

Metodyka wyznaczania zawartości substancji organicznej w utworach niższego paleozoiku i karbonu dla archiwalnych otworów wiertniczych

Irena Gąsior¹, Rafał Skupio¹, Marek Dohnalik¹



I. Gąsior



R. Skupio



M. Dohnalik

Methodology for determining the organic matter content in the lower Palaeozoic and Carboniferous deposits for archival boreholes. *Prz. Geol.*, 64: 987–994.

Abstract. The aim of the study was to present the use of archival well logs for quantitative determination of organic matter (TOC wt. %). The study was conducted in the lower Palaeozoic rocks of the Baltic Basin and Podlasie-Lublin Basin as well as in the Carboniferous rocks of the Fore-Sudetic Homocline basement. In many wells, sonic logging has not been run at all or run to a limited extent. In such cases, a neural network method was used to estimate the interval time. Then, continuous analysis was carried out for quantitative determination of organic matter content (TOC) using the

CARBOLOG method. Finally, well log interpretation was performed for six wells in the Podlasie-Lublin Basin, five wells in the Baltic Basin, and five wells in the Fore-Sudetic Homocline basement. This article presents examples of results obtained for two wells.

Keywords: organic matter, the lower Paleozoic, Carboniferous, CARBOLOG

Sposobami najczęściej stosowanymi do wyliczenia parametru TOC jest metoda CARBOLOG (Carpantier i in., 1989, 1991; Ciechanowska & Kuśmierk, 1992; Gąsior & Reicher, 2014b; Sun i in., 2013; Tanck, 1997) i Passey'a (Passey i in., 1989). W niniejszej pracy do określenia zawartości substancji organicznej wykorzystano pierwszą z nich. Metoda CARBOLOG, rozwinięta we francuskim instytucie naftowym (Carpantier i in., 1989, 1991), wymaga zastosowania dwóch podstawowych profilowań geofizycznych: akustycznego i oporności. Jest ona od lat wykorzystywana w Instytucie Nafty i Gazu – Państwowym Instytucie Badawczym (INiG-PIB) (Ciechanowska & Kuśmierk, 1992; Gąsior & Reicher, 2014b). W Zakładzie Geofizyki Wiertniczej INiG-PIB opracowano program CARBOLOG (autorką jest mgr Irena Gąsior), który umożliwia w sposób ciągły określić zawartość substancji organicznej TOC w profilu otworu wiertniczego. Przegląd archiwalnych profilowań geofizycznych w odwiertach poszukiwawczych przemysłu naftowego i wierceniach badawczych Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego (PIG-PIB) z badanych rejonów wykazał zróżnicowanie ich jakości. Analizowane otwory były wiercone w dużym przedziale czasowym – począwszy od 1963 do 1991 r. W wielu odwiertach istotne profilowanie akustyczne nie było wykonane lub zostało wykonane w ograniczonym zakresie. Z tego powodu w pracy przedstawiono wykorzystanie metody sieci neuronowych do predykcji czasu interwałowego w profilu odwiertów, w których nie wykonano profilowania akustycznego. Użyte zostały udostępnione wyniki pomiarów zawartości substancji organicznej TOC, które oznaczono metodą piroliczną Rock Eval w PIG-PIB w Warszawie, oraz dane archiwalne pochodzące z baz danych wspomnianego instytutu. W artykule zaprezentowano wyniki zastosowania metody sieci neuronowych do estymacji czasu interwałowego w profilach dwóch odwiertów Terebin IG 5

i Malbork IG 1 – utwory niższego paleozoiku z basenu podlasko-lubelskiego i bałtyckiego, oraz otworu Siciny IG 1, reprezentującego skały karbońskie z podłoża monokliny przedsudeckiej. Przedstawiono także ilościową ocenę zawartości substancji organicznej TOC dla dwóch odwiertów w utworach niższego paleozoiku z basenu podlasko-lubelskiego i z karbonu podłoża monokliny przedsudeckiej.

OPIS METODY OBLICZENIOWEJ CARBOLOG

Metoda CARBOLOG jest oparta na dwóch konwencjonalnych profilowaniach: akustycznym (DT) i oporności (PO) oraz na podstawowych modelach interpretacyjnych Wyllie'go (Wyllie i in., 1958) i Archie'go (Archie, 1942), opisujących zjawiska fizyczne zachodzące w ośrodku skalnym:

$$DT = (DT_{sz} \cdot V_{sz}) + (DT_{il} \cdot V_{il}) + (DT_w \cdot V_w) + (DT_{TOC} \cdot V_{TOC})$$

gdzie:

DT, DT_{sz}, DT_{il}, DT_w, DT_{TOC} – czasy interwałowe fali akustycznej w skale, w szkielecie skały, w ilach, w wodzie, w substancji organicznej [μs/m],

V_{sz}, V_{il}, V_w, V_{TOC} – objętość poszczególnych składników (jw.) w jednostce objętości skały [%].

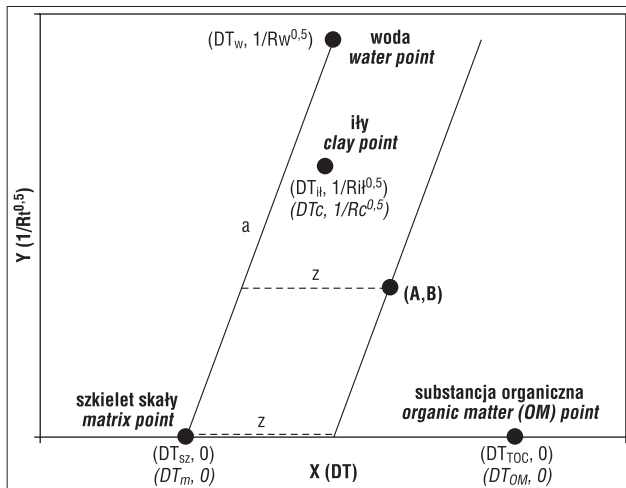
$$R_t = V_w^{-2} \cdot R_w$$

gdzie:

R_t, R_w – elektryczna oporność właściwa skały, wody [Ωm].

Oznaczenie zawartości substancji organicznej TOC na podstawie danych geofizyki wiertniczej przedstawia wykres na rycinie 1.

¹ Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Lubicz 25A, 31-503 Kraków; gasior@inig.pl, skupio@inig.pl, dohnalik@inig.pl.



Ryc. 1. Wykres zależności: $1/\sqrt{Rt} = f(DT)$, służący do wyznaczenia parametru TOC (Tanck, 1997; Gašior & Reicher, 2014b)
 Fig. 1. $1/\sqrt{Rt} = f(DT)$ plot, used to determine the TOC parameter (Tanck, 1997; Gašior & Reicher, 2014b)

Na wykresie tym zaznaczono punkty o współrzędnych odpowiadających podstawowym składnikom matrycy skalnej (woda, szkielet skały, łań, substancja organiczna), przy czym o ile parametry dotyczące wody złożowej są zazwyczaj 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 substancji organicznej V_{TOC} , przeprowadza się prostą a przecinającą oś DT w punkcie DT_{sz} (Carpantier i in., 1989, 1991; Ciechanowska & Kuśmierk, 1992; Gašior & Reicher, 2014b; Sun i in., 2013; Tanck, 1997). Prosta o nachyleniu m charakterystycznym dla danego wydzielenia stratygraficznego w basenie sedymentacyjnym stanowi początek skały, wg której jest liczona zawartość objętościowa V_{TOC} .

Ostateczny wzór na zawartość substancji organicznej V_{TOC} w jednostce objętości [%] skały przyjmuje postać:

$$V_{TOC} = 100 \cdot (A - m \cdot B - DT_{sz}) / (DT_{TOC} - DT_{sz})$$

gdzie:

m – nachylenie prostej a ,

DT_{sz} , DT_{TOC} – czasy interwałowe fali akustycznej w szkieletcie skały i w substancji organicznej,

A , B – współrzędne punktu odpowiadające odpowiednio wartościom z z krzywych DT i PO .

Określenie czasu interwałowego DT_{TOC} wymaga kalibracji na podstawie pomiarów laboratoryjnych. Dokładność szacowania potencjału macierzystości skał wzrasta wraz z liczbą danych laboratoryjnych. Tak więc obliczanie parametru TOC metodą CARBOLOG opiera się na teoretycznym równaniu obejmującym trzy parametry: czas interwałowy substancji organicznej (DT_{TOC}), czas interwałowy szkieletu skały (DT_{sz}) oraz nachylenie m prostej a (Gašior & Reicher, 2014b).

Metoda CARBOLOG posiada szereg założeń (Carpantier i in., 1989, 1991; Ciechanowska & Kuśmierk, 1992; Gašior & Reicher, 2014b), m.in.:

– substancja organiczna i szkielet skały nie przewodzą prądu elektrycznego;

– zmiany ilościowe i jakościowe w składzie mineralnym skały są nieznaczące, a zatem wpływ zmian para-

metrów szkieletu skały na profilowaniu akustycznym 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 (DT_{TOC}) dla analizowanego interwału skał osadowych, który odpowiada substancji organicznej danego typu i o danym stopniu dojrzałości.

W celu porównania wyników interpretacji profilowań geofizycznych przy wykorzystaniu aplikacji CARBOLOG z danymi laboratoryjnymi (TOC) następuje ich przeliczenie wg poniższego wzoru:

$$TOC = V_{TOC} \cdot (\gamma_{TOC} / \gamma) \cdot 1 / k$$

gdzie:

TOC – zawartość substancji organicznej [% wag.],

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

γ_{TOC} – gęstość substancji organicznej [g/cm^3],

γ – gęstość objętościowa skały [g/cm^3],

k – współczynnik przeliczeniowy zależny od typu i stopnia dojrzałości substancji organicznej, który zmienia się od 1,25 do 1,57 (Ciechanowska & Kuśmierk, 1992; Tissot & Welte, 1978).

W literaturze podano kilka rodzajów klasyfikacji skał ze względu na ich potencjał macierzystości. Jedną z nich jest klasyfikacja Herrona (Herron, 1987), którą zastosowano w niniejszym opracowaniu. Na podstawie zakresu zmian parametru TOC wydziela się następujące grupy skał macierzystych:

- skały niemacierzyste – $TOC \leq 0,5\%$,
- skały o niskiej macierzystości – $0,5 < TOC \leq 1\%$,
- skały o średniej macierzystości – $1 < TOC \leq 2\%$,
- skały o wysokiej macierzystości – $2 < TOC \leq 4\%$,
- skały o bardzo wysokiej macierzystości – $TOC > 4\%$.

ANALIZA PROFILOWAŃ GEOFIZYCZNYCH W BADANYCH OTWORACH WIERTNICZYCH

W metodzie CARBOLOG danymi niezbędnymi do określenia zawartości substancji organicznej TOC są profilowania akustyczne i oporności elektrycznej. Ponieważ interpretowane otwory wiertnicze były wykonywane w różnym czasie, materiał geofizyczny z badanych odwiertów był bardzo zróżnicowany pod względem jakości. Brak profilowania akustycznego lub jego wykonanie w ograniczonym interwale głębokościowym uniemożliwia ilościową ocenę zawartości substancji organicznej TOC metodą CARBOLOG. Na badanych obszarach profilowanie to było zarejestrowane w całym profilu w ośmiu na szesnastcie odwiertów. W niektórych otworach wiertniczych profilowania oporności elektrycznej wykonywano różnymi sondami:

– EL09 – profilowanie oporności, sonda gradientowa spągowa o długości 2,625 m,

- EL03 – profilowanie oporności, sonda gradientowa spągowa o długości 1,05 m,
- EL14 – profilowanie oporności, sonda gradientowa spągowa o długości 4,25 m.

WYKORZYSTANIE SIECI NEURONOWYCH DO ESTYMACJI CZASU INTERWAŁOWEGO W BADANYCH OTWORACH WIERTNICZYCH

Sieci neuronowe są coraz częściej stosowane w rozwiązywaniu wielu problemów w dziedzinie geologii i geofizyki (Darłak, 1997; Gąsior & Reicher, 2014a; Jarzyna i in., 2007). Do symulacji sztucznych sieci neuronowych wykorzystano program STATISTICA Neural Networks (SNN), wersja 7, który umożliwia korzystanie z najnowocześniejszych narzędzi do rozwiązywania pojawiających się trudności (np. braku kompletu danych). Podstawowym źródłem danych dla sieci neuronowych jest baza obejmująca przykłady zmiennych wejściowych i poprawnych rozwiązań. Bazę danych wejściowych w omawianym zagadnieniu stanowią:

- profilowanie naturalnej promieniotwórczości gamma GR,
- porowatość neutronowa w skali porowatości wapienia poprawiona na średnicę otworu wiertniczego i gęstość płuczki wiertniczej NPHI.

W bazie danych nie brano pod uwagę profilowania oporności, dlatego że jest ono wykorzystywane w wykresie krzyżowym w metodzie CARBOLOG, nie można go użyć dwukrotnie.

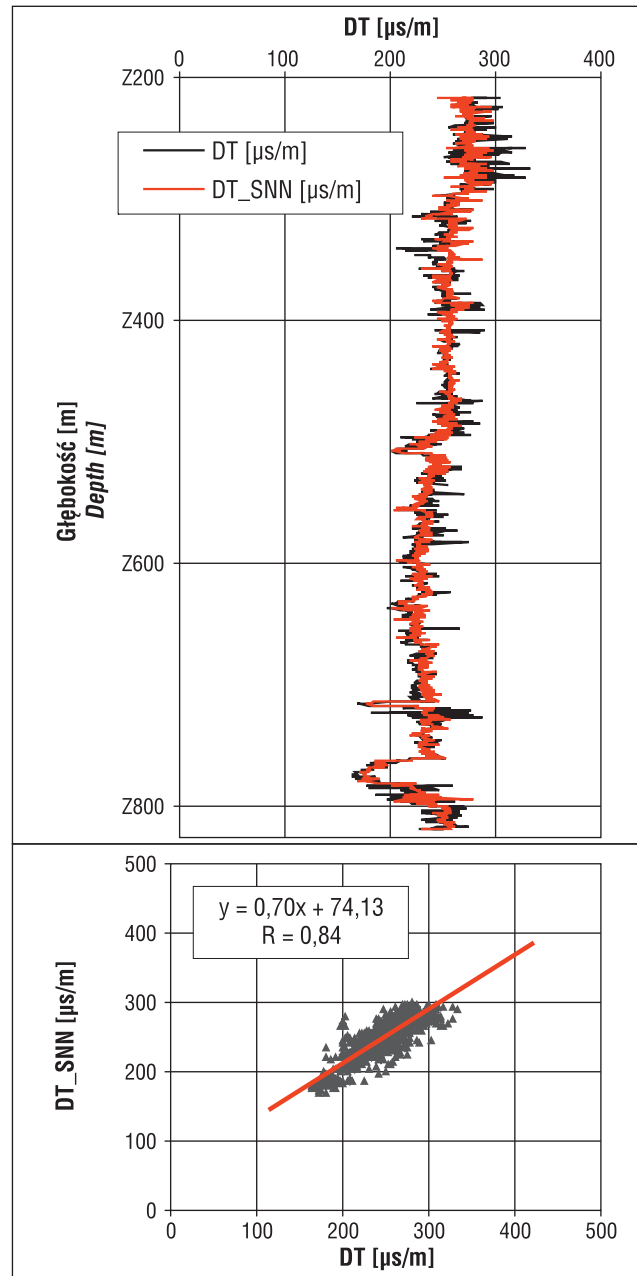
W niniejszej pracy zaprezentowano przykłady sieci neuronowych skonstruowanych dla trzech odwiertów, reprezentujących odpowiednio utwory niższego paleozoiku z basenu podlasko-lubelskiego (odwiert Terebin IG 5) i bałtyckiego (Malbork IG 1) oraz skały karbońskie z podłoża monokliny przedsudeckiej (Siciny IG 1).

W tabeli 1 przedstawiono wyniki testowania sieci neuronowych dla tych otworów. Wykonywano obliczenia dla

Tab. 1. Wyniki symulacji czasu interwałowego DT przy pomocy sieci neuronowych w odwiertach Terebin IG 5, Malbork IG 1, Siciny IG 1

Table 1. The results of the simulation time interval DT using neural networks wells Terebin IG 5, Malbork IG 1 and Siciny IG 1

Typ sieci <i>Type of network</i>	Współczynnik korelacji R <i>Correlation coefficient R</i>			
	zbiór uczący <i>Training set</i>	zbiór walidacyjny <i>Validation set</i>	zbiór testujący <i>Test set</i>	cały zbiór <i>Whole set</i>
Otwór Terebin IG 5 – utwory niższego paleozoiku (Basen Podlasko-Lubelski) <i>Terebin IG 5 borehole – lower Palaeozoic formations (Podlasie-Lublin Basin)</i>				
RBF	0,85	0,84	0,84	0,85
Otwór Malbork IG 1 – utwory niższego paleozoiku (Basen Bałtycki) <i>Malbork IG 1 borehole – lower Palaeozoic formations (Baltic Basin)</i>				
RBF	0,83	0,82	0,82	0,84
Otwór Siciny IG 1 – utwory karbońskie (podłoże monokliny przedsudeckiej) <i>Siciny IG 1 borehole – Carboniferous formations (Fore-Sudetic Homocline basement)</i>				
RBF	0,73	0,75	0,74	0,75

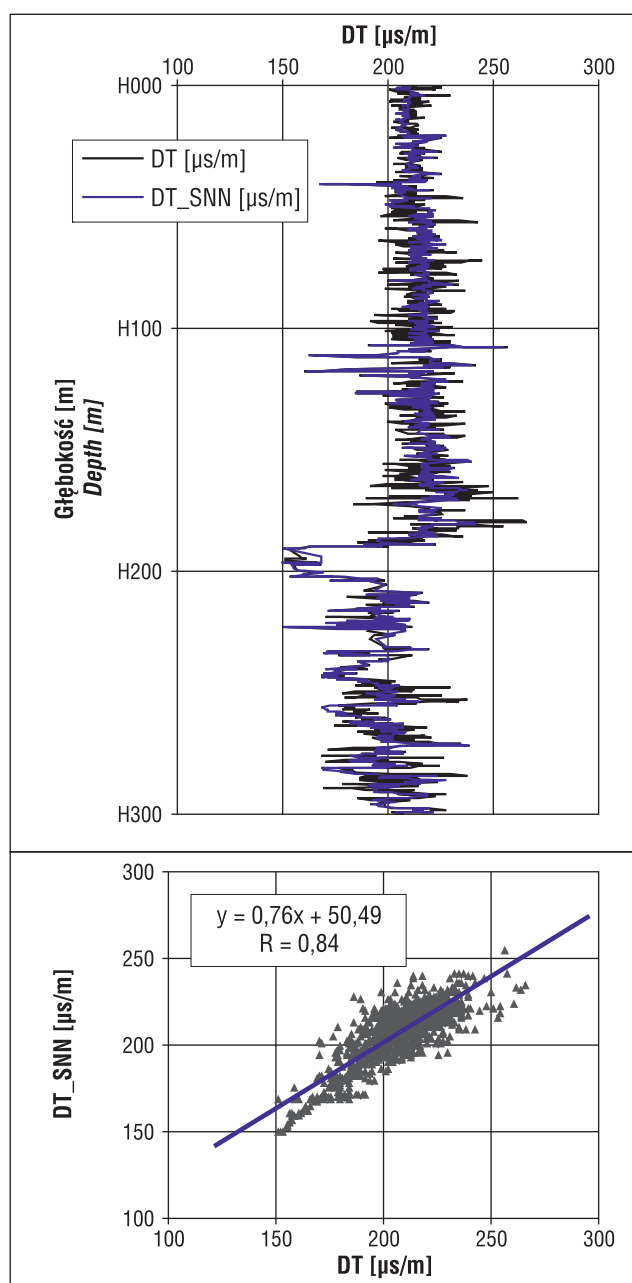


Ryc. 2. Zestawienie czasu interwałowego z profilowania akustycznego DT i określonego metodą sieci neuronowych DT_SNN w funkcji głębokości dla utworów niższego paleozoiku z basenu podlasko-lubelskiego w otworze wiertniczym Terebin IG 5

Fig. 2. Comparison of interval time of acoustic log DT with that determined using the neural network method DT_SNN for lower Palaeozoic formations in the Podlasie-Lublin Basin in the Terebin IG 5 borehole

różnych sieci neuronowych, najlepszymi z nich okazały się sieci o radialnych funkcjach bazowych RBF. Współczynniki korelacji R dla całego zbioru danych, a także z uwzględnieniem jego podziału na zbiory: uczący, walidacyjny i testujący, świadczą o poprawności metody sieci neuronowych. Na rycinach 2, 3 i 4 zaprezentowano przykłady czasu interwałowego z profilowania akustycznego DT oraz uzyskane przy wykorzystaniu sieci neuronowych (DT_SNN).

Czas interwałowy z profilowania akustycznego w odwiertcie Terebin IG 5 jest nieco wyższy od uzyskanego metodą sieci neuronowych; DT: 164–350 $\mu\text{s/m}$, śr. (DT) = 244 $\mu\text{s/m}$; DT_SNN: 168–299 $\mu\text{s/m}$, śr. (DT_SNN) =

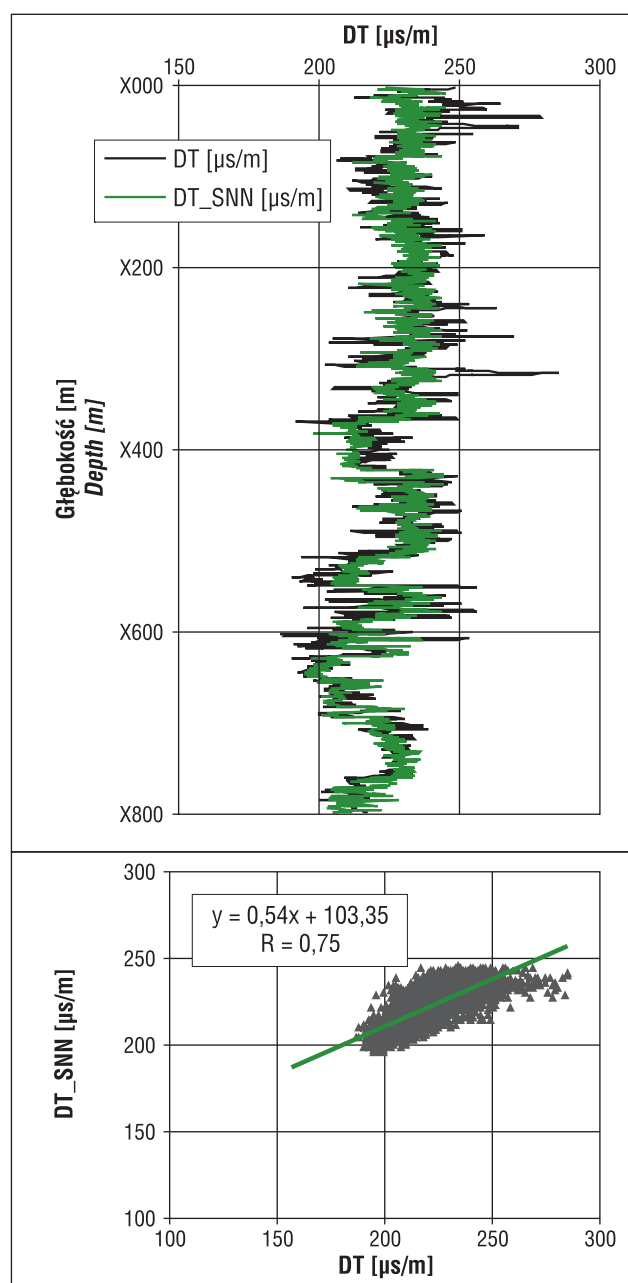


Ryc. 3. Zestawienie czasu interwałowego z profilowania akustycznego DT i określonego metodą sieci neuronowych DT_SNN w funkcji głębokości dla utworów niższego paleozoiku z basenu bałtyckiego w otworze wiertniczym Malbork IG 1

Fig. 3. Comparison of interval time of acoustic log DT with that determined using the neural network method DT_SNN for Lower Palaeozoic formations in the Baltic Basin in the Malbork IG 1 borehole

= 244 µs/m. Dla odwiertu Malbork IG 1 czas interwałowy z profilowania DT zmienia się od 186 do 285 µs/m, przy wartości średniej = 225 µs/m, DT_SNN waha się od 195 do 245 µs/m, śr. (DT_SNN) = 225 µs/m. Trzeci otwór Sici-ny IG 1 jest reprezentowany przez utwory karbońskie. Krzywa DT waha się od 141 do 266 µs/m, przy wartości średniej = 208 µs/m; krzywa DT_SNN przyjmuje wartości z zakresu 139–255 µs/m, śr. DT_SNN = 208 µs/m.

Z reguły w badanych odwiertach czas interwałowy z profilowania akustycznego dobrze koreluje się z czasem uzyskanym metodą sieci neuronowych.

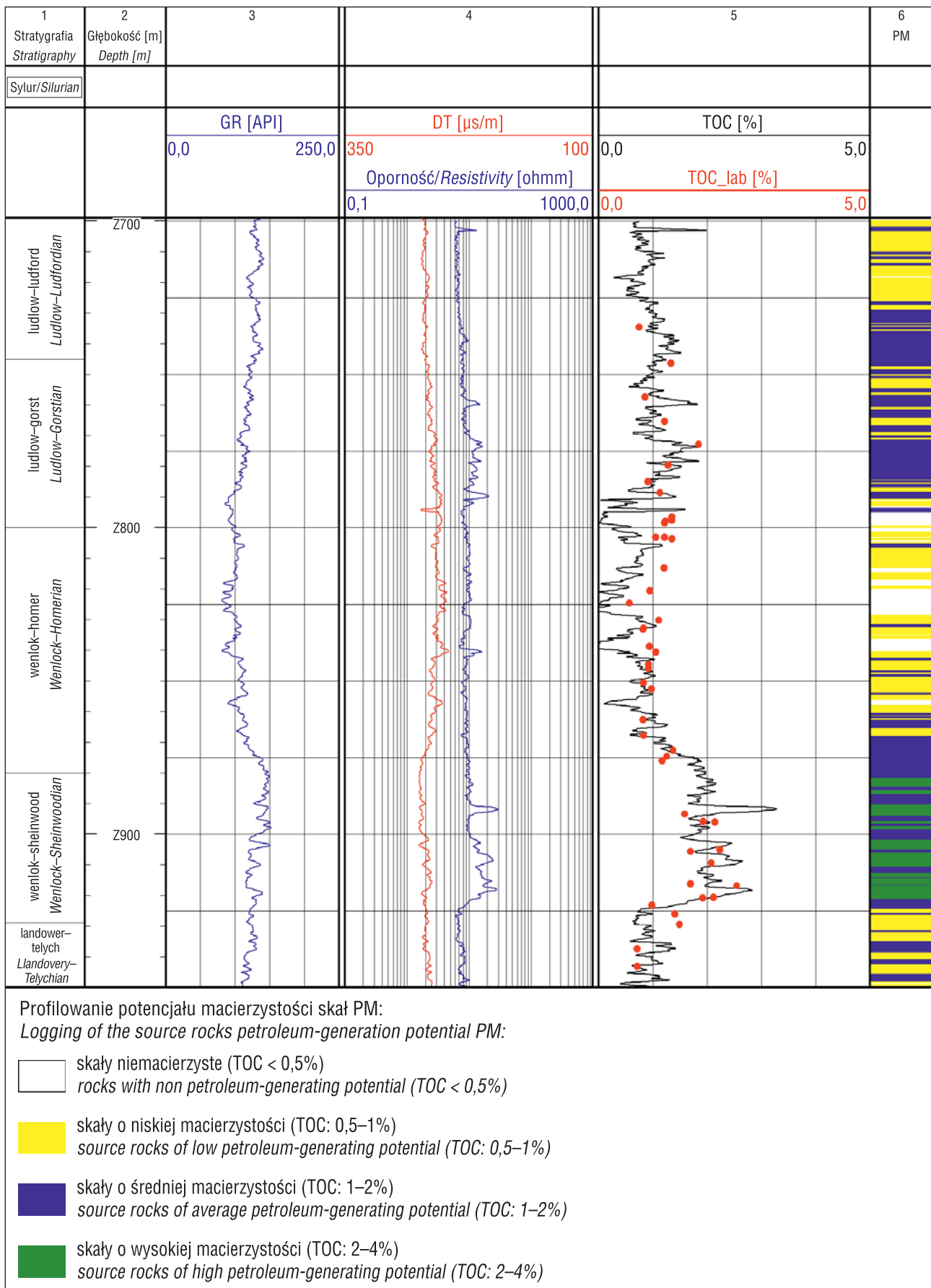


Ryc. 4. Zestawienie czasu interwałowego z profilowania akustycznego DT i określonego metodą sieci neuronowych DT_SNN w funkcji głębokości dla utworów karbońskich z obszaru monokliny przedsudeckiej w otworze wiertniczym Sici-ny IG 1

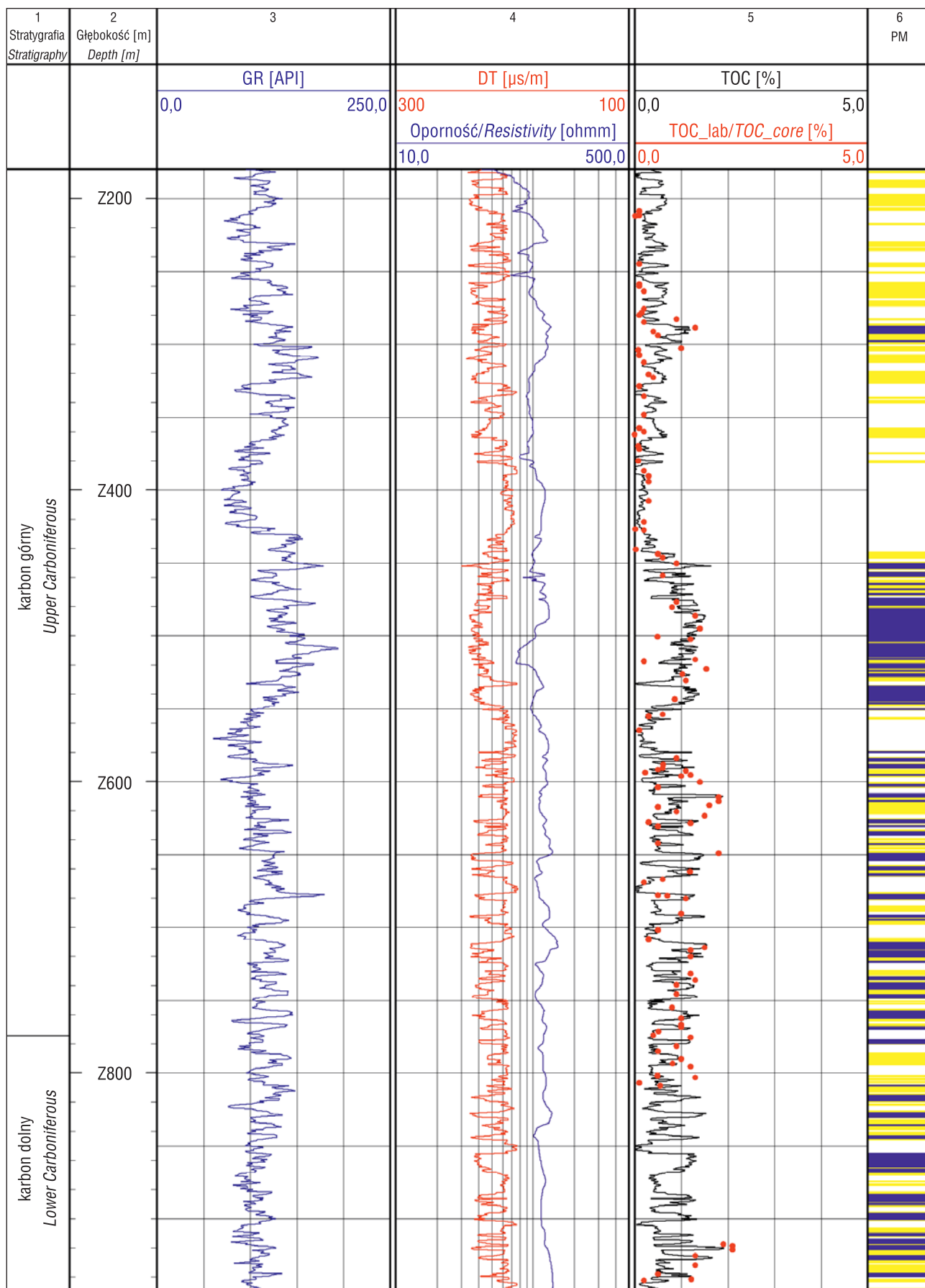
Fig. 4. Comparison of interval time of acoustic log DT with that determined using the neural network method DT_SNN for Carboniferous formations in the Fore-Sudetic Homocline basement in the Sici-ny IG 1 borehole

IŁOŚCIOWA OCENA PARAMETRU TOC METODĄ CARBOLOG W WYBRANYCH OTWORACH WIERTNICZYCH

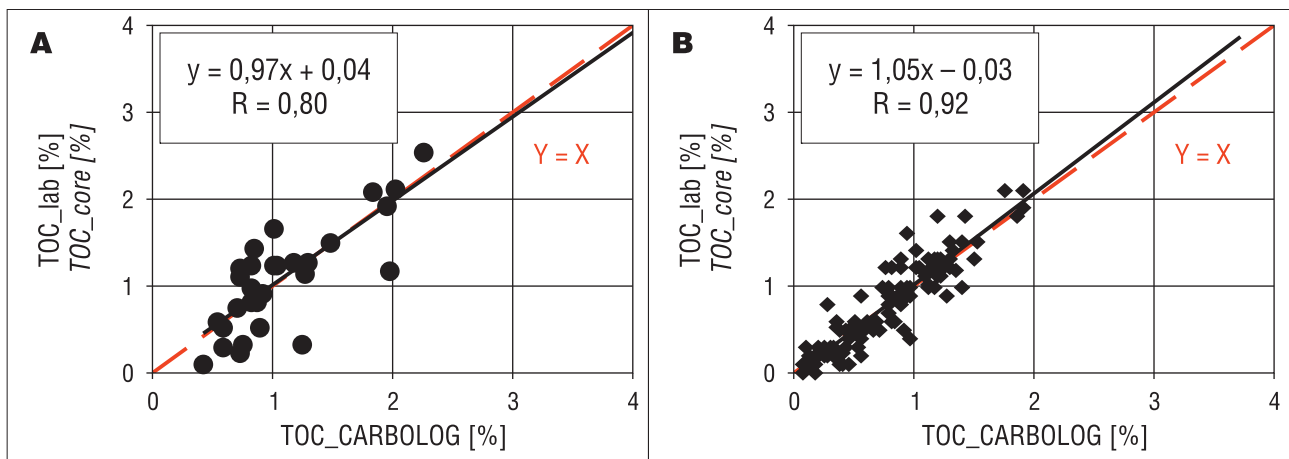
Ilościową ocenę zawartości substancji organicznej TOC wykonano w profilach 16 odwiertów z badanych obszarów. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki z dwóch z nich. Są to odwierty reprezentujące odpowiednio utwory niższego paleozoiku z basenu podlasko-lubelskiego (odwiert Tłuszcz IG 1) i skały karbońskie z obszaru podłoża monokliny przedsudeckiej (odwiert



Ryc. 5. Wyznaczenie zawartości substancji organicznej TOC metodą CARBOLOG w otworze wiertniczym Tłuszcz IG 1
Fig. 5. Determination of organic matter content (TOC) using the CARBOLOG method in the Tłuszcz IG 1 borehole



Ryc. 6. Wyznaczenie zawartości substancji organicznej TOC metodą CARBOLOG w otworze wiertniczym Września IG 1
 Fig. 6. Determination of organic matter content (TOC) using the CARBOLOG method in the Września IG 1 borehole



Ryc. 7. Korelacja wartości parametru TOC uzyskanych metodą CARBOLOG oraz z badań laboratoryjnych dla otworów: **A** – Tuszczy IG 1; **B** – Września IG 1

Fig. 7. The correlation parameter value of TOC obtained by the CARBOLOG method and laboratory testing for borehole: **A** – Tuszczy IG 1; **B** – Września IG 1

Września IG 1), w których nie zarejestrowano profilowania akustycznego.

Aby wykonać ilościową ocenę zawartości substancji organicznej TOC do estymacji czasu interwałowego w profilach odwiertów wykorzystano metodę sieci neuronowych. Do predykcji czasu interwałowego w otworze Tuszczy IG 1 wykorzystano metodę symulacji sieci neuronowych opracowaną dla odwiertu Terebin IG 5, dla otworu Września IG 1 – sieci neuronowe skonstruowane dla odwiertu Siciny IG 1. Oba otwory mają zbliżone profile litostratigraficzne. Przykłady wyników interpretacji profilowań geofizycznych pod kątem ilościowej oceny zawartości substancji organicznej TOC metodą CARBOLOG zaprezentowano na rycinach 5–6, poszczególne ich kolumny przedstawiają:

1. stratyfację,
2. głębokość,
3. wykres profilowania gamma GR,
4. wykresy profilowania akustycznego i oporności pozornej,

5. zawartości substancji organicznej TOC w funkcji głębokości, uzyskane metodą CARBOLOG, oraz z badań laboratoryjnych TOC_{lab} (zaznaczone punktami),

6. wartości profilowania potencjału macierzystości skał PM wg klasyfikacji Herrona przedstawione zadanym kolorem.

Wyniki zawartości substancji organicznej TOC uzyskane metodą CARBOLOG porównano z wartościami otrzymanymi z badań laboratoryjnych (ryc. 7).

Dla wszystkich szesnastu odwiertów z analizowanych obszarów uzyskano wartości współczynnika korelacji R w zakresie 0,80–0,99, w niniejszym opracowaniu R dla otworów Września IG 1 i Tuszczy IG 1 wynosi 0,80 i 0,92. Wartości te świadczą o dobrym poziomie dopasowania zawartości substancji organicznej TOC otrzymanej z pomiarów laboratoryjnych i z profilowań geofizycznych, co potwierdza poprawność zastosowanej metody CARBOLOG.

PODSUMOWANIE

1. Materiał geofizyczny pochodzący z wytypowanych odwiertów był bardzo zróżnicowany pod względem ja-

kości. Niedogodnością okazał się brak profilowania akustycznego w kilku z badanych otworów wiertniczych, a także wykonanie profilowań oporności elektrycznej sondami o różnej długości.

2. Do estymacji czasu interwałowego w odwiertach, w których profilowanie akustyczne nie było wykonywane, wykorzystano metodę sieci neuronowych. Skonstruowane sieci neuronowe zastosowano do predykcji czasu interwałowego dla odwiertów o podobnym profilu litostratigraficznym, w których nie wykonano profilowania DT. Pomiedzy wartościami czasu interwałowego otrzymanego metodą sieci neuronowych i z profilowania akustycznego uzyskano wartości współczynników korelacji R (0,75–0,88). Zaprezentowane wyniki potwierdzają, że technika sieci neuronowych pozwala na predykcję profilowania akustycznego w odwiertach, w których nie wykonano tego pomiaru albo wykonano je w niepełnym interwale. Jakość otrzymanych rezultatów zależy od dokładności pomiarów profilowań wykorzystywanych w konstrukcji sieci neuronowych. Należy podkreślić, że większość danych to profilowania archiwalne (gorsze jakościowo).

3. Przeprowadzono ilościową ocenę zawartości substancji organicznej TOC, przy wykorzystaniu metody CARBOLOG, w szesnastu otworach wiertniczych dla utworów niższego paleozoiku z basenu bałtyckiego i podlasko-lubelskiego oraz skał karbońskich z podłoża monokliny przedsudeckiej. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki z dwu otworów wiertniczych Tuszczy IG 1 i Września IG 1. Pomiedzy wartościami parametru TOC określonymi metodą CARBOLOG i z badań laboratoryjnych uzyskano współczynniki korelacji R w zakresie od 0,79 do 0,99, co potwierdza poprawność przyjętej do interpretacji metody CARBOLOG.

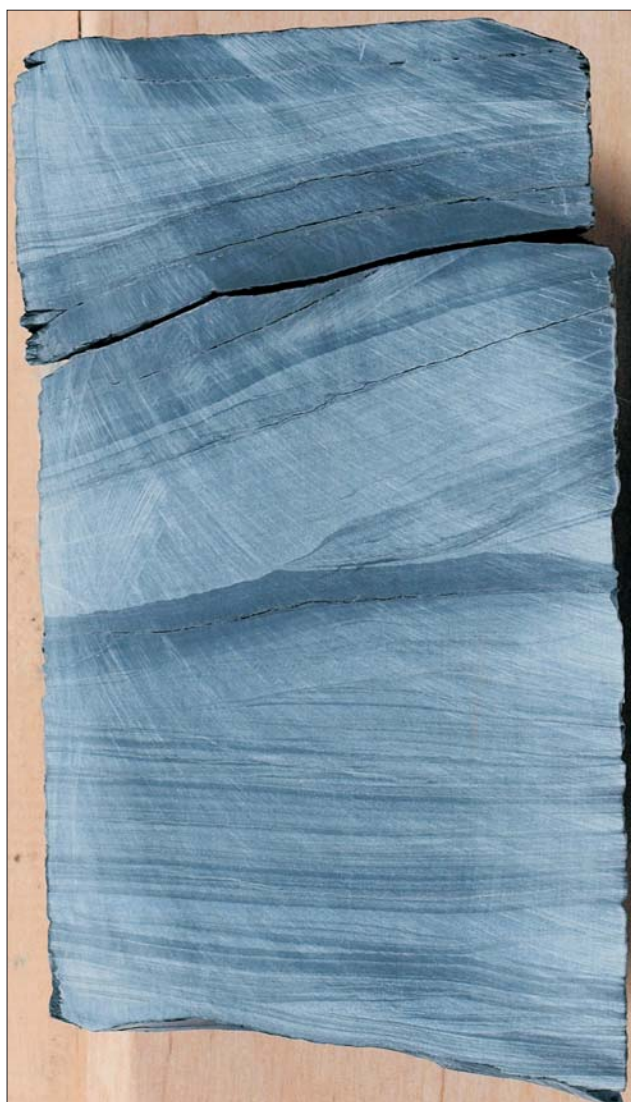
Autorzy artykułu składają podziękowanie pani prof. dr hab. inż. Marii Bała za recenzję i wkład w powstanie ostatecznej wersji artykułu. Artykuł powstał w ramach realizacji projektu: „Rozpoznanie stref perspektywicznych dla występowania niekonwencjonalnych złóż węgłowodórów w Polsce”, etap I – „Opracowanie informacji geologicznej zawierającej charakterystykę zmienności składu mineralnego, geochemicznego i petrofizycznych właściwości skał na podstawie badań laboratoryjnych oraz oceny ich macierzystości przeprowadzonej na podstawie analiz pomiarów geofizyki otworowej i ich korelacji z wynikami analiz przeprowadzonych w rdzeniu wiertniczym w oparciu o analizy z 15

otworów wiertniczych”, finansowanego przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, a realizowanego w PIG-PIB we współpracy z INiG-PIB w Krakowie.

LITERATURA

ARCHIE G.E. 1942 – The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. Soc. Petrol. Engineers., 146: 54–62.
CARPENTIER B., HUC A.Y. & BESSEREAU G. 1989 – Diagraphies et roches meres estimation de teneurs en carbone organique par la methode CARBOLOG. Rev. Inst. Fr. Petrol., 44 (6): 699–719.
CARPENTIER 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.
CIECHANOWSKA M. & KUŚMIEREK J. 1992 – Ocena potencjału macierzystości perspektywicznych formacji ropogazonośnych metodami geofizyki wiertniczej. Nafta-Gaz, 11–12: 269–277.
DARŁAK B. 1997 – Ocena możliwości wprowadzenia sieci neuronowych w badaniach petrofizycznych. Nafta-Gaz, 7–8: 308–313.
GAŚSIOR I. & REICHER B. 2014a – Estymacja czasu interwałowego z profilowań geofizyki otworowej metodą sieci neuronowych. Nafta-Gaz, 11: 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, 12: 881–890.
HERRON S.L. 1987 – A total organic carbon log for source rock evaluation. The Log Analyst., 28 (6): 520–527.
JARZYNA J., OPYRCHAŁ A. & MOZGOWOJ D. 2007 – Sztuczne sieci neuronowe dla uzupełnienia danych w geofizyce otworowej – wybrane przykłady. Kwart. Geol. AGH, 33 (4/1): 81–102.
PASSEY Q.R., CREANEY S., KULLA B., MORETTI F.J. & STROUD J.D. 1989 – Well log evaluation of organic-rich rocks. 14th International Meeting on Organic Geochemistry. Paris, abstract 75.
SUN S.Z., SUN Y., SUN C., LIU L. & DONG N. 2013 – Method of calculating total organic carbon from well logs and its application on rock’s properties analysis. GeoConvention: integration.
TANCK G.S. 1997 – 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.
TISSOT B.P. & WELTE D.H. 1978 – Petroleum Formation and Occurrence. A New Approach to Oil and Gas Exploration. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag.
WILLIE M.R.J., GREGORY A.R. & GARDNER L.W. 1958 – An experimental investigation of factors affecting elastic waves velocities in porous media. Geophysics, 23 (3), 459–493.



Różne typy laminacji w mułowcu, formacja z Kociewia, sylur, ludlow. Obie fot. R. Koczyński



Naprzemieszczone warstewki mułowca i pyłowca, formacja z Kociewia, sylur, ludlow