1, Września IG 1, Żarnowiec IG 4, Narol IG 1, Narol PIG 2 (dwa ostatnie ze strefy Biłgoraj–Narol). Metoda CARBOLOG polega na estymacji TOC za pomocą profilowania oporności i akustycznego. W przypadku braku dostępu do pomiarów akustycznych, estymowano je za pomocą sieci neuronowych na podstawie innych pomiarów karotażowych dostępnych w otworze (Gašior & Reicher, 2014a). Wyniki interpretacji wraz z pełnym opisem metodyki są zawarte w opracowaniu Korelacja... (2015).

b) PIG-PIB – zmodyfikowaną metodą Heslopa (Heslop, 2010) dla 4 otworów: Hel IG 1, Gdańsk IG 1, Darżlubie IG 1 oraz metodą Passey'a (Passey, 1990) dla otworu Żarnowiec IG 1. Metoda ta polega na skorelowaniu wielkości rozejścia się krzywych odwróconej oporności i gamma (wyrażonych w odpowiednich skalach, przesuniętych tak, żeby w nieperspektywnym łupkowym interwale krzywe te się pokrywały) z TOC oznaczonego na próbkach rdzenia (Roman & Instytut Nafty i Gazu-PIB, 2016).

c) PGNiG – dla nowych otworów Borec 1(B 1), Kochanowo 1 (K 1), Lubocino 1 (L 1), Wysin 1 (W 1) i (Lubycza Królewska 1 (LK 1) uzyskano na potrzeby realizacji projektu po dwie interpretacje profilu TOC. Wykonano je metodą Passey'a (korelacja TOC z rozejściem się krzywych odwróconej oporności i porowatości neutronowej/gęstości/czasu interwałowego, wyrażonych w odpowiednich skalach, przesuniętych tak, żeby w nieperspektywnym łupkowym interwale krzywe te się pokrywały) i na podstawie pomiarów sondą geochemiczną GEM.

Uzyskane tymi metodami profile TOC zamieszczono na rycinie 1A, B i 2 w kolumnach TOC.

WIZUALIZACJA DANYCH I WYDZIELENIE STREF PERSPEKTYWICZNYCH (SP) DLA OBSZARU BAŁTYCKIEGO I PODLASKO-LUBELSKIEGO

Dla obszarów bałtyckiego i podlasko-lubelskiego wydzielenie stref perspektywicznych SP1, SP2 i SP3 odpowiada

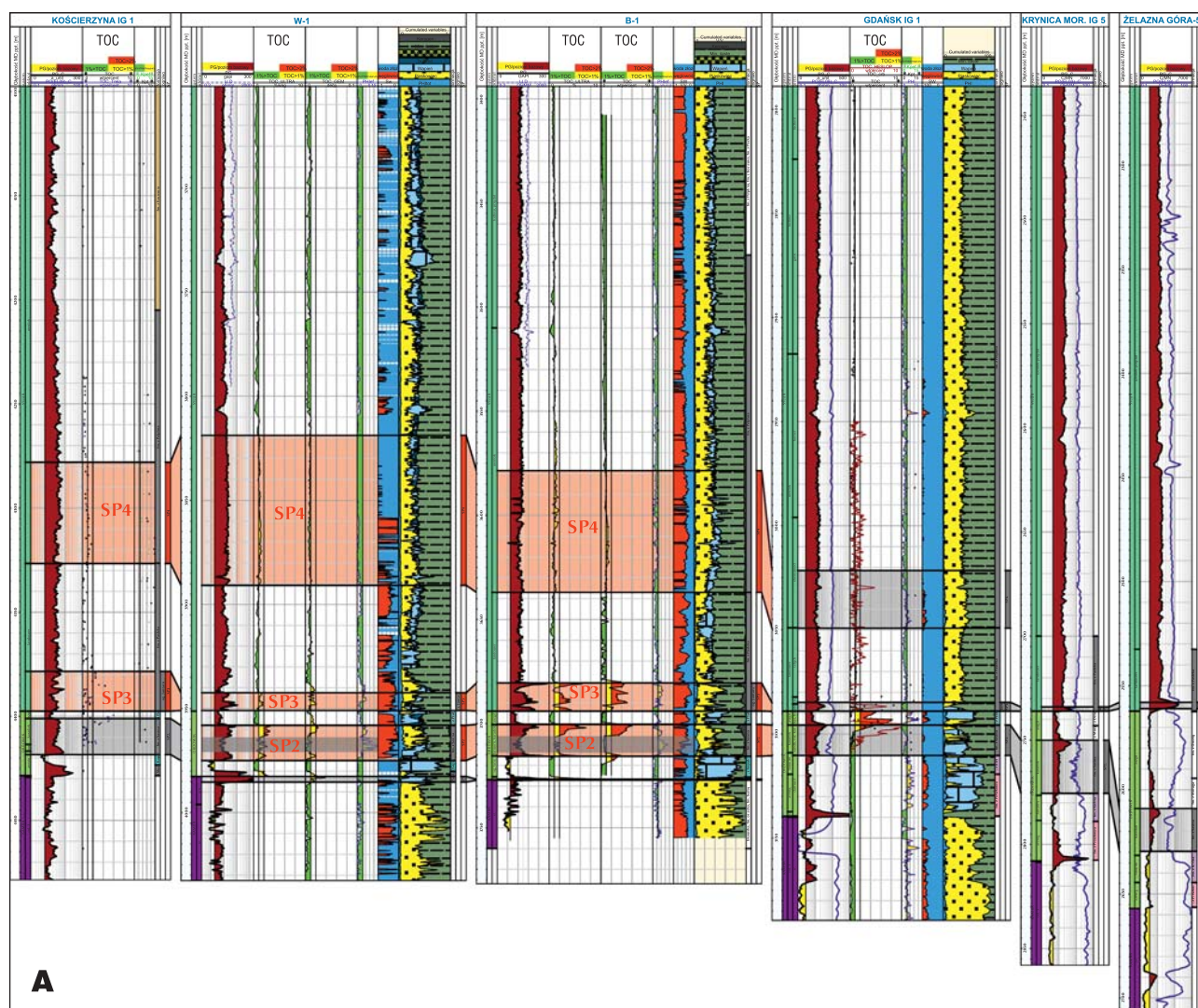
wydzieleniom litostratygraficznym kolejno: formacji z Piaśnicy, z Sasina i ogniwa z Jantaru. Wyjątkiem była SP4 wydzielona w dolnej części osadów wenloku – jej strop był wyznaczany na podstawie zawartości TOC. Za punkt odciążenia dla tej analizy przyjęto graniczną wartość 1% wag. TOC. W pierwszej kolejności takiego wydzielenia dokonano na podstawie wyników analiz karotaży dających ciągły profil TOC w analizowanym odcinku (Korelacja..., 2015; Roman & INiG-PIB, 2016). Jeśli było to możliwe, korzystano z wersji skalibrowanej do pomiarów TOC na próbkach; gdy wyniki interpretacji karotaży nie były dostępne, korzystano z oznaczeń laboratoryjnych. W przypadku braku zgodności między profilami TOC obliczonymi na podstawie interpretacji karotaży i badań laboratoryjnych, kiedy dysponowano dużą liczbą oznaczeń na próbkach, korzystano tylko z tych oznaczeń. Przy wyznaczaniu górnej granicy SP4, przyjęto założenie, że wkładki skalne o zawartości TOC <1% również mogą być włączone do strefy perspektywicznej (SP), o ile powyżej nich znajdują się miąższe interwały o zawartości TOC wynoszącej co najmniej 1% wagowy.

Dla każdej wydzielonej strefy perspektywicznej sprawdzono zgodność oznaczeń laboratoryjnych z przyjętymi kryteriami perspektywiczności (por. Podhalańska i in., 2016a), a następnie wydzielone strefy perspektywiczne skorelowano pomiędzy sąsiednimi otworami. Rozmieszczenie linii, według których przeprowadzono takie korelacje przedstawia rycina 1 zamieszczona w Podhalańska i in., 2016b, a przykładowe korelacje są przedstawione na rycinie 1A i B.

WIZUALIZACJA DANYCH I WYDZIELENIE STREF PERSPEKTYWICZNYCH (SP) DLA BASENU KARBOŃSKIEGO POŁUDNIOWO-ZACHODNIEJ POLSKI

Dla osadów basenu karbońskiego południowo-zachodniej Polski, z powodu skomplikowanej budowy tektonicznej i trudności w interpretacji stratygraficznej utworów, korelacja międzyotworowa jest znacznie utrudniona, w związku z czym skupiono się na stworzeniu warstwowych modeli ośrodka skalnego. Opierając się na profilowaniu gamma i laboratoryjnych oznaczeniach składu mineralnego, obliczono ciągły profil zailenia, na podstawie którego wyznaczono warstwy litologiczne (piaskowców, mułowców i iłowców). Posiłkując się opisami litologicznymi rdzeni oraz analizą karotaży, warstwy te połączono w większe kompleksy litologiczne (Waksmundzka & Becker, 2016). Następnie, biorąc pod uwagę oznaczenia laboratoryjne, analizowane je pod kątem ich perspektywiczności. Charakter wydzielonych stref perspektywicznych (np. typu *tight gas*) był ustalony na podstawie litologii kompleksów skalnych. W przypadku nie spełnienia któregoś z założonych kryteriów (por. Podhalańska i in., 2016a) kompleksy były uznawane za nieperspektywiczne.

Nieco inną metodykę wyznaczenia stref perspektywicznych zastosowano w otworze Siciny IG 1, w którym, ze względu na dużą ilość danych otworowych, była możliwa bardziej kompleksowa i obciążona mniejszym ryzykiem analiza. W tym odwiercie do wyznaczania stref posłużono się w znacznej mierze wynikami interpretacji geofizyki wiertniczej skorelowanymi z oznaczeniami na próbkach. Do analizy posłużyły wyinterpretowane krzywe: porowatości efektywnej PH_{ief}, objętościowej zawartości piaskowców i zailenia obliczone za pomocą programu ANALIT



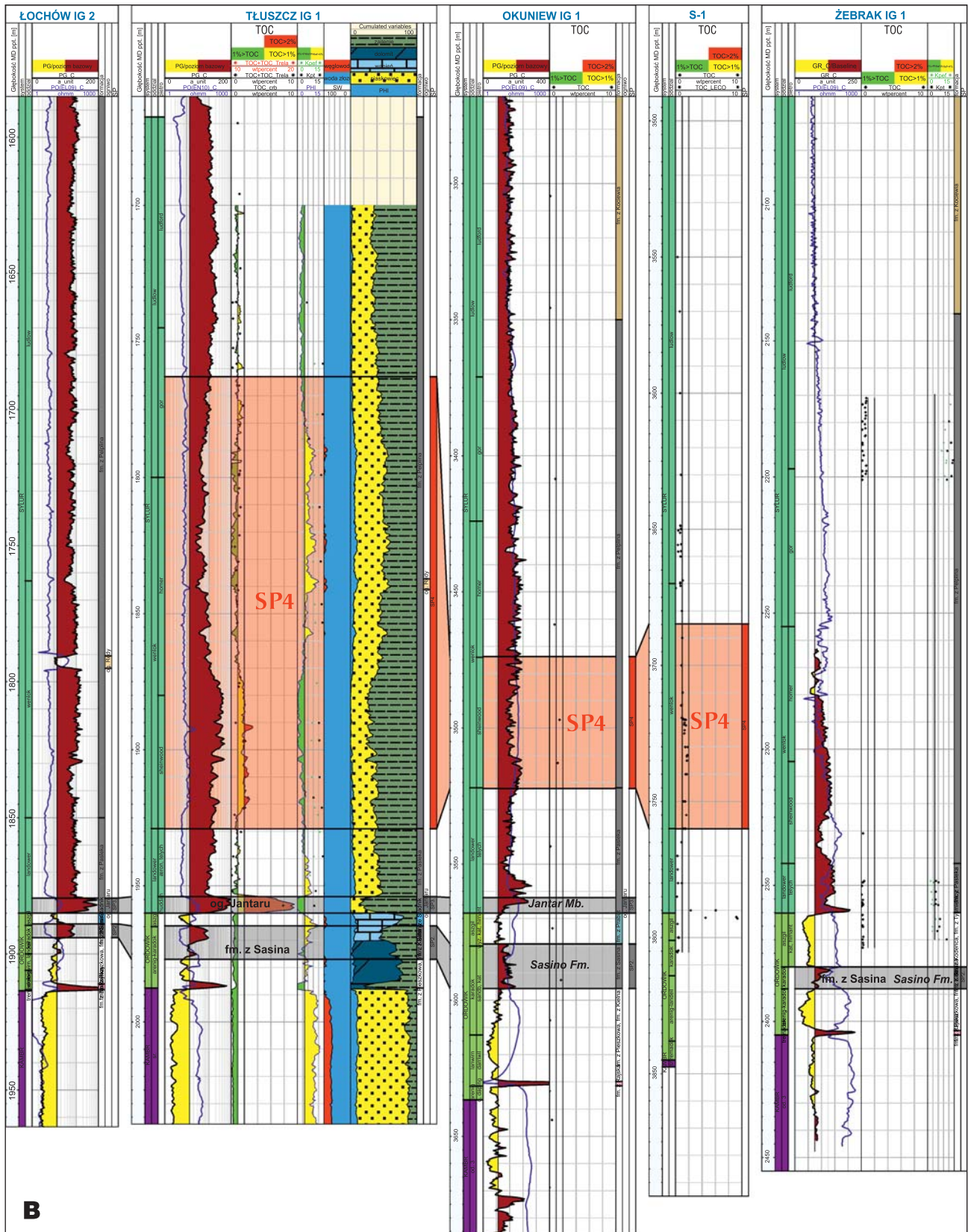
Ryc. 1. Profile korelacyjne dla rejonu bałtyckiego (A) i podlasie-lubelskiego (B). W miarę dostępności danych, w każdym otworze zachowano następujący porządek kolumn (od lewej do prawej): chronostratygrafia, profilowanie gamma i oporności, oznaczenia laboratoryjne oraz obliczone profile TOC, oznaczenia laboratoryjne i profilowania porowatości efektywnej oraz całkowitej, nasycenie przestrzeni porowej (czerwony – węglowodory, niebieski – woda złożowa), objęściowy model litologiczno-porowatościowy, litostratygię, wydzielone strefy perspektywiczne. Poziom bazy dla profilowania gamma przyjęto na 75 API dla nowych otworów ze skalibrowanym pomiarem (W 1 i B 1), dla archiwalnych – poziom bazy ustalono indywidualnie dla każdego otworu, tak żeby ułatwić korelację międzyotworową. W przypadku krzywych/oznaczeń TOC i porowatości efektywnej w kolumnie dodano linie bazy o wartościach równych przyjętym kryteriom perspektywiczności. W przypadku profilowań, spełnianie zadanych kryteriów podkreślono kolorem wypełnienia (wypełnienie przestrzeni pomiędzy prostą przyjmującą wartość przyjętego kryterium, a krzywą będącą interpretacją profilu danego parametru): czerwonym – bardziej rygorystyczne kryteria, żółtym – mniej rygorystyczne, zielonym – nie spełnia kryteriów. Wydzielone strefy perspektywiczne (SP2, SP3, SP4) zaznaczono w postaci czerwonego podświetlenia pod krzywymi, w podobny sposób szarym kolorem zaznaczono warstwy, które nie spełniły wszystkich kryteriów perspektywiczności. Profile Wysin 1 (W 1) i Borecz 1 (B 1) zamieszczono za zgodą PGNiG SA

Fig. 1. Correlation profiles for the Baltic (A) and Podlasie-Lublin (B) regions. Depending on available data for each borehole, the columns were segregated in the following order (from left to right): chronostratigraphy, gamma ray and resistivity, laboratory analysis and TOC profile, laboratory analysis and effective and total porosity profiles, content of the porous media (red – hydrocarbon saturation, blue – water saturation), volumetric model of the lithology and porosity, lithostratigraphy, prospective zones. Baseline for the gamma ray measurements is set at 75 API for the new wells with calibrated measurements (W 1 and B 1), for the archived boreholes the baseline is set individually in order to facilitate the multi-well correlation. In the TOC and effective porosity columns, baselines connected with the prospectivity criteria are added. The space between the profiles and baselines is filled with colour (red – more stringent criteria, yellow – less stringent criteria, green – below the criteria). The separated prospective zones (SP2, SP3 and SP4) are highlighted in red, the zones that do not meet all the prospectivity criteria are highlighted in grey. Wysin 1 (W 1) and Borecz 1 (B 1) profiles are presented after agreement of PGNiG SA

(Opracowanie..., 2015) i wagowego udziału TOC, obliczonego metodą CARBOLOG (Roman & INiG-PIB, 2016). Po zestawieniu odpowiednich profilowań, analizowano spełnienie kryteriów perspektywiczności dla ww. parametrów z krokiem próbkowania 25 cm (jest to krok próbkowania

wejściowych krzywych). Sprawdzano spełnienie kryteriów w kolejności od najbardziej rygorystycznych, tj.:

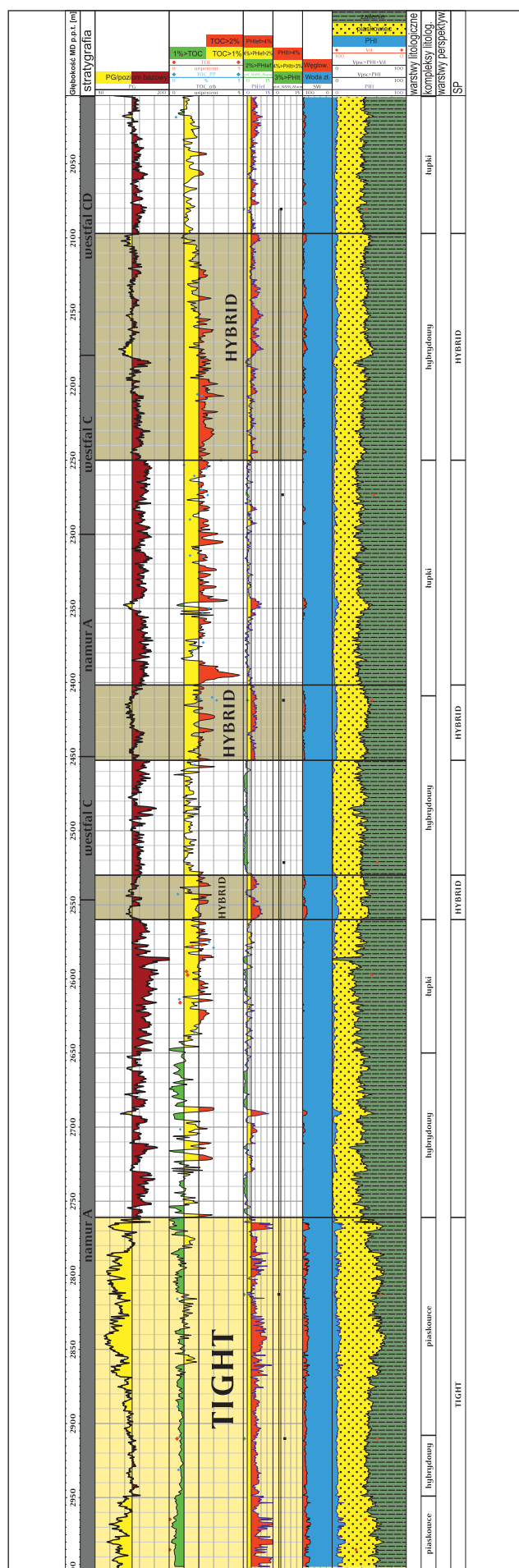
- 1) dla gazu z łupków o TOC >2% (PH_{lef} >4%, zailenie <60%, zawartość piaskowców >10%),
- 2) dla gazu z łupków o TOC z przedziału 1–2% (jw.),



3) spełnienie kryteriów dla gazu zamkniętego (PHI_{ief} >2%, zailenie <55%)

Kryteria te są zgodne z przyjętymi i prezentowanymi w artykule Podhalańskiej i in. (2016b). Otrzymany wynik analizy przedstawiony jest w kolumnie „warstwy perspektywiczne” na rycinie 2. Następnie, na podstawie

danych litologicznych (kompleksy litologiczne i ich opis) oraz kryterium miąższości wydzielono ostateczne strefy perspektywiczne typu *tight gas* (gaz zamknięty) i strefy o charakterze mieszanym ilasto-piaskowcowe, tzw. *hybrid*, co przedstawia kolumna SP oraz zaznaczenie kolorem (ryc. 2.)



Ryc. 2. Zestawienie danych dla otworu Siciny IG 1 z rejonu basenu karbońskiego SW Polski. Opis poszczególnych kolumn jak dla ryc. 1A i B, poza litostratygrafia – z uwagi na brak podstaw geologicznych do jej wyznaczenia została ona zastąpiona przez warstwy i kompleksy litologiczne oraz warstwy perspektywiczne

←

WNIOSKI

Na podstawie wydzielonych w wyżej opisany sposób stref perspektywicznych konstruowano mapy ich miąższości i zasięgów (ryc. 2–5 w Podhalańska i in., 2016b). Dla basenu karbońskiego wskazane wydaje się stosowanie metodyki wyznaczania stref perspektywicznych podobnej do tej użytej w otworze Siciny IG 1 z wykorzystaniem jak największej liczby ciągłych profili porowatości, zawartości TOC, zailenia czy innych parametrów uwzględnianych w przyjętych kryteriach perspektywiczności. Typowanie stref perspektywicznych na podstawie nielicznych oznaczeń laboratoryjnych jest obciążone dużym ryzykiem błędu co do jakości i granic wydzielen stratygraficznych.

Autor składa podziękowania anonimowemu Recenzentowi za cenne i wnikliwe uwagi. Opracowanie danych geofizyki wiertniczej wykonano m.in. w programie Techlog, który został udostępniony PIG-PIB przez Schlumberger Information Solutions w celu prowadzenia prac naukowo-badawczych. Praca została wykonana częściowo na podstawie danych z nowych otworów wiertniczych udostępnionych przez PGNiG SA, Chevron Polska Energy Resources Sp. z o.o., Lotos Petrobaltic SA, ExxonMobil Exploration and Production Poland Sp. z o.o., RWE Dea Polska Sp. z o.o.

LITERATURA

- CARPANTIER B., HUC A.Y. & BESSEREAU G. 1991 – Wireline logging and source rocks – estimation of organic carbon content by the Carbolog method. *The Log Analyst*, 32: 279–297.
- GAŚSIOR I. & REICHER B. 2014a – Estymacja czasu interwałowego z profilowań geofizyki otworowej metodą sieci neuronowych. *Nafta-Gaz*, 70: 765–770.
- GAŚSIOR I. & REICHER B. 2014b – Ocena zawartości materii organicznej w profilu osadów kambryjsko-sylurskich obszaru platformy prekambryjskiej na podstawie profilowań geofizycznych metodą CARBOLOG. *Nafta-Gaz*, 70: 881–890.
- HESLOP K.A. 2010 – Generalized Method for the Estimation of TOC from GR and Rt. AAPG Annual Convention and Exhibition. New Orleans, Louisiana.
- KORELACJA wyników pomiarów geofizyki otworowej z wynikami pomiarów przeprowadzonych na rdzeniu wiertniczym, kalibracja profilowań geofizycznych na podstawie wyników analiz laboratoryjnych. INiG-PIB, 2015. [W:] Podhalańska T. (red.), *Rozpoznanie stref perspektywicznych dla występowania niekonwencjonalnych złóż węgłowodórów w Polsce, etap I*, 2016. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- MODLIŃSKI Z. 1984 – Stratygrafia potremadockich osadów ordowiku Lubelszczyzny. *Kwart. Geol.*, 28 (1): 1–16.
- MODLIŃSKI Z. (red.) 2010 – Atlas map paleomiąższościowo-paleolito-facjalnych paleozoiku podpermskiego kratonu wschodnioeuropejskiego w Polsce i na obszarach sąsiednich. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MODLIŃSKI Z. & SZYMAŃSKI B. 1997 – The Ordovician lithostratigraphy of the Peribaltic Depression (NE Poland). *Geol. Quart.*, 41 (3): 273–288.

MODLIŃSKI Z., SZYMAŃSKI B. & TELLER L. 2006 – Litostratygrafia syluru polskiej części obniżenia perybałtyckiego – część lądowa i morska (N Polska). *Prz. Geol.*, 54 (9): 787–796.

OPRACOWANIE informacji geologicznej zawierającej charakterystykę zmienności składu mineralnego, geochemicznego i petrofizycznych właściwości skał na podstawie badań laboratoryjnych oraz oceny ich macierzystości przeprowadzonej na podstawie analizy pomiarów geofizyki otworowej i ich korelacji z wynikami analiz przeprowadzonych w rdzeniu wiertniczym w oparciu o analizy z 1 otworu wiertniczego oraz rozszerzenie informacji geologicznej o kompleksową analizę profilowań geofizycznych w 4 otworach wiertniczych. INiG-PIB, 2015. [W:] Podhalańska T. (red.), Rozpoznanie stref perspektywicznych dla występowania niekonwencjonalnych złóż węgłowodórów w Polsce, etap I, 2016. *Nar. Arch. Geol. PIB-PIB*, Warszawa.

PACZEŚNA J., PODHALAŃSKA T. & MODLIŃSKI Z. 2016 – Analiza litologiczno-stratygraficzna – obszar bałtycki (BO-SNE). [W:] Podhalańska T. (red.), Rozpoznanie stref perspektywicznych dla występowania niekonwencjonalnych złóż węgłowodórów w Polsce, etap I. *Nar. Arch. Geol. PIB-PIB*, Warszawa.

PACZEŚNA J. & POPRAWA P. 2005 – Eustatic versus tectonic control on the development of Neoproterozoic and Cambrian stratigraphic sequences of the Lublin-Podlasie Basin (SW margin of Baltica). *Geosci. J.*, 9: 117–127.

PASSEY Q.R., CREANEY S., KULLA J.B., MORETTI F.J. & STROUD J.D. 1990 – A practical model for organic richness from porosity and resistivity logs. *Amer. Assoc. Petrol. Geologists Bull.*, 74: 1777–1794.

PODHALAŃSKA T. 1980 – Stratigraphy and development of Middle and Upper Ordovician deposits in the Łeba Elevation (NW Poland). *Acta Geol. Pol.*, 30 (4): 327–390.

PODHALAŃSKA T. 2009 – Późnoordowickie zlodowacenie Gondwany – zapis zmian środowiskowych w sukcesji osadowej obniżenia bałtyckiego. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 193.

PODHALAŃSKA T. & PACZEŚNA J. 2016 – Analiza litologiczno-stratygraficzna – obszar podlasko-lubelski (BO-SSE). [W:] Podhalańska T. (red.), Rozpoznanie stref perspektywicznych dla występowania niekonwencjonalnych złóż węgłowodórów w Polsce, etap I. *Nar. Arch. Geol. PIB-PIB*, Warszawa.

PODHALAŃSKA T., WAKSMUNDZKA M., BECKER A. & ROSZKOWSKA-REMIN J. 2016a – Rozpoznanie stref perspektywicznych dla występowania niekonwencjonalnych złóż węgłowodórów w Polsce – nowe wyniki oraz dalsze kierunki badań. *Prz. Geol.*, 64 (12): 953–962

PODHALAŃSKA T., WAKSMUNDZKA M., BECKER A., ROSZKOWSKA-REMIN J., DYRKA I., FELDMAN-OLSZEWSKA A., GŁUSZYŃSKI A., GROTEK I., JANAS M., KARCIŃSKI P., NOWAK G.J., PACZEŚNA J., ROMAN M.G. & SOBIEŃ K. 2016b – Strefy perspektywiczne dla występowania niekonwencjonalnych złóż węgłowodórów w kambryjskich, ordowickich, sylurskich i karbońskich kompleksach skalnych Polski – integracja wyników badań. *Prz. Geol.*, 64 (12): 1008–1021.

ROMAN M.G. & INSTYTUT NAFTY I GAZU-PIB 2016 – Korelacja wyników pomiarów geofizyki otworowej z wynikami pomiarów przeprowadzonych na rdzeniach, kalibracja profilowań geofizycznych na podstawie wyników laboratoryjnych. [W:] Podhalańska T. (red.), Rozpoznanie stref perspektywicznych dla występowania niekonwencjonalnych złóż węgłowodórów w Polsce, etap I. *Nar. Arch. Geol. PIB-PIB*, Warszawa.

ROMAN M. G. & PODHALAŃSKA T. 2016 – Weryfikacja profili stratygraficznych w rejonach BO-SNE-i BO-SSE. [W:] Podhalańska T. (red.), Rozpoznanie stref perspektywicznych dla występowania niekonwencjonalnych złóż węgłowodórów w Polsce, etap I. *Nar. Arch. Geol. PIB-PIB*, Warszawa.

TOMCZYK H. 1990 – Sylur [W:] Budowa geologiczna Polski, tom 3. Atlas skamieniałości przewodnich i charakterystycznych, cz. 1a, Paleozoik starszy (z proterozoikiem górnym). *Wyd. Geol.*, Warszawa: 272–279.

WAKSMUNDZKA M.I. & BECKER A. 2016 – Charakterystyka wydzieleni litofacjalnych i kompleksów litologicznych obszaru SW Polski (BKSW). [W:] Podhalańska T. (red.), Rozpoznanie stref perspektywicznych dla występowania niekonwencjonalnych złóż węgłowodórów w Polsce, etap I. *Nar. Arch. Geol. PIB-PIB*, Warszawa.



Spirograptus turriculatus Barrande, mułowiec, formacja z Pasłęka, sylur, landower. Fot. T. Podhalańska



Oktavites spiralis (Geinitz), formacja z Pasłęka, sylur, landower. Fot. T. Podhalańska



Mułowiec laminowany soczewkowo z wtórną zabarwioną siecią roślinną, karbon, westfal, Siciny IG 1. Fot. A. Becker



Zlepieniec piaszczysty o malejącym uziarnieniu frakcjonalnym, karbon, namur A, Siciny IG 1. Fot. M.I. Waksmundzka