

Irena Gąsior

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Beata Reicher

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska

Ocena zawartości materii organicznej w profilu osadów kambryjsko-sylurskich obszaru platformy prekambryjskiej na podstawie profilowań geofizycznych metodą CARBOLOG

Celem pracy jest ilościowa ocena zawartości węgla organicznego (TOC % wag.) w osadach kambru, ordowiku i syluru na platformie prekambryjskiej. Przeprowadzono ciągłą analizę w profilach 6 wierceń na obszarze basenu bałtyckiego oraz 4 wierceń basenu podlasko-lubelskiego. Do ciągłej oceny parametru TOC w profilach wierceń zastosowano metodę CARBOLOG, wykorzystującą profilowania geofizyki otworowej w 10 otworach wiertniczych, oraz archiwalne wyniki badań laboratoryjnych zawartości węgla organicznego uzyskane w 8 odwiertach z analizy pirolitycznej Rock-Eval oraz LECO. Analiza wyników interpretacji metodą CARBOLOG pozwoliła stwierdzić, że najwyższym potencjałem macierzystości charakteryzują się utwory syluru dolnego, ordowiku i górnego kambru w rejonie basenu bałtyckiego oraz utwory syluru dolnego w rejonie basenu podlasko-lubelskiego. W przedstawionej analizie porównawczej parametru TOC uzyskanego laboratoryjnie oraz z profilowań geofizycznych metodą CARBOLOG otrzymano wysoki współczynnik determinacji ($R^2 = 0,94$), co świadczy o dobrym poziomie dopasowania danych laboratoryjnych TOC do danych otworowych. Potwierdza to poprawność zastosowanej w niniejszej pracy metody CARBOLOG.

Słowa kluczowe: materia organiczna, platforma prekambryjska, CARBOLOG.

Assessment of organic matter content in the profile of Cambrian and Silurian sediments in Precambrian platform area on the basis of geophysical logs using the carbolog method

The aim of the paper is a quantitative assessment of organic carbon content (TOC % weight) in the Cambrian, Ordovician and Silurian sediments in the Precambrian platform. Continuous analysis was made in the profiles of six boreholes in the Baltic Sea and four boreholes in the Podlasie–Lublin basin. The CARBOLOG method was used for continuous evaluation of TOC parameters in the borehole profiles. The method applied the logs of borehole geophysics in ten boreholes and archival results of laboratory tests for organic carbon content obtained in eight boreholes from the Rock-Eval pyrolytic analysis and LECO. The analysis of interpretation obtained by results using the CARBOLOG method allowed to state that the highest source potential is typical of the deposits of lower Silurian, Ordovician and upper Cambrian in the region of the Baltic basin and deposits of the lower Silurian in the Podlasie–Lublin basin. In the presented comparative analysis of the TOC parameter obtained in laboratory tests and in geophysical logs using the CARBOLOG method, a high coefficient of determination was obtained ($R^2 = 0,94$), which attests to a proper level of matching the TOC laboratory data to the borehole data. This confirms the correctness of the CARBOLOG method applied in this paper.

Key words: organic matter, precambrian platform, CARBOLOG method.

Wprowadzenie

Najczęściej stosowanymi sposobami określenia zawartości substancji organicznej na podstawie danych otworowych są metody: Pässeya [5, 6, 10] i CARBOLOG [2, 3, 4, 11, 12].

Celem analizy była ilościowa ocena zawartości węgla organicznego (TOC), z wykorzystaniem metody CARBOLOG, w osadach dolnego paleozoiku na obszarze lądowym platformy prekambryjskiej. Dotychczasowe wartości tego parametru znane są jedynie z interwałów rdzeniowych i pochodzą z badań laboratoryjnych próbek rdzeni przeprowadzonych metodami Rock-Eval oraz LECO. Analizę

wykonano w 10 wytypowanych wierceniach: 6 na obszarze basenu bałtyckiego oraz 4 w basenie podlasko-lubelskim. W artykule zaprezentowano wyniki dla jednego wiercenia z obszaru basenu bałtyckiego (M_IG-1) oraz dwóch wierceń z basenu podlasko-lubelskiego (S_IG-1 i T-2). Profilowania geofizyki otworowej zostały udostępnione przez PGNiG SA w Warszawie, a wyniki pomiarów laboratoryjnych zawartości TOC zestawiono z publikowanymi [9, 14] oraz archiwalnych projektów AGH w Krakowie i PIG – PIB w Warszawie w ramach realizacji Projektu Rozwojowego nr N R09 0004 06.

Podstawy teoretyczne metody CARBOLOG

Metoda CARBOLOG oparta jest na dwóch konwencjonalnych profilowaniach: akustycznym (PAdt) i oporności (PO) oraz na podstawowych modelach interpretacyjnych Wylliego i Archiego, opisujących zjawiska fizyczne zachodzące w ośrodku skalnym. Dla oznaczenia zawartości węgla organicznego TOC wykreśla się wykres krzyżowy: $1/\sqrt{Rt} = f(\Delta T)$ na podstawie danych geofizyki wiertniczej, gdzie: Rt – oporność właściwa skały, ΔT – czas interwałowy fali akustycznej w skale (rysunek 1).

Na wykresie tym zaznacza się punkty o współrzędnych odpowiadających podstawowym składnikom skały (woda, szkielet skały, il, substancja organiczna), przy czym o ile parametry dotyczące wody złożowej są najczęściej znane, to dla szkieletu skały i substancji organicznej podlegają one wyznaczeniu. Poprzez punkty zlokalizowane na wykresie krzyżowym najbardziej na lewo, odpowiadające skałom o najmniejszej zawartości węgla organicznego V_{TOC} , przeprowadza się prostą a , przecinającą oś ΔT w punkcie ΔT_{sz} [2, 3, 4]. Prosta ta, o nachyleniu charakterystycznym dla serii stratygraficznej w basenie sedymentacyjnym, stanowi

początek skały, według której liczona jest zawartość objętościowa V_{TOC} .

Równanie prostej a ma postać:

$$x = m \cdot y + b \tag{1}$$

gdzie:

$$m = (\Delta T_w - \Delta T_{szk}) / (1/R_w^{0.5} - 0), b = \Delta T_{sz} \tag{2}$$

gdzie:

ΔT_{szk} , ΔT_w – czasy interwałowe fali akustycznej w szkielecie skały, w wodzie,

R_w – elektryczna oporność właściwa wody.

Dla danego punktu (A, B) o współrzędnych odpowiadających wartościom z krzywej PAdt i $1/\sqrt{Rt}$ odległość odcinka z (równoległego do osi X) ma postać:

$$z = A - (m \cdot B + b) \tag{3}$$

Uwzględniając powyższe równania, wzór na zawartość węgla organicznego V_{TOC} przyjmuje postać:

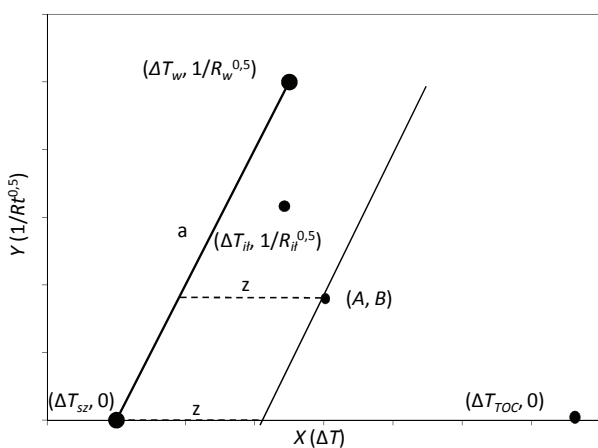
$$V_{TOC} = 100 \cdot z / (\Delta T_{TOC} - \Delta T_{sz}) [\%] \tag{4}$$

$$V_{TOC} = 100 \cdot (A - mB - \Delta T_{sz}) / (\Delta T_{TOC} - \Delta T_{sz}) [\%] \tag{5}$$

Określenie czasu interwałowego ΔT_{TOC} (przy 100% zawartości substancji organicznej) wymaga kalibracji, opartej na pomiarach laboratoryjnych. Im większą ilością wyników laboratoryjnych się dysponuje, z tym większą dokładnością można szacować potencjał macierzystości skał.

Tak więc obliczanie parametru TOC metodą CARBOLOG opiera się na teoretycznym równaniu obejmującym tylko trzy parametry: czas interwałowy substancji organicznej (ΔT_{TOC}), czas interwałowy szkieletu skały (ΔT_{sz}) i nachylenie prostej a .

Przy opracowywaniu metody CARBOLOG jej autorzy dokonali szeregu założeń, m.in.:



Rys. 1. Wykres krzyżowy: $1/\sqrt{Rt} = f(\Delta T)$, służący do wyznaczenia parametru TOC [3, 12]

- substancja organiczna i szkielet skały nie przewodzą prądu elektrycznego,
- zmiany ilościowe i jakościowe w składzie mineralnym skały są nieznaczne, a zatem wpływ zmian parametrów szkieletu skały na profilowanie akustyczne jest mały. Założenie to narzuca konieczność prowadzenia interpretacji w ściśle określonych interwałach głębokościowych, w których zarówno na podstawie kompleksowej interpretacji profilowań, jak i badań mineralogicznych rdzeni stwierdza się zbliżoną budowę strukturalną, teksturalną i skład mineralny skały,
- woda złożowa w interpretowanym interwale charakteryzuje się względnie stałą mineralizacją. W przypadku występowania wód słodkich, o bardzo dużej oporności właściwej, uzyskane wyniki mogą być niejednoznaczne,
- istnieje tylko jeden punkt węzłowy ΔT_{TOC} dla analizowanego interwału skał osadowych, odpowiadający substancji organicznej danego typu i o danym stopniu dojrzałości.

Aby można było porównywać wyniki interpretacji profilowań geofizycznych przy wykorzystaniu aplikacji CARBOLOG w aspekcie oceny zawartości węgla organicznego (V_{TOC} w % obj.) z danymi laboratoryjnymi (TOC w % wag.), należy dokonać odpowiednich przeliczeń, według następującego wzoru:

$$TOC = V_{TOC} \cdot (d_{TOC}/d) 1/k$$

gdzie:

TOC – zawartość węgla organicznego [% wag.],

V_{TOC} – objętość węgla organicznego w jednostce objętości skały [% obj.],

d_{TOC} – gęstość ww. substancji [g/cm^3],

d – gęstość skały [g/cm^3],

k – współczynnik przeliczeniowy zależny od typu i stopnia dojrzałości substancji organicznej, zmieniający się od 1,25 do 1,57 [4, 13].

Wyniki interpretacji profilowań przedstawiane są w postaci wydruku zmian zawartości węgla organicznego z głębokością, w procentach wagowych.

W literaturze spotyka się kilka klasyfikacji skał ze względu na potencjał macierzystości. Dwie z nich przedstawiono w tablicach 1–2.

Tablica 1. Klasyfikacja skał macierzystych według Herrona [8]

Klasa skał macierzystych	Zawartość węgla organicznego
Skały niebędące macierzystymi, o znikomej zawartości węgla organicznego	$TOC \leq 0,5\%$
Skały o niskim potencjale macierzystości	$0,5\% < TOC \leq 1\%$
Skały o średnim potencjale macierzystości	$1\% < TOC \leq 2\%$
Skały o wysokim potencjale macierzystości	$2\% < TOC \leq 4\%$
Skały o bardzo wysokim potencjale macierzystości	$TOC > 4\%$

Tablica 2. Klasyfikacja skał macierzystych według Barkera [1]

Klasa skał macierzystych	Zawartość węgla organicznego
Ubogie	$TOC \leq 0,5\%$
Średnie	$0,5\% < TOC \leq 1\%$
Dobre	$1\% < TOC \leq 2\%$
Bardzo dobre	$TOC > 2\%$

Dane laboratoryjne

Metodę CARBOLOG w połączeniu z wynikami badań laboratoryjnych rdzeni na zawartość węgla organicznego w osadach kambru, ordowiku i syluru zastosowano w pięciu wierceń z zachodniej części basenu bałtyckiego (Ł-8, K_IG-1, M_IG-1, SŁ_IG-1, Ż_IG-1) oraz trzech z basenu lubelskiego (Ł_IG-1, S_IG-1, T-2) (rysunek 2). Ogółem w analizowanych profilach ośmiu otworów wiertniczych

dysponowano 435 pomiarami zawartości węgla organicznego TOC oznaczonej metodą pirolityczną Rock-Eval oraz 89 pomiarami określonymi metodą LECO (S_IG-1).

Osady syluru charakteryzują 183 pomiary Rock-Eval i 31 LECO, ordowiku – odpowiednio 54 i 3, kambru górnego 12 (Rock-Eval), kambru środkowego 124 i 38, a kambru dolnego odpowiednio 61 i 17 (tablica 3).

Ilościowa ocena zawartości substancji organicznej w badanych otworach wiertniczych

Ilościową ocenę zawartości węgla organicznego wykonano dla 10 odwiertów: K_IG-1, Ł-8, L-1, Ł_IG-1, M_IG-1, S_IG-1, S-2, SŁ_IG-1, T-2, Ż_IG-1 omawianego rejonu (rysunek 2). Dysponowano dużym zbiorem wartości TOC wyznaczonych laboratoryjnie dla rdzeni z ośmiu badanych otworów wiertniczych. W dwóch odwiertach L-1 oraz S-2, w których nie dysponowano wynikami pomiarów laboratoryjnych parametru

TOC, wykorzystano dane z sąsiednich otworów – odpowiednio Ł-8 i S_IG-1.

Przykłady wyników interpretacji dla trzech odwiertów: M_IG-1, S_IG-1 oraz T-2 przy wykorzystaniu aplikacji CARBOLOG zaprezentowano na rysunkach 3–5.

Wykresy z wynikami zawierają:

- stratygrafię,

Tablica 3. Zakres zmian TOC z analiz Rock-Eval i LECO osadów starszego paleozoiku w analizowanych profilach wierceń

Otwór	Seria	Liczba (N)	Zakres zmian TOC_lab [%]	
			od	do
Ł-8	Sylur	27	0,01	0,49
	Ordowik	17	0,20	3,66
	Kambr grn.	6	3,40	11,98
	Kambr śr.	32	0,02	1,95
	Kambr dln.	8	0,04	0,23
Ł_IG-1	Sylur	4	0,45	1,44
	Ordowik	4	0,07	0,18
	Kambr śr.	3	0,11	5,11
S_IG-1	Sylur	7	0,19	3,49
	Sylur*	31	0,20	5,92
	Ordowik*	3	0,10	0,20
	Kambr śr.*	38	0,04	0,90
	Kambr dln.*	17	0,04	0,30
M_IG-1	Sylur	35	0,07	1,42
	Ordowik	8	0,01	0,30
	Kambr śr.	29	0,02	0,60
	Kambr dln.	28	0,00	0,30
T-2	Sylur	19	0,20	6,41
	Ordowik	3	0,05	5,82
	Kambr śr.	7	0,02	0,17
K_IG-1	Sylur	14	0,11	3,84
	Ordowik	3	0,23	0,79
	Kambr śr.	25	0,02	0,20
	Kambr dln.	6	0,01	0,12
Sł_IG-1	Sylur	5	0,02	0,38
	Ordowik	7	0,03	0,53
	Kambr śr.	10	0,18	1,23
	Kambr dln.	9	0,01	0,17
Ż_IG-1	Sylur	73	0,01	5,71
	Ordowik	12	0,00	3,85
	Kambr grn.	6	0,18	9,39
	Kambr śr.	18	0,11	5,78
	Kambr dln.	10	0,01	0,31

* Oznaczenie TOC metodą LECO.

- kolumnę z głębokością,
- profilowanie gamma (PG),
- profilowanie średnicy oraz wykres średnicy nominalnej,
- profilowania oporności i akustyczne,
- zawartość węgla organicznego w funkcji głębokości określoną metodą CARBOLOG z profilowań geofizycznych (TOC) oraz wyznaczoną laboratoryjnie (TOC_lab), opcjonalnie w dwóch zakresach zmienności,
- wartości profilowania potencjału macierzystości skał (PM)

według klasyfikacji Herrona [8] przedstawione kolorystycznie:

- kolor biały – skały niebędące macierzystymi, o znikomej zawartości węgla organicznego: $TOC \leq 0,5\%$,
- kolor żółty – skały o niskim potencjale macierzystości: $0,5\% < TOC \leq 1\%$,
- kolor niebieski – skały o średnim potencjale macierzystości: $1\% < TOC \leq 2\%$,
- kolor zielony – skały o wysokim potencjale macierzystości: $2\% < TOC \leq 4\%$,
- kolor czerwony – skały o bardzo wysokim potencjale macierzystości: $TOC > 4\%$.

W odwiercie M_IG-1, położonym w rejonie basenu bałtyckiego, najwyższe zawartości węgla organicznego TOC zauważa się w utworach syluru dolnego ($TOC \in [0,14, 1,67]\%$, śr. $TOC = 0,85\%$). Niskimi wartościami tego parametru charakteryzują się zarówno utwory ordowiku ($TOC \in [0,06, 0,37]\%$, śr. $TOC = 0,21\%$), jak i kambru ($TOC \in [0,01, 0,74]\%$, śr. $TOC = 0,21\%$).

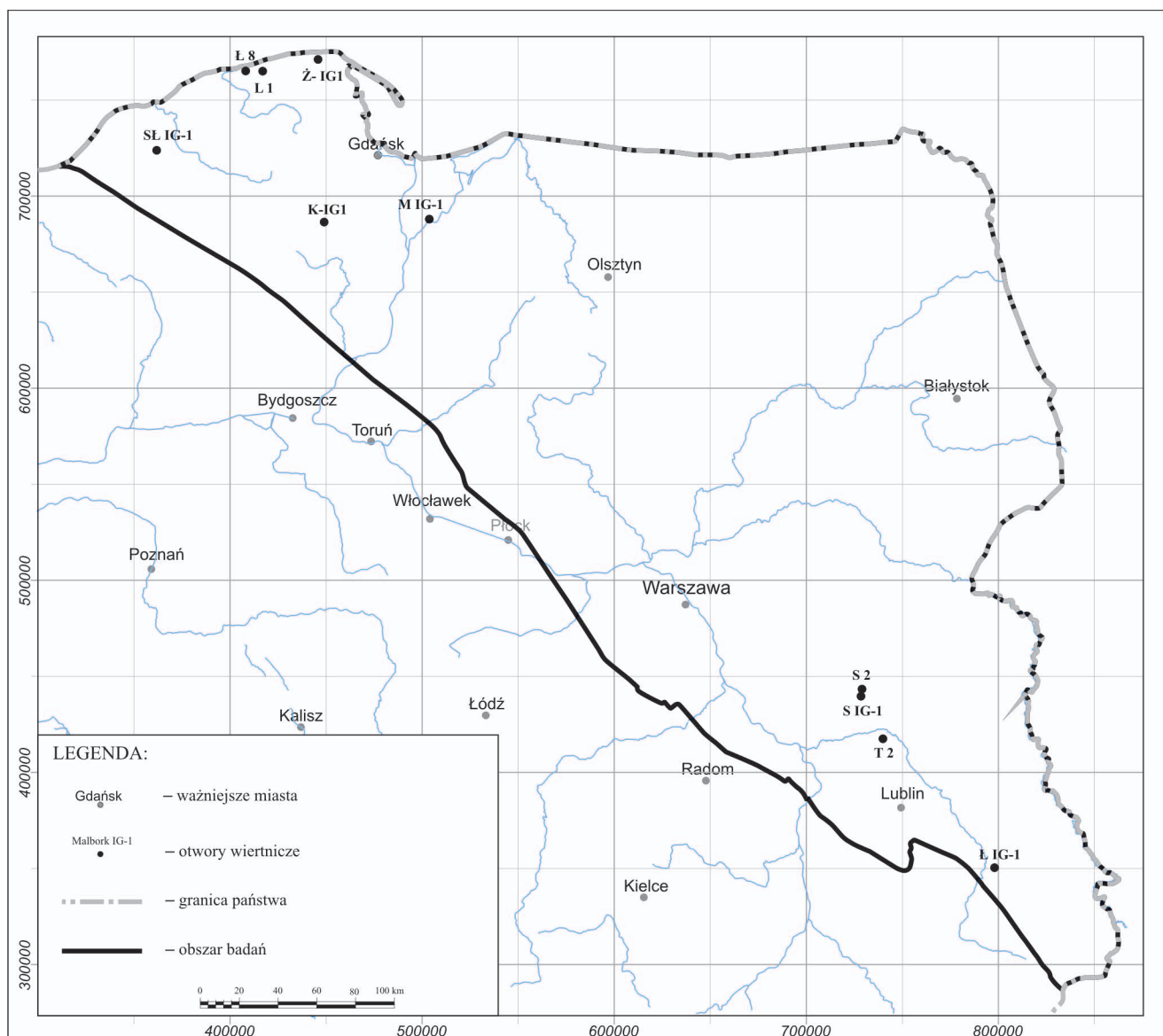
W kolejnym badanym odwiercie, S_IG-1, położonym w rejonie basenu podlasko-lubelskiego, najwyższe zawartości węgla organicznego wykazują utwory syluru dolnego ($TOC \in [0,01, 4,02]\%$, śr. $TOC = 0,53\%$). Niskie wartości parametru TOC występują w skałach ordowiku ($TOC \in [0,02, 0,49]\%$, śr. $TOC = 0,19\%$). W profilu kambru nieco wyższe wartości obserwowane są w górnej serii tych utworów ($TOC \in [0,02, 0,96]\%$, śr. $TOC = 0,15\%$).

W odwiercie T-2, z rejonu basenu podlasko-lubelskiego, wyższe wartości parametru TOC zauważa się w utworach syluru ($TOC \in [0,02, 5,76]\%$, śr. $TOC = 0,94\%$), w porównaniu z utworami ordowiku ($TOC \in [0,02, 4,38]\%$, śr. $TOC = 0,67\%$).

W tablicy 4 przedstawiono zakresy zmian parametru TOC określonego na podstawie badań laboratoryjnych i profilowań geofizycznych przy wykorzystaniu metody CARBOLOG oraz współczynniki determinacji R^2 pomiędzy nimi dla poszczególnych otworów wiertniczych i zbiorczo.

Na rysunkach 6–8 przedstawiono przykłady korelacji dla odwiertów S_IG-1 i T2 oraz zbiorczo dla wszystkich ośmiu otworów wiertniczych, w których dysponowano danymi laboratoryjnymi parametru TOC.

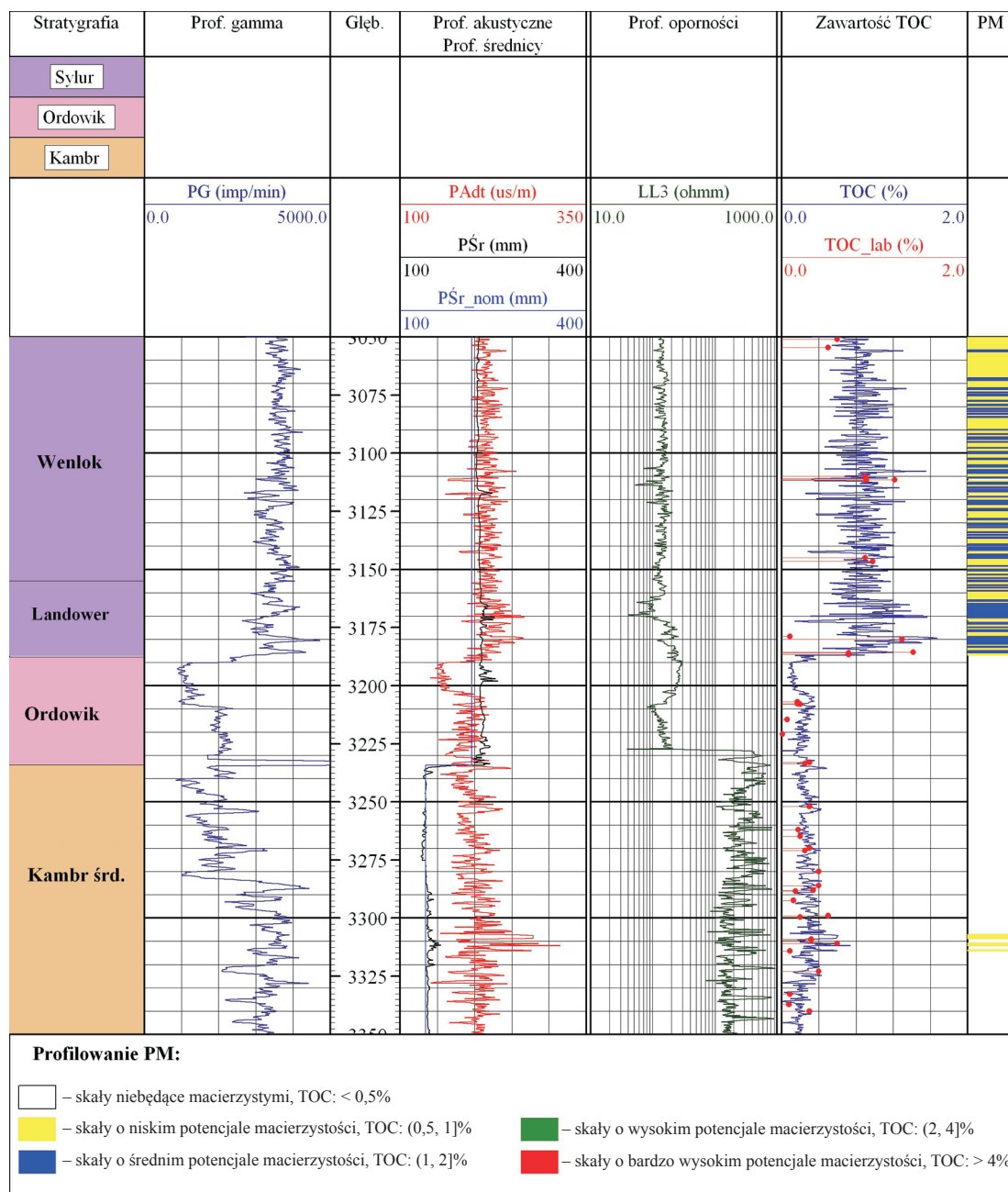
Z analizy wynika, że trendy zmienności zawartości węgla organicznego TOC uzyskanej z profilowań geofizycznych oraz badań laboratoryjnych są na ogół ze sobą zgodne. W niektórych przypadkach zauważa się nieco wyższe wartości parametru TOC określonego laboratoryjnie względem wyliczonego z profilowań geofizycznych.



Rys. 2. Lokalizacja otworów wiertniczych z ilościową oceną zawartości węgla organicznego (TOC) metodą CARBOLOG w osadach starszego paleozoiku (Projekt Rozwojowy AGH nr N R09 0004 06, 2010)

Tablica 4. Zakresy zmian parametru TOC określonego na podstawie badań laboratoryjnych i profilowań geofizycznych oraz współczynniki determinacji R^2

Otwór wiertniczy	Zakres zmian TOC_lab [%]		Zakres zmian TOC_prof [%]		R^2
	od	do	od	do	
K_IG-1	0,01	3,84	0,03	2,81	0,96
Ł-8	0,01	11,98	0,04	7,39	0,92
Ł_IG-1	0,03	1,44	0,06	1,22	0,95
M_IG-1	0,00	1,42	0,04	1,32	0,88
S_IG-1	0,04	5,92	0,08	4,10	0,97
SŁ_IG-1	0,01	1,23	0,03	1,20	0,77
T-2	0,02	6,41	0,04	5,76	0,98
Ż_IG-1	0,01	9,39	0,05	8,32	0,94
Zbiorczo					0,94



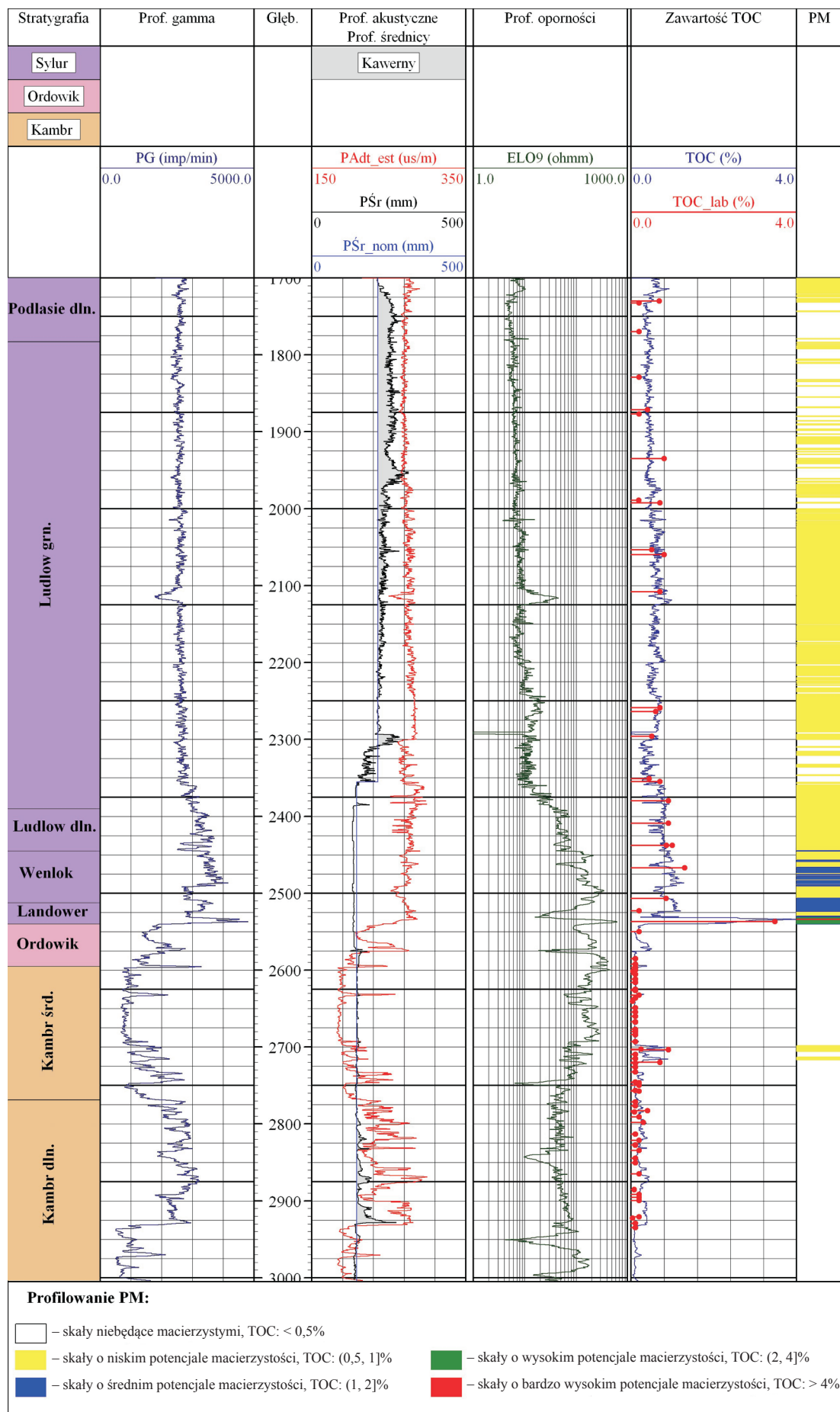
Rys. 3. Określenie zawartości węgla organicznego TOC metodą CARBOLOG w otworze wiertniczym M_IG-1

Wysokie wartości współczynników determinacji R^2 dla poszczególnych badanych otworów wiertniczych oraz całego zbioru danych (tablica 1, rysunki 7, 8) świadczą o dobrym dopasowaniu wyników laboratoryjnych parametru TOC do danych wyliczonych z profilowań geofizycznych metodą CARBOLOG. Pewne rozbieżności w porównaniu wyników badań laboratoryjnych i interpretacji danych otworowych, przy generalnie dużej zgodności obu typów informacji, mogą wynikać z faktu, że:

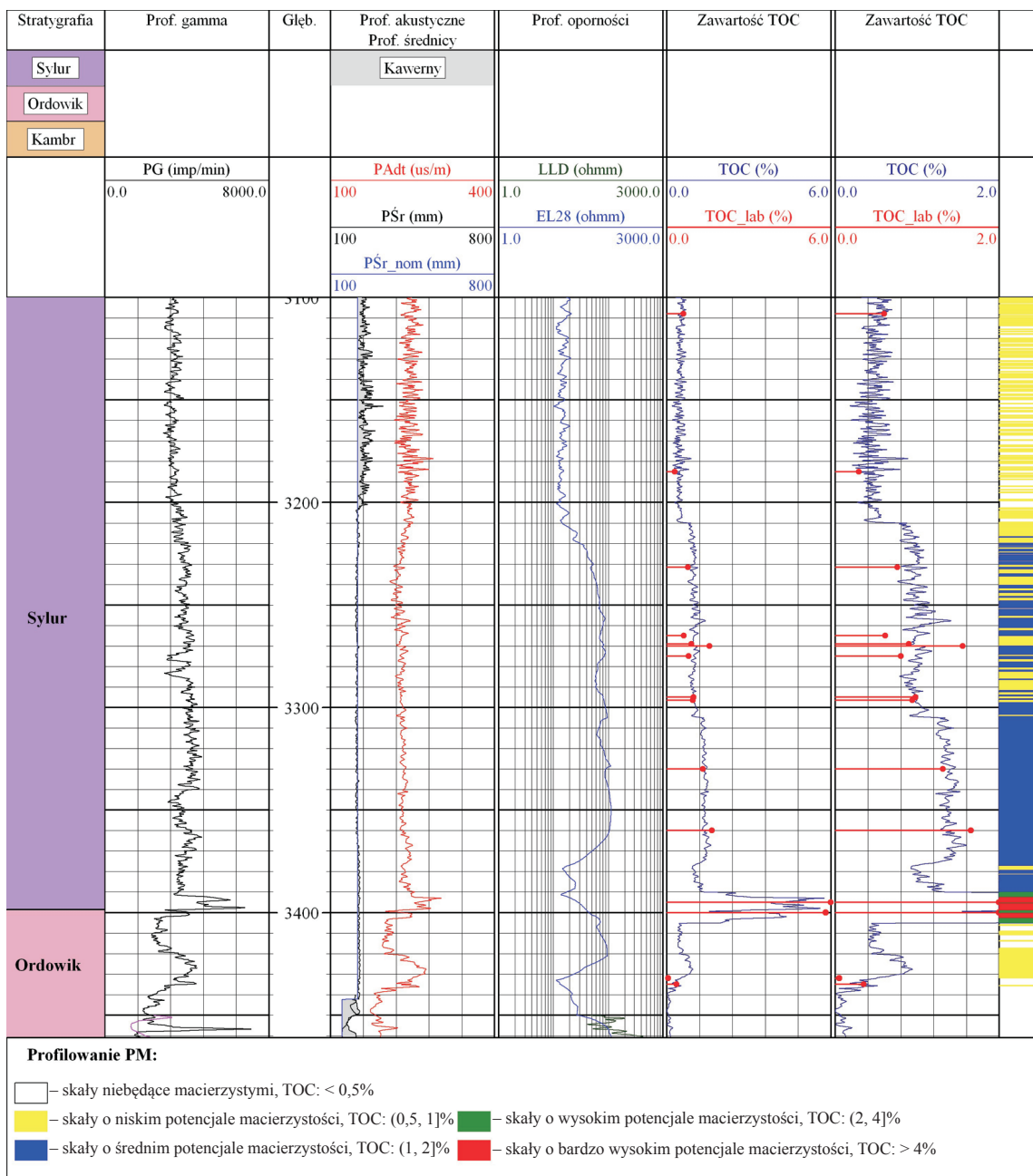
- wykorzystywane profilowania do interpretacji były słabej jakości, a w sześciu z badanych odwiertów brak było

profilowania akustycznego, które zostało estymowane metodą sieci neuronowych [7];

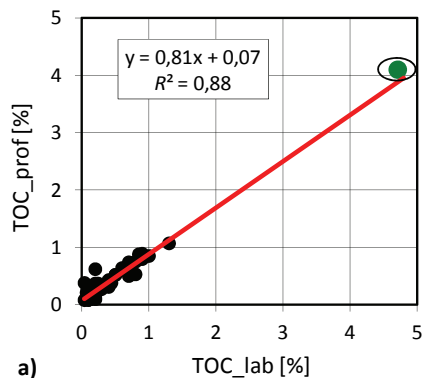
- profilowania geofizyczne odzwierciedlają uśrednione wartości parametrów skały, z określonej objętości ośrodka skalnego, co związane jest z zasięgiem radialnym i pionową rozdzielczością danego typu sondy, natomiast pomiary laboratoryjne są pomiarami punktowymi;
- omówione wyżej założenia metody CARBOLOG idealizują ośrodek skalny i zakładają stałość wielu jego parametrów w określonym interwale głębokościowym, co z reguły odbiega od rzeczywistości.



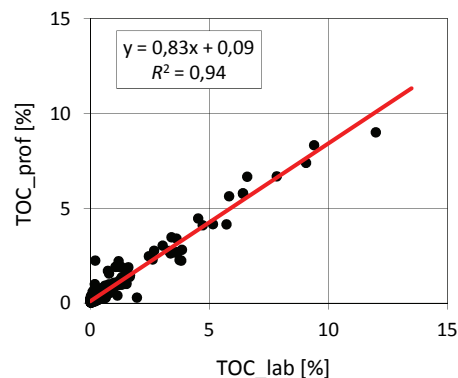
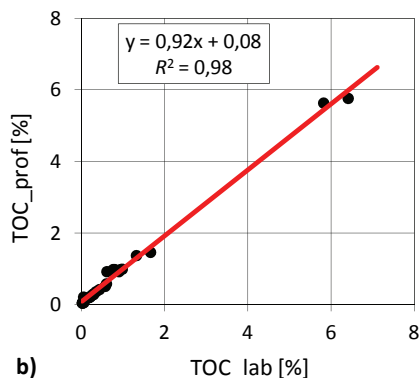
Rys. 4. Określenie zawartości węgla organicznego TOC metodą CARBOLOG w otworze wiertniczym S_IG-1



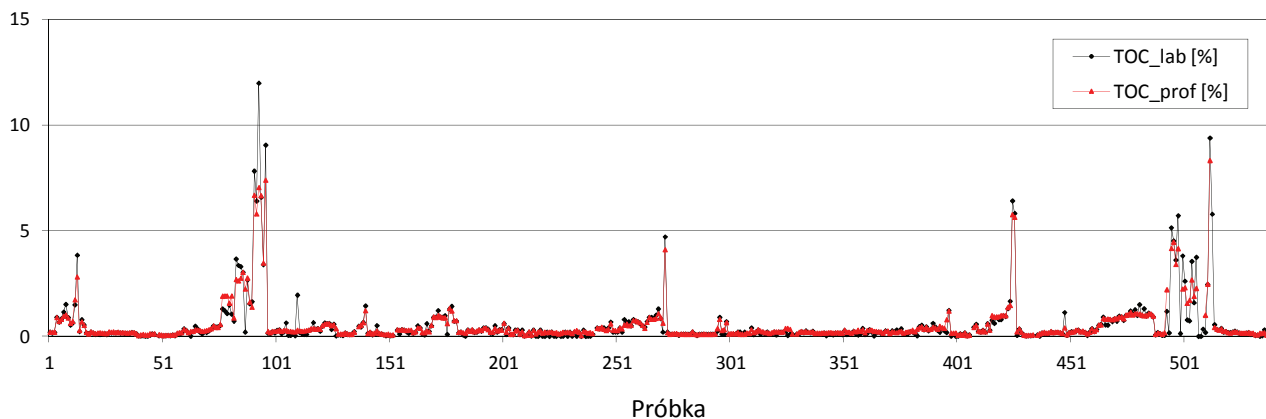
Rys. 5. Określenie zawartości węgla organicznego TOC metodą CARBOLOG w otworze wiertniczym T-2



Rys. 6. Korelacja zawartości węgla organicznego TOC określonej laboratoryjnie oraz na podstawie profilowań geofizycznych w odwiercie:
a) S_IG-1, b) T-2 (punktu zaznaczonego kolorem zielonym na rysunku 6a nie uwzględniono przy korelacji)



Rys. 7. Korelacja zawartości węgla organicznego TOC określonej laboratoryjnie oraz na podstawie profilowań geofizycznych w badanych otworach wiertniczych

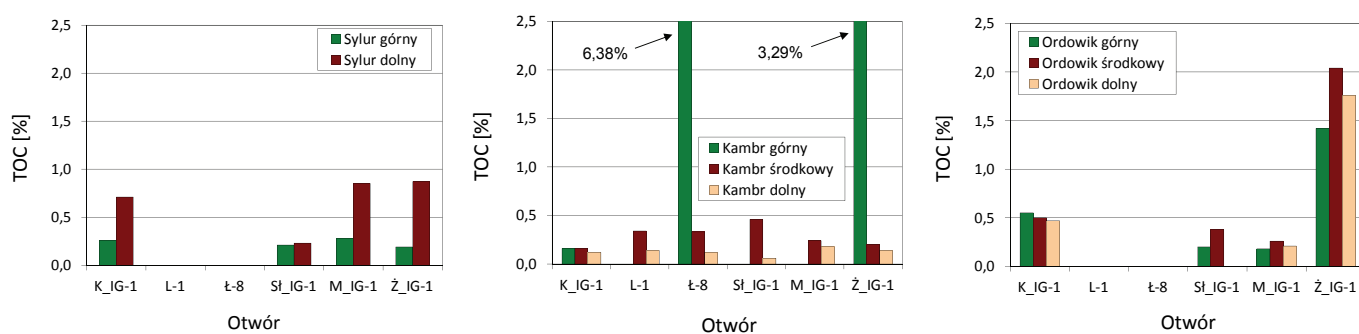


Rys. 8. Zestawienie zawartości węgla organicznego TOC określonej laboratoryjnie oraz metodą CARBOLOG w analizowanych otworach wiertniczych

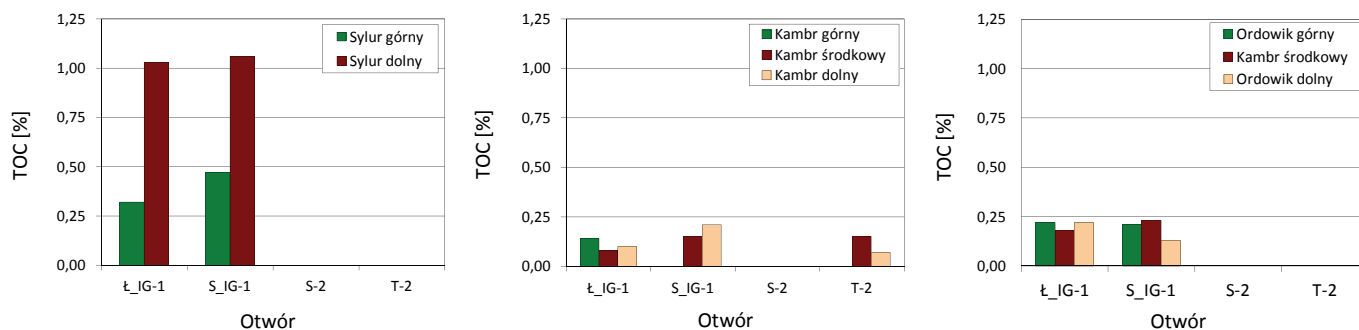
Porównanie wyników uzyskanych metodą CARBOLOG w analizowanym obszarze

Przeprowadzono analizę porównawczą parametru TOC określonego metodą CARBOLOG dla dwóch rejonów omawianego obszaru: basenu bałtyckiego i basenu podlasko-lubelskiego. Na rysunkach 9 i 10 zaprezentowano średnie wartości badanego parametru w poszczególnych seriach stratygraficznych, puste miejsca wskazują na nierozdzielenie

danej serii na piętra stratygraficzne. Na podstawie uzyskanych wyników interpretacji profilowań geofizycznych zauważa się, że najwyższym potencjałem macierzystości charakteryzują się utwory syluru dolnego, ordowiku oraz górnego kambru w rejonie basenu bałtyckiego i utwory syluru dolnego w rejonie basenu podlasko-lubelskiego.



Rys. 9. Średnie wartości parametru TOC w utworach starszego paleozoiku w rejonie basenu bałtyckiego



Rys. 10. Średnie wartości parametru TOC w utworach starszego paleozoiku w rejonie basenu podlasko-lubelskiego

Wnioski

Przeprowadzono ilościową ocenę zawartości węgla organicznego TOC przy wykorzystaniu metody CARBOLOG na

podstawie profilowań geofizycznych w dziesięciu wybranych otworach wiertniczych badanego rejonu.

Analiza wyników interpretacji metodą CARBOLOG pozwoliła stwierdzić, że najwyższym potencjałem macierzystości cechują się utwory syluru dolnego, ordowiku i górnego kambru w rejonie basenu bałtyckiego oraz utwory syluru dolnego w rejonie basenu podlasko-lubelskiego.

W przedstawionej analizie porównawczej parametru TOC

uzyskanego laboratoryjnie oraz na podstawie profilowań geofizycznych metodą CARBOLOG otrzymano wysoki współczynnik determinacji ($R^2 = 0,94$), co świadczy o dobrym poziomie dopasowania danych laboratoryjnych TOC do danych otworowych. Potwierdza to poprawność zastosowanej w niniejszej pracy metody CARBOLOG.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2014, nr 12, s. 881–890

Artykuł nadesłano do Redakcji 21.02.2014 r. Zatwierdzono do druku 20.06.2014 r.

Przedstawione badania wykonane zostały w 2010 roku w ramach Projektu Rozwojowego nr N R09 0004 06 pt. *Ocena perspektyw poszukiwawczych i wytypowanie stref z potencjalnymi pułapkami złożowymi dla ropy naftowej i gazu ziemnego formacji kambru na Niżu Polskim*, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, a realizowanego na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej we współpracy z Instytutem Nafty i Gazu – PIB w Krakowie.

Literatura

- [1] Barker C. (ed.): *Thermal modeling of petroleum generation: theory and applicaton*. Developments in Petroleum Science 1996, vol. 45.
- [2] Carpentier B., Huc A. Y., Bessereau G.: *Diagraphies et roches-meres. Estimation des teneurs en carbone organique par la methode CARBOLOG*. Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP 1989, vol. 44, no. 6.
- [3] Carpentier B., Huc A. Y., Bessereau G.: *Wireline logging and source rocks – estimation of organic carbon content by the CARBOLOG method*. The Log Analyst 1991, vol. 32, pp. 279–297.
- [4] Ciechanowska M., Kusmierk J.: *Ocena potencjału macierzystości perspektywicznych formacji ropogazonosnych metodami geofizyki wiertniczej*. Nafta-Gaz 1992, nr 11–12, s. 269–277.
- [5] Drop K., Kozłowski M.: *Rola geofizyki wiertniczej w określeniu zasobow gazu ziemnego w lupkach*. Przegląd Geologiczny 2010, vol. 58, nr 3, s. 263–265.
- [6] Dudek L., Stadtmuller M.: *Wykorzystanie modelowania 3D w programie PetroCharge do określenia zasobow ilosciowych ropy naftowej i gazu ziemnego, z uwzględnieniem profilowan geofizyki wiertniczej*. Nafta-Gaz 2010, nr 11, s. 973–986.
- [7] Gasior I. Reicher B.: *Estymacja czasu interwałowego z profilowan geofizyki otworowej metoda sieci neuronowych*. Nafta-Gaz 2014 nr 11 s. 765–770.
- [8] Herron S. L.: *A total organic carbon log for source rock evaluation*. The Log Analyst 1987, vol. 28, no. 6, pp. 520–527.
- [9] Kosakowski P., Kotarba M. J., Wrobel M., Burzewski W.: *Petroleum prospects of Lower Paleozoic strata in the western, onshore part of the Baltic Basin*. Prace INiG 2008, nr 150, s. 73–77.
- [10] Passey Q. R., Creaney S., Kulla J. B., Moretti F. J., Stroud J. D.: *Well log evaluation of organic-rich rocks*. 14th International Meeting on Organic Geochemistry, Paris 1989, abstract 75.
- [11] Sun S. Z., Sun Y., Sun C., Liu L., Dong N.: *Method of calculating total organic carbon from well logs and its application on rock's properties analysis*. GeoConvention 2013.
- [12] Tanck G. S.: *Distribution and origin of organic carbon in the Upper Cretaceous Niobrara formation and Sharon Springs member of the Pierre Shale, Western Interior, United States*. The University of Arizona, 1997.
- [13] Tissot B. P., Welte D. H.: *Petroleum Formation and Occurrence. A New Approach to Oil and Gas Exploration*. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag, 1978.
- [14] Wieclaw D., Kotarba M. J., Kosakowski P., Kowalski A., Grotek I.: *Habitat and hydrocarbon potential of the lower Paleozoic source rocks in the Polish part of the Baltic region*. Geol. Quart. 2010, vol. 54, no. 2, pp. 159–182.



Mgr Irena GAŠIOR
Starszy specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie Geofizyki Wiertniczej.
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25A
31-503 Kraków
E-mail: gasior@inig.pl



Dr inż. Beata Reicher
Adiunkt na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska.
Akademia Górniczo-Hutnicza
al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków
E-mail: reicher@agh.edu.pl