

METODYKA BADAŃ I INTERPRETACJI MATERIAŁÓW GEOFIZYKI WIERTNICZEJ STOSOWANA W PGGN TORUŃ DLA UTWORÓW CZERWONEGO SPĄGOWCA

GEOLOGICZNA CHARAKTERYSTYKA UTWORÓW CZERWONEGO SPĄGOWCA

Osady czerwonego spągowca uznawane są powszechnie za osady lądowe — pustyniowe. Osady takie (Ø) tworzą się w swoistych warunkach. Na ich wykształcenie mają wpływ: deflacja, ablacja deszczowa, silne wietrzenie mechaniczne i parowanie. Mogą to być utwory trojakiego rodzaju: 1) wydmy i lotne piaski, 2) aluwia tworzone przez rzeki, ablację gwałtownych deszczów i spływy mułowe oraz 3) osady wodne złożone w jeziorach na ogół okresowych.

Większa część tych utworów osadzała się w zagłębieniach. Na najbardziej stromych zboczach pozostawały tylko większe odłamki skalne. Potężne kotliny rzek okresowych w wyniku rzadkich, ale gwałtownych deszczów wypełniały się wodą i zwietrzeliną znoszoną przez ablację ze zboczy. U wylotu kotlin tworzyły się potężne stożki napływowe. Wody wymywały ze stożków napływowych drobniejszy materiał i osadzały wewnątrz kotlin. W ten sposób gruboziarniste okrucowiska przechodziły stopniowo w gruboziarniste piaski. Centralne części kotlin zajmowała mętna woda tworząca szybko wysychające jeziorzysko, zostawiające po sobie warstwę mułu. W mułach pustyniowych jest bardzo mało typowych minerałów ilastych. Z obszarów wietrzenia oraz aluwii wiatr wywiewał mniejsze ziarna i osadzał je na rozległych powierzchniach tworząc wielkie pola wydmy. Wydmy te mogły przemieszczać się zasypując coraz to inne obszary.

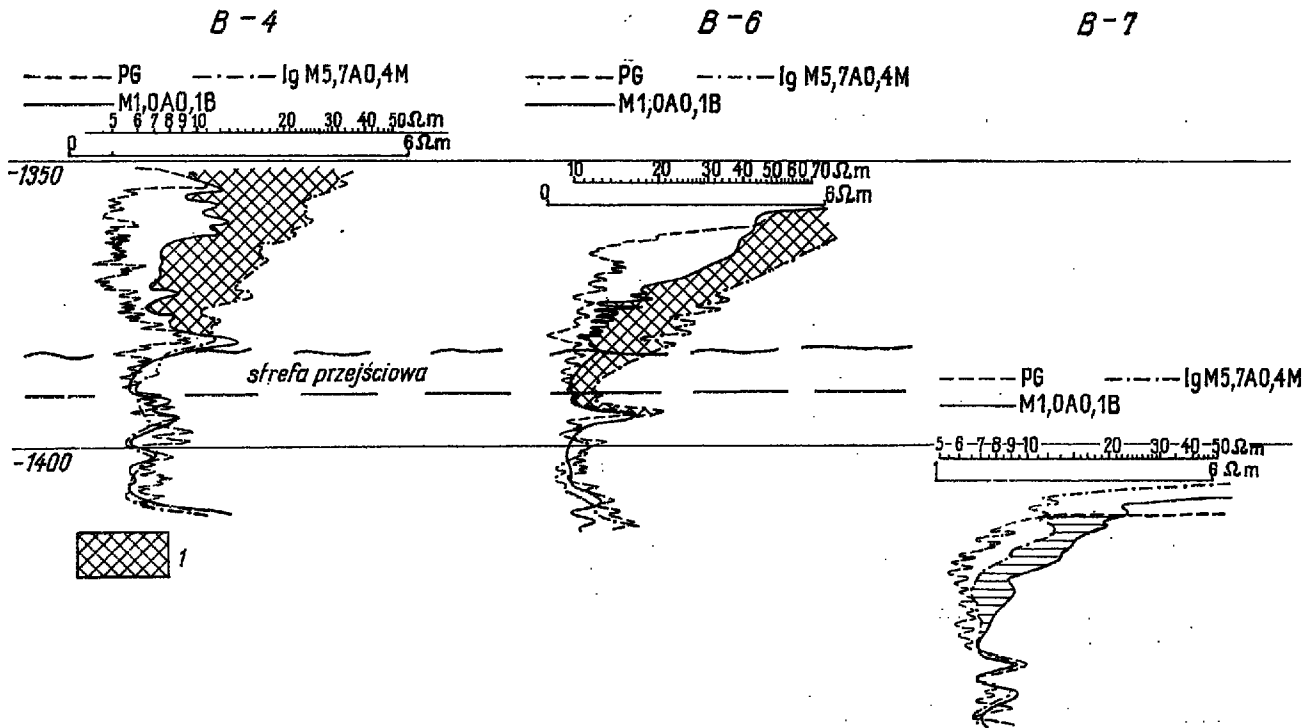
Barwy osadów pustyniowych zależą od barwy skał ulegających wietrzeniu i od utleniania. Zwykle w pustyniach poziom wód gruntowych leży głęboko. Występujące w tych warunkach silne parowanie sprzyja kapilarnemu podnoszeniu się wód. Podnosząca się woda wyciąga związki żelaza, które polekają ziarna mineralne nadając im czerwoną barwę. To kapilarne podnoszenie się wód powodować może również inkrustowanie osadów różnymi solami, jak np. węglanem wapnia, siarczanem wapnia czy chlorkiem sodu. Osady czerwonego spągowca jako

osady na ogół pochodzenia lądowego charakteryzują się warstwowaniem przekątnym na przemian z eolicznym — krzyżowym.

Dobrymi własnościami zbiornikowymi charakteryzują się osady czerwonego spągowca o lepszemu żelazistym. Spoiwo tego typu nie wypełnia całości porów. Niekorzystne jest spoiwo węglanowe, ilaste lub anhydrytowe, które w znacznym stopniu wypełniać może kanały łączące pory lub same pory. Wymienione typy lepszemu, w wyniku wypełniania dużej części kanałów łączących pory, powodują znaczne zmniejszenie przepuszczalności czyniąc te osady często wręcz nieprzepuszczalnymi. Zwykle stropowe partie czerwonego spągowca charakteryzują się właśnie tego typu lepszemu i w związku z tym gorszymi własnościami zbiornikowymi. W świetle przedstawionej charakterystyki geologicznej osadów czerwonego spągowca, zadania stawiane przed interpretacją materiałów geofizyki wiertniczej są bardzo złożone i obejmują, obok wydzielenia poziomów zbiornikowych oraz oceny ich nasycenia, ocenę typu osadów i charakterystykę ich lepszemu.

METODYKA INTERPRETACJI PRZED WPROWADZENIEM PROFILOWANIA AKUSTYCZNEGO

Do 1969 r. w PGGN, Toruń stosowano — dla oceny własności zbiornikowych i nasycenia — metodykę opartą na klasycznych zasadach interpretacji, wykorzystując głównie pomiary oporności i radiometrię. Metodyka ta, ogólnie rzecz biorąc, sprowadzała się do oceny porowatości K_p na podstawie danych geofizycznych (głównie krzywych oporności) i w dalszej kolejności oceny na tej podstawie oporności piaskowca przy 100% jego zawodnieniu. Zestawienie uzyskanej w ten sposób wartości oporności z opornościami obserwowanymi pozwalało w wielu przypadkach na prawidłową ocenę nasycenia czerwonego spągowca, czego dowodem jest odkrycie w wielu odwiertach poziomów gazonośnych. Jest rzeczą oczywistą, że stosowanie takiego sposobu postępowania podyktowane było stosowaną w tym czasie metodyką badań w odwiertach. Nie dysponowano



Ryc. 1. Wydzielenie kontaktu gaz-woda w obrębie utworów czerwonego spągowca dla złoża B, sposobem modyfikacji równania Dolla.

1 — poziomy nasycone gazem.

Fig. 1. Delineation of gas-water contact in Rotliegendes deposits of gas field B by the method of modification of Doll's equation.

1 — horizons saturated with gas.

bowiem w tym okresie innymi metodami określania porowatości poza niedoskonałą — w przypadku utworów piaskowcowych — metodą neutron-gamma, na podstawie której można by określić porowatość w sposób względnie niezależny od nasycenia.

Specyficzny skład litologiczny utworów czerwonego spągowca, a więc jego bardzo różnorodne lepiszcze (ilaste, węglanowe czy żelaziste, a szczególnie węglanowe lub węglanowo-ilaste) w stropowej części było przyczyną często zbyt optymistycznych orzeczeń geofizycznych (np. rejon Tarchań i in.). W 1969 r. Pracownia Opracowań Zbiorczych PGGN, Toruń przystąpiła do analizy skuteczności stosowanej metodyki interpretacji, poszukując jednocześnie najbardziej skutecznej metodyki oceny własności zbiornikowych i nasycenia dla poziomu wapienia podstawowego i czerwonego spągowca w obrębie złoża B. Obok analizy wyników interpretacji i opróbowania, zaproponowano i zestawiono dla oceny nasycenia czerwonego spągowca sposób normalizacji, oparty na zasadzie równania PS. Istota tego sposobu wynika z następujących przekształceń równania Dolla:

$$E_{PS} = -K \lg \frac{\rho_f}{\rho_{wz}} = -K \lg \frac{\rho_f \cdot P_p}{\rho_{wz} P_p} = -K \lg \frac{\rho_{sp}}{\rho_{ww}} = -K (\lg \rho_{sp} - \lg \rho_{ww}) = -K \lg \rho MPO_{st} - \lg \rho PO_{st} \quad [1]$$

gdzie:

PS — profilowanie polaryzacji naturalnej, E_{PS} — amplituda statyczna polaryzacji naturalnej, K_{PS} — współczynnik dyfuzyjny, ρ_f — oporność filtratu płuczki, ρ_{wz} — oporność wody złożowej, P_p — parametr porowatości, ρ_{sp} — oporność strefy przemytej, ρ_{ww} — oporność właściwa warstwy wodonośnej.

W obrębie poziomów zbiornikowych cechsztyru ρ_{wz} ρ_f , a zatem stosunek $\rho_f/\rho_{wz} \cong 1$, czyli stosunek $\rho_{sp}/\rho_{ww} \cong 1$. Najbardziej efektywnymi metodami, pozwalającymi na uzyskanie tych wartości w omawianych warunkach, jest sterowane mikroprofilowanie oporności MPO_{st} i sterowane profilowanie oporności PO_{st} . Tak więc w obrębie poziomów zbio-

rnikowych nasyconych wodą złożową różnica $\lg \rho MPO_{st} - \lg \rho PO_{st}$ powinna być w przybliżeniu równa zeru. W przypadku poziomu nasyconego bituminami różnica ta jest różna od zera, przy czym wielkość jej jest proporcjonalna do nasycenia bituminami. Jak wynika z powyższych rozważań, dla pełnego i efektywnego stosowania tej metodyki interpretacji w obrębie czerwonego spągowca wymagane jest spełnienie wielu warunków, z których nie wszystkie w omawianym przekroju mogły być w pełni spełnione.

1. Ze względu na dowiercanie czerwonego spągowca płuczkami zmineralizowanymi należało z góry zrezygnować z krzywej PS, która w warunkach nie zmineralizowanych płuczek wiertniczych daje informacje o własnościach zbiornikowych danego poziomu.

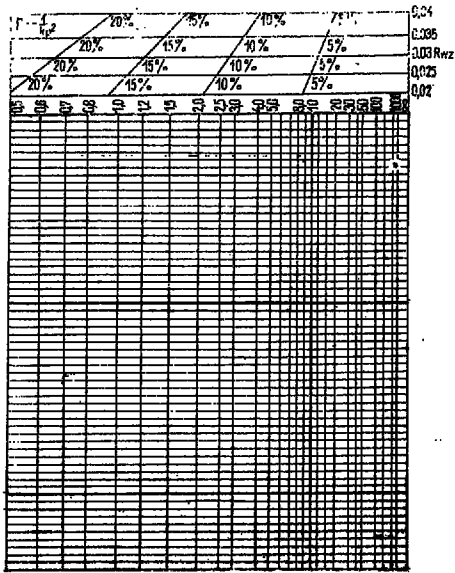
2. Nie dysponowano w tym czasie sterowanym mikroprofilowaniem oporności (obecnie metoda ta jest już wdrażana). W tej sytuacji dla sprawdzenia skuteczności metodyki przyjęto pewne uproszczenia:

a) bazując na korelacyjnym związku istniejącym dla przekrojów piaszczysto-ilastych między krzywą PS a krzywą PG, wykorzystano w tym przypadku (z braku w tym czasie innych skutecznych metod porowatości) krzywą PG;

b) z tych samych powodów zastąpiono metodę sterowanego mikroprofilowania oporności wynikami sondy symetrycznej lub krótkiej sondy gradientowej;

c) z uwagi na obserwowany wpływ efektu ekranowania na krzywych PO_{st} , w obrębie najbardziej interesującej stropowej części czerwonego spągowca wyniki tej metody uzupełniano często danymi uzyskiwanymi z długiej sondy gradientowej.

Tak duże uproszczenia, wynikające — jak to już wyżej powiedziano — z możliwości metodyczno-sprzętowych, spowodowały konieczność przeanalizowania skuteczności metodyki i ustalenia warunków stosowalności. Korzystając ze zbiorów krzywych teoretycznych BSO można ustalić, iż ten sposób interpretacji przy wyżej przedstawionych uproszczeniach może dać pozytywne rezultaty dla utworów czerwonego spągowca o porowatości większej niż 15%.



Ryc. 2. Siatka ze skalą hiperboliczną do przetwarzania krzywej oporności na liniową skalę porowatości.

Fig. 2. Net with hyperbolic scale for transformation of resistance curve into linear porosity scale.

Przy niższych porowatościach wynik może być niejednoznaczny, a dodatnie przyrosty wymagają dodatkowej szczegółowej analizy.

Skuteczność metody przebadano na jednym ze znanych złóż B. Przykład wydzielenia kontaktu gaz-woda w obrębie czerwonego spągowca za pomocą omówionego wyżej sposobu ilustruje przekrój korelacyjny wzdłuż otworów B-4, B-6 i B-7 przedstawiony na ryc. 1. Analiza danych przedstawionych na ryc. 1, jak i wielu innych przekrojów opracowanych tą metodyką pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków.

1. W obrębie utworów czerwonego spągowca, charakteryzujących się lepszem żelazisto-ilastym, istnieje dość ścisła korelacyjna zależność między profilowaniem gamma PG i profilowaniem oporności PO. Wyraźne zaburzenie korelacyjnego związku między tymi krzywymi obserwuje się w obrębie przedziału stropowego charakteryzującego się lepszem węglanowym lub węglanowo-ilastym. Również w obrębie poziomów nasyconych bituminami o lepszem żelazisto-ilastym obserwuje się podobne, choć mniejsze zaburzenie korelacji.

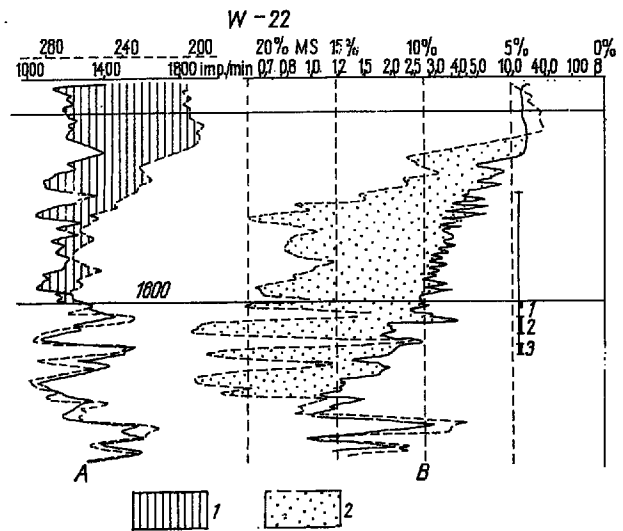
2. Obserwowany związek między profilowaniem gamma a profilowaniem oporności w obrębie utworów o lepszem żelazisto-ilastym świadczy o możliwości traktowania wyników PG w utworach o tym typie lepszem jako funkcji zmian własności zbiornikowych.

3. Zaburzenie korelacji między PG i PO (krótką sondą) nie pozwala na jednoznaczną ocenę własności zbiornikowych najbardziej interesującej, stropowej partii czerwonego spągowca. Wyłoniła się więc pilna konieczność zastosowania dodatkowej metody oceny porowatości — niezależnej od nasycenia i wpływu geometrii odwiertu, np. profilowania akustycznego w wersji Δt (PA Δt).

4. Na przykładzie złoża B wykazano, iż przy użyciu przedstawionej metodyki można określić kontakt gaz-woda, zwłaszcza jeśli występuje on w obrębie utworów o lepszem żelazisto-ilastym. Stropowa część tych utworów, charakteryzująca się często lepszem węglanowym lub węglanowo-ilastym stwarzała w dalszym ciągu największą trudność przy ocenie jej własności zbiornikowych i nasycenia.

METODYKA INTERPRETACJI Z WYKORZYSTANIEM PROFILOWANIA AKUSTYCZNEGO

Mimo iż PGGN w Toruniu dysponowało już wcześniej metodą profilowania akustycznego PA



Ryc. 3. Przykład wydzielenia kontaktu gaz-woda sposobem „Movable Oil Plot” z wykorzystaniem metod PA i PO_{st} .

1 — lepszem węglanowe, 2 — poziomy nasycone gazem.

Fig. 3. An example of delineation of gas-water contact by the „Movable Oil Plot” method with the use of PA and PO_{st} methods.

1 — carbonate cement, 2 — horizons saturated with gas.

(aparatura ŁAK-2), dopiero w 1970 r. rozpoczęto wdrażanie aparatury akustycznej typu USBA-21/II umożliwiającej rejestrację krzywej Δt . Szybko okazało się, iż jest to podstawowa metoda dla ilościowej oceny porowatości poziomów zbiornikowych permu. W osadach cechsztynu, z uwagi na występowanie w ich przekroju stabilnych poziomów oporowych, możliwa jest ilościowa ocena porowatości, nawet przypadku niedokładnego skalowania pomiaru.

Ocena nasycenia. Dysponując skuteczną metodą oceny porowatości dla utworów czerwonego spągowca można było wykorzystać ją, w powiązaniu z metodami zależnymi od nasycenia, do wydzielenia poziomów nasyconych bituminami. W tym celu na początku 1972 r. (4) adaptowano technikę zwaną przez firmę Schlumberger „Quick-Look” w wersji metody ruchomej ropy (Movable Oil Plot; 12). Technika ta polega na porównaniu trzech metod porowatości (Kp):

1) Kp (Kp_{st}) — porowatość uzyskana z profilowania oporności krótkiego zasięgu, np. mPO_{st} (stworane mikroprofilowanie oporności);

2) Kp (Kp_{msz}) — porowatość uzyskana z profilowania oporności krótkiego zasięgu, np. mPO_{st} (stworane mikroprofilowanie oporności);

3) Kp (Kp_A) — porowatość uzyskana na podstawie profilowania akustycznego PA lub innej metody w małym stopniu zależnej od nasycenia, np. PGG (profilowanie gamma-gamma).

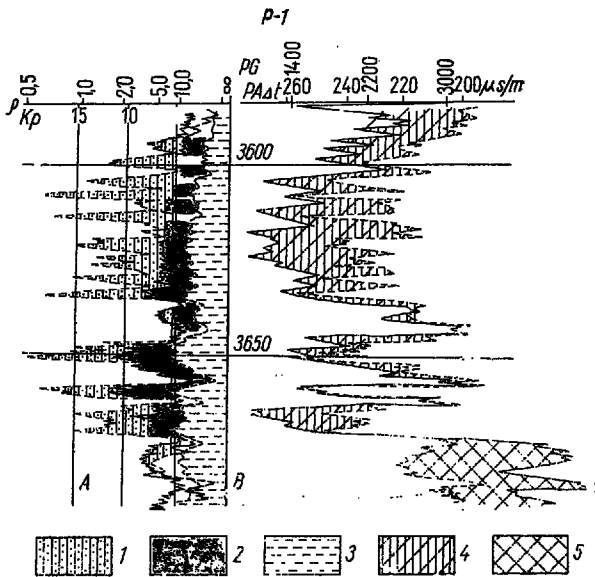
Sposób ten wynika z klasycznej zależności

$$Kw^n = \frac{a \cdot \rho_{wz}}{Kp^m \cdot \rho} \quad [2]$$

gdzie: Kw — współczynnik zawadnienia, ρ_{wz} — oporność właściwa wody złożowej, Kp — współczynnik porowatości, ρ — oporność właściwa poziomemu, n — wskaźnik zwilżalności, m — wykładnik zwiększenia, a — współczynnik proporcjonalności.

Jeśli $n = 2$, $m = 2$ i $a = 1$, wówczas można napisać

$$Kp \cdot Kw = \sqrt{\frac{\rho_{wz}}{\rho}} \quad [3]$$



Ryc. 4. Przykład oceny nasycenia i typu lepiszcza w przekroju czerwonego spągowca z wykorzystaniem trzech metod porowatości oraz profilowania gamma.

1 — pory wypełnione bituminami niewydobywalnymi, 2 — pory wypełnione bituminami wydobywalnymi, 3 — pory wypełnione wodą, 4 — lepiszcze węglanowe, 5 — skały wylewne.

Fig. 4. Examples of estimations of saturation and cement type along the section of the Rotliegendes with the use of three methods of porosity and gamma logging.

1 — voids filled with unobtainable bitumens, 2 — voids filled with obtainable bitumens, 3 — voids filled with water, 4 — carbonate cement, 5 — intrusive rocks.

W warunkach wiercenia płuczkami o pełnej mineralizacji

$$\rho_{st} \approx \rho$$

$$Q_{mst} \approx Q_{sp}$$

a zatem $Kp_{POst} = Kp \cdot Kw$

$$Kp_{mPOst} = Kp \cdot Kw_{sp}$$

gdzie: ρ_{st} — oporność właściwa wg PO_{st} , Q_{mst} — oporność właściwa wg mPO_{st} , Q_{sp} — oporność strefy przemytej, Kw_{sp} — współczynnik zawodnienia strefy przemytej.

W związku z tym dla skały w 100% zawodnionej zależności [3] można napisać następująco:

$$Kp_{st} = \sqrt{\frac{Q_{wz}}{Q_{st}}} = \frac{1}{\sqrt{Pp}}$$

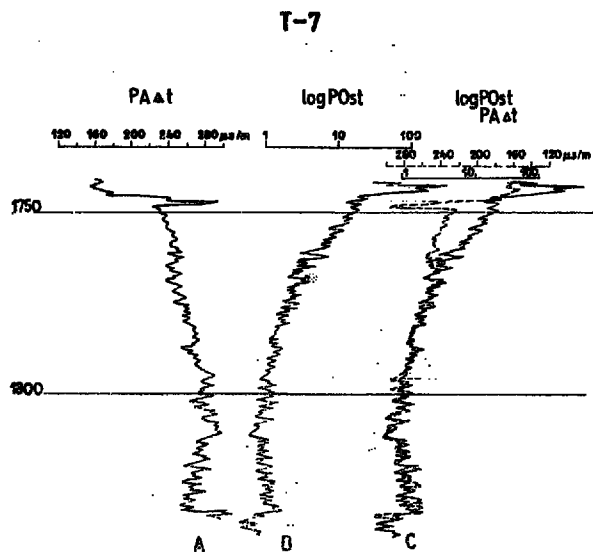
i analogicznie $Kp_{mst} = \sqrt{\frac{Q_f}{Q_{mst}}} = \frac{1}{\sqrt{Pp}}$

gdzie: Pp — parametr porowatości, przy założeniu $Q_{wz} = \text{const.}$ i $Kw = \text{const.} = 1$.

$$Kp_{st} = \frac{1}{\sqrt{Q_{st}}} \quad \text{a} \quad Kp_{mst} = \frac{1}{\sqrt{Q_{mst}}}$$

Przetwarzając zatem krzywe PO_{st} i MPO_{st} ze skali liniowej na skalę hiperboliczną $\left(\frac{1}{\sqrt{x}}\right)$ możemy

przedstawić zmiany oporności rejestrowane tymi metodami w liniowej skali porowatości. Sprowadzając krzywą PA do tej samej skali porowatości uzys-



Ryc. 5. Przykład wykorzystania krzywej PO_{st} zarejestrowanej w skali logarytmicznej, dla oceny nasycenia utworów czerwonego spągowca.

Fig. 5. An example of use of PO_{st} curve recorded in logarithmic scale in estimating saturation of the Rotliegendes deposits.

kuje się w części zawodnionej przekroju korelację trzech krzywych porowatości. Oznacza to, że:

$$Kp_{mst} = Kp_{st} = Kp_A \quad \text{dla} \quad Kw = 1$$

W części przekroju charakteryzującym się nasyceniem węglowodorami obserwuje się rozbieżność krzywych. Różnica między Kp_A i Kp_{POst} jest interpretowana jako różnica między $Kp - Kp \cdot Kw$ i oddaje objętość frakcji węglowodorowej w strefie nie skażonej filtratem. Natomiast różnica między Kp_A i Kp_{mst} jest różnicą $Kp - Kp \cdot Kw_{sp}$, która oddaje objętość resztkowego nasycenia węglowodorami. Stąd różnica między $Kp \cdot Kw - Kp - Kw_{sp}$ daje objętość por nasycionych węglowodorami wydobywalnymi (ruchomymi).

Praktyczne ręczne wykorzystanie tego sposobu w PGGN, Toruń sprowadza się do następujących czynności.

1. Przetwarza się krzywą PO_{st} lub inną krzywą PO oddającą oporność właściwą ze skali liniowej na skalę $\frac{1}{\sqrt{Q}}$ za pomocą specjalnie przygoto-

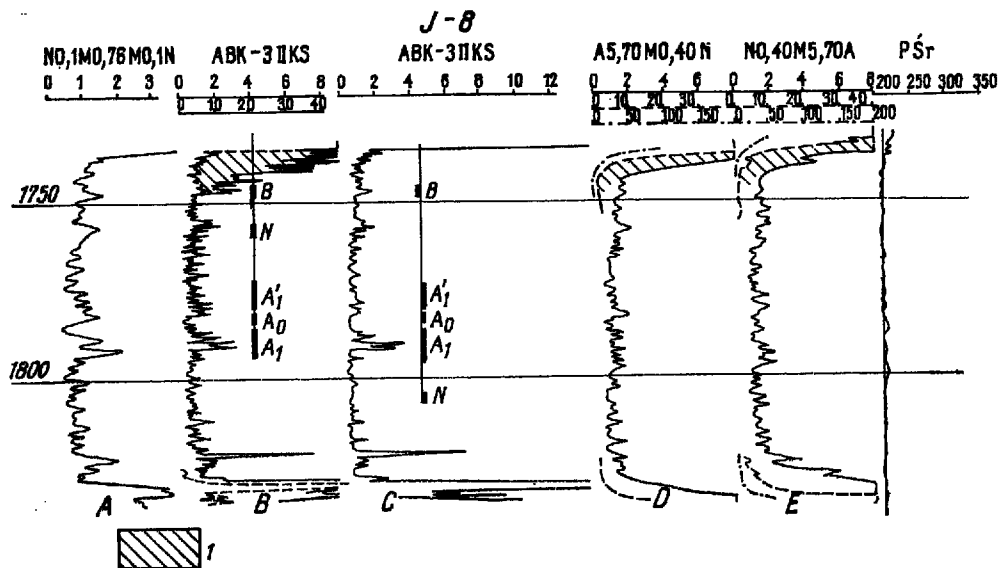
wanych siatek ze skalą hiperboliczną (ryc. 2).

2. Podobnie przetwarza się krzywą MPO_{st} .

3. W drodze liniowego powiększenia lub pomniejszenia skali $PA_{(st)}$ sprowadza się te trzy krzywe do jednakowej skali porowatości w obrębie zawodnionej części przekroju.

Zaburzenie korelacji porowatości uzyskanej za pomocą tych trzech metod lub przynajmniej metody 1 i 3 w formie zwiększonej porowatości uzyskanej z PA świadczy o możliwości nasycenia tej części przekroju bituminami. Przykłady przemysłowego zastosowania tej metody z wykorzystaniem PA i PO_{st} oraz wszystkich trzech metod oceny porowatości przedstawiono na ryc. 3B i 4A.

Automatyzacja procesów interpretacji. Stosunkowo duża prędkość omówionego sposobu interpretacji skłoniła do podjęcia prac nad jej automatyzacją, która w PGGN, Toruń jest prowadzona: 1) na drodze cyfrowej, 2) na drodze analogowej. Na początku 1974 r. opracowano program GEOFWIERT 74, omówiony w artykule (8) oraz podjęto prace nad konstrukcją urządzenia analogowego służącego do rejestracji krzywych oporności w skali porowatości bezpośrednio na otworze (3). Wprowadza się ponadto skonstruowany w PGGN, Toruń logarytmiczny



Ryc. 6. Wpływ efektu ekranowania i sposób jego eliminacji za pomocą zmodyfikowanego układu elektrod w przyrządzie do PO_{st} .

1 — efekt ekranowania.

Fig. 6. Effect of screening and the method of its elimination involving the use of modified electrode system in PO_{st} device.

1 — effect of screening.

wzmacniacz operacyjny, którego zastosowanie umożliwia m. in. rejestrację krzywych oporności w skali logarytmicznej.

Rejestracja krzywej PO_{st} w skali logarytmicznej w kompleksie z krzywą $PA_{\Delta t}$ umożliwia szybką ocenę nasycenia poziomu czerwonego spągowca dzięki istnieniu korelacyjnego związku między tymi krzywymi w obrębie poziomów przewodzących (13). Na ryc. 5 przedstawiono krzywe $PA_{\Delta t}$ i $lgPO_{st}$ (A i B) w postaci takiej, w jakiej zostały one zarejestrowane bezpośrednio na otworze. Część C tego rysunku ilustruje proste nałożenie tych krzywych, w wyniku którego uzyskuje się niemal idealną ich korelację. Obserwowane w części stropowej zaburzenie tej korelacji ma charakter rozejścia, mogącego świadczyć o nasyceniu bituminami. Ponieważ wzrost oporności w tej części przekroju na krzywej PO_{st} nie znalazł potwierdzenia na profilowaniu oporności długą sondą gradientową, rozejście to interpretowane jest jako wpływ efektu ekranowania na PO_{st} .

Efekt ekranowania jest zjawiskiem bardzo niekorzystnym dla interpretacji przekrojów czerwonego spągowca, gdyż uniemożliwia jej przeprowadzenie dla najbardziej interesującej, stropowej partii tych utworów. Mimo iż z reguły stropowa część tych utworów charakteryzuje się złymi własnościami zbiornikowymi, ocena nasycenia tej części przekroju ma bardzo ważne znaczenie poszukiwawcze.

Dla rozwiązania tego problemu wykonano w PGGN, Toruń wiele prac doświadczalnych, z których najlepsze wyniki dało zmodyfikowanie układu pomiarowego elektrod przyrządu do sterowanego profilowania oporności (6); ryc. 6C ilustruje zarówno zmodyfikowany układ elektrod, jak i uzyskany efekt. Wadą tego rozwiązania jest to, iż dla wykonania pomiaru wymagane jest przewiercenie przynajmniej 15 m osadów czerwonego spągowca.

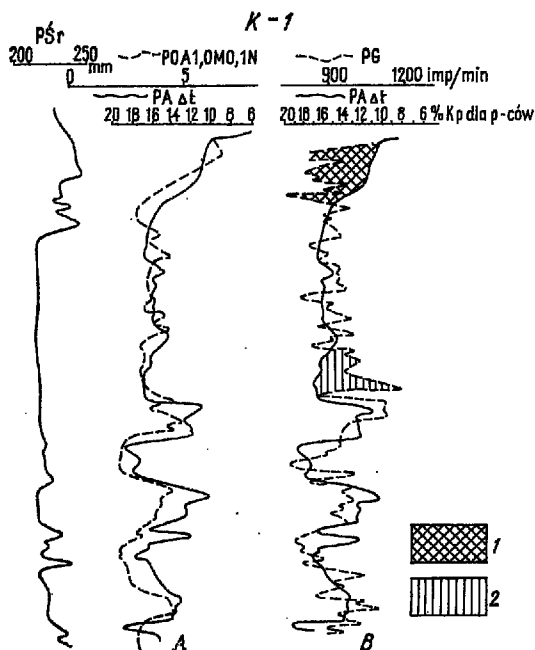
Inne możliwości oceny nasycenia. Nasycenie gazem w różny sposób wpływa na poszczególne metody pomiaru porowatości. Metody profilowania akustycznego PA i gęstościowego PGG mogą dawać zbyt optymistyczne wartości K_p w stosunku do metod neutronowych (np. profilowania neutron-gamma — PNG). Sprowadzenie zatem krzywych PA i PNG lub PGG i PNG do jednakowej skali porowatości w obrębie poziomu nasyczonego wodą pozwala często na wyznaczenie kontaktu gaz-woda. Efekt taki uzyskać można w przypadku niezbyt głębokiego zasięgu strefy filtracji przy jednocześnie stosunkowo dużym resztkowym nasyceniu gazem.

OCENA WŁASNOŚCI ZBIORNIKOWYCH

Własności zbiornikowe czerwonego spągowca są ściśle związane z typem nawierzonej facji tych osadów. Jak wykazały petrofizyczne badania rdzeni (10, 11) zarówno lepsze węglanowe, jak i ilaste obniżają porowatość i przepuszczalność. Szczególnie ujemny wpływ na własności zbiornikowe wywiera obecność lepszca węglanowego bądź też jego mieszaniny z ilastym.

Możliwość oceny porowatości, a także typu lepszca na podstawie danych z profilowań geofizycznych pozwala na wyciąganie wniosków o własnościach zbiornikowych przewierconego przekroju; jest to bardzo ważne, zwłaszcza dla tej części, która nasyciona jest bituminami, gdyż umożliwia dokonanie oceny przemysłowej wartości poziomu. Na ryc. 7A przedstawiono korelacyjne zestawienie krzywych profilowania oporności i profilowania akustycznego (Δt). Obserwuje się tutaj dość ścisłą korelację tych 2 krzywych. Świadczy to, iż obie metody mogą służyć do oceny porowatości. Przy założeniu pewnych uproszczeń profilowanie gamma wykorzystywane było w sposobie modyfikacji równania Dolla jako krzywa zmian porowatości. Po zastosowaniu profilowania akustycznego stało się możliwe przeanalizowanie słuszności stosowanych założeń. W tym celu na ryc. 7B dokonano korelacyjnego zestawienia PG i $PA_{\Delta t}$. Z zestawienia tego wynika jasno, iż wzrostowi zaillenia (podwyższone anomalie na krzywej PG) towarzyszy zmniejszenie porowatości. W stropowej partii obserwuje się obniżoną anomalię na krzywej PG , której jednocześnie odpowiada zmniejszona wartość porowatości akustycznej. Ten typ rozejścia interpretowany być może występowaniem lepszca węglanowego (lub siarczanowego).

W środkowej partii przekroju występuje podwyższona anomalia radiometryczna, której nie towarzyszy charakterystyczne dla większości osadów czerwonego spągowca zmniejszenie porowatości. Ten typ anomalii wywołać mogą osady zbudowane z okrucichów skał wylewnych. Jak z powyższego wynika, normalizacja krzywych PG i PA , a więc krzywych, na które w stosunkowo małym stopniu wywierają wpływ zmiany średnicy otworu i nasycenia, pozwala na wyciąganie wielu ważnych wniosków o typie osadów przewierconego przekroju i na tej podstawie o ich własnościach zbiornikowych. Krzywa Δt przeskalowana w jednostkach porowatości pozwala na śledzenie zmian tego parametru z głębokością, natomiast znormalizowanie jej z krzywą PG pozwala wyjaśnić przyczyny powodujące te zmia-



Ryc. 7. Przykład zestawienia krzywych PO i PA w celu wydzielenia lepszca węglanowego i wykazania związków korelacyjnych między różnymi parametrami geofizycznymi w obrębie czerwonego spągowca. 1 — utwory czerwonego spągowca o lepszcu węglanowym, 2 — o podwyższonej promieniotwórczości.

Fig. 7. An example of plotting of PO and PA and PG and PA curves for identification of carbonate cement and determination of correlations between various geophysical parameters of Rotliegendes deposits.

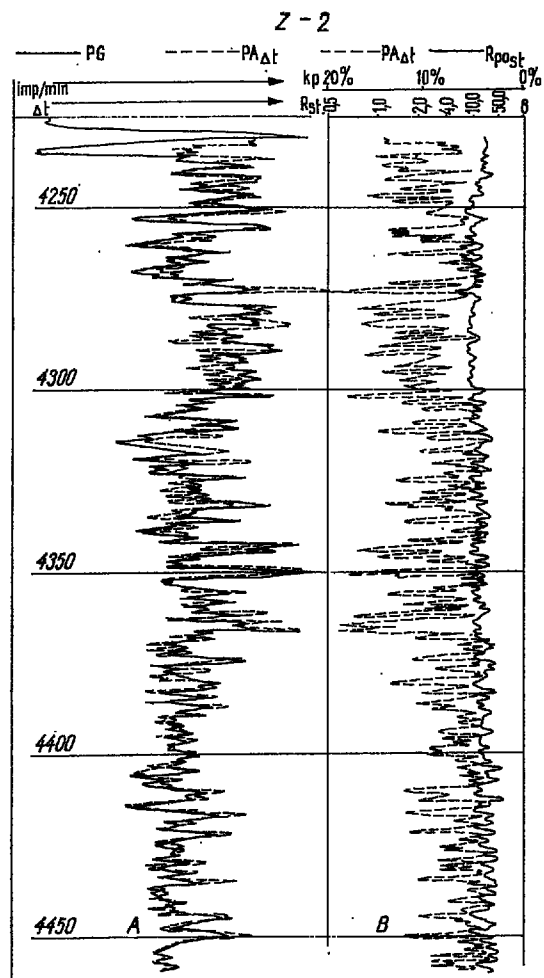
1 — Rotliegendes deposits with carbonate cement, 2 — of upper radioactivity.

ny, a więc typ lepszca, które z kolei wywiera istotny wpływ na zmiany przepuszczalności.

Zastosowanie omówionego sposobu oceny własności zbiornikowych czerwonego spągowca ilustrują rysunki 3A i 4B. Brak przemysłowego przyływu gazu z przekroju czerwonego spągowca przewierconego otworem P-1 (mimo stosunkowo wysokiej porowatości ogólnej i nasycenia bituminami), potwierdzony wynikami opróbowań, spowodowany jest — jak się wydaje — tym, iż cały przekrój tych utworów charakteryzuje się lepszem węglanowym lub węglanowo-łlastym, co w konsekwencji czyni je praktycznie nieprzepuszczalnymi lub słabo przepuszczalnymi.

Na podstawie dotychczas uzyskanych danych opróbowań i zestawienia ich z wartościami porowatości ocenianymi na podstawie profilowania akustycznego można sądzić, iż utwory czerwonego spągowca charakteryzujące się porowatościami niższymi od 8% nie dają przyływów. Wielkości przyływów uzyskiwane z poziomów charakteryzujących się porowatościami w przedziale 8—15% uzależnione są od typu lepszca. Oznacza to, iż w przypadku niekorzystnego lepszca nawet poziomy o porowatości ogólnej 15% mogą dawać bardzo słabe przyływy. Tak więc dla oceny własności zbiornikowych utworów czerwonego spągowca niezbędna jest kompleksowa analiza materiałów geofizycznych. Analiza ta wskazuje, iż własności zbiornikowe są ściśle związane z typem lepszca. Zarówno lepszce ła-
ste, jak i węglanowe pogarsza własności zbiornikowe obniżając porowatość, jak i przepuszczalność.

Podstawowymi metodami przy ocenie własności zbiornikowych w utworach czerwonego spągowca jest profilowanie akustyczne i sterowane mikroprofilowanie oporności. Na podstawie profilowania akustycznego ocenić można współczynnik porowatości, a w kompleksie z profilowaniem gamma — typ lepszca. Metoda sterowanego mikroprofilowania oporności umożliwia uzyskanie informacji o porowatości efektywnej, decydującej o własnościach zbiornikowych. Ujemną stroną tej metody jest du-



Ryc. 8. Przykład przekroju utworów czerwonego spągowca typu wodnego.

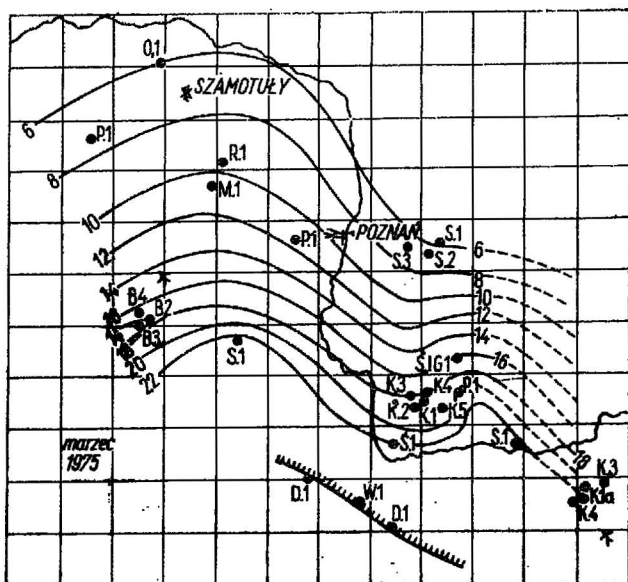
Fig. 8. An example of section through Rotliegendes deposits of the water type.

ży wpływ stanu technicznego otworu (średnicy) na uzyskiwane rezultaty, jak również trudności w ocenie wpływu nasycenia na uzyskiwane wartości Kpe.

TYPY ZAILIEN W UTWORACH CZERWONEGO SPĄGOWCA

W przedstawionych przykładach podwyższone anomalie radiometryczne związane z zaileniem manifestują się na krzywej Δ_t zwiększoną prędkością. Oznacza to, że zwiększenie zailenia powoduje obniżenie porowatości. Rycina 8 ilustruje część przekroju utworów czerwonego spągowca przewierconego otworem Żłotów-2. Na rycinie tej sprowadzono do jednakowej skali porowatości krzywą $PA_{\Delta t}$ i PO_{st} (ryc. 8B). Na podstawie tego zestawienia można by wyciągnąć wniosek, iż wiele przewarstwień porowatych charakteryzuje się nasyceniem bituminami. Przeprowadzona dodatkowo normalizacja krzywych $PA_{\Delta t}$ i PG wykazała, iż występuje tu odwrotny wpływ zailenia na krzywą Δ_t niż na obszarze Monokliny Przesudeckiej. Każdemu wzrostowi zailenia towarzyszy pozornie zwiększana porowatość. Tak więc wszystkie dodatnie przyrosty porowatości „akustycznej” w stosunku do porowatości „elektrycznej” spowodowane są wpływem zailenia. W obrębie przewarstwień piaszczystych obserwuje się praktycznie zgodność porowatości określonej obema metodami, co świadczy o nieperspektywności przewierconego przekroju. Ten sposób normalizacji pozwala nie tylko na określenie typu wpływu zailenia, lecz również na wydzielenie poziomów zbiornikowych.

Jak z powyższego wynika, w przekrojach czerwonego spągowca występować może dwojakiego rodzaju wpływ zailenia na profilowanie akustyczne.



Ryc. 9. Mapa porowatości stropowej partii osadów czerwonego spągowca w rejonie Poznania.

Fig. 9. Map of porosity of top part of the Rotliegendes from the Poznań area.

Różny wpływ spowodowany jest — jak się wydaje — warunkami w jakich tworzyły się osady. Tworzące się w warunkach pustynnych muły zawierają bardzo mało minerałów ilastych (9). Muły te zawierają mogą dużą ilość kryształów gipsu, soli, węglanów i siarczanów. Koncentracja tych minerałów spowodowana jest ciągłym parowaniem i brakiem odpływu wód. Tak więc muły pustyniowe zawierające z jednej strony ww. minerały, a z drugiej — niewielką ilość wody związanej, charakteryzować się będą zwiększonymi prędkościami i podwyższonymi opornościami. Obserwowany w przekroju otworu Złotów-2 wpływ zailenia jest typowy, znany powszechnie w literaturze, charakterystyczny dla ilów tworzących się w zbiornikach wodnych.

Bazując na tych cechach fizycznych, w drodze analizy materiałów geofizycznych, określić można w jakich warunkach tworzyły się osady czerwonego spągowca (ładowych czy wodnych). Przy wykonywaniu tego typu analiz należy mieć na uwadze fakt, iż podwyższone anomalie radiometryczne na krzywych profilowania gamma wywołane być mogą nie tylko wpływem zailenia. Anomaliami takimi charakteryzować się mogą osady zbudowane z otworów skał wylewnych, jak również piaskowce zawierające domieszki glaukonitu.

WYKORZYSTANIE STOSOWANEJ METODYKI DLA OPRACOWAŃ ZBIORCZYCH

Geofizyczne opracowanie przewierconego przekroju pozwala na wykonanie różnego rodzaju map, np. porowatości, zmian facjalnych itp. Na ryc. 9 przedstawiono jedną z map porowatości, wykonaną dla rejonu Poznania na podstawie danych określonego etapu rozpoznania. Mapa dotyczy porowatości 25 m stropowej partii osadów czerwonego spągowca. Ocenę współczynnika porowatości prowadzono głównie na podstawie profilowania akustycznego. Wyniki potwierdziła — nie omawiana tu — metodyka oceny współczynnika porowatości na podstawie profilowania neutron-gamma z wykorzystaniem modyfikacji ncmogramu Bazina. Pozwoliło to na uzyskanie informacji o współczynniku porowatości w tych wszystkich otworach, w których nie wykonano profilowania akustycznego lub jakość jego była niska.

Otrzymane w ten sposób krzywe zmian współczynnika porowatości z głębokością umożliwiły określenie średniej ważonej K_p dla najbardziej interesującej poszukiwawczo części osadów. Uzyskany

ta drogą obraz wskazuje, iż dobrych własności zbiornikowych oczekiwać można w pasie o szerokości 30—40 km, licząc od brzegu wyklonowywania się osadów na wyniesieniu wolsztyńskim. Mapa porowatości daje jedynie obraz regionalny, na tym tle mogą występować liczne, lokalne zmiany własności zbiornikowych wywołane zmiennością lepizsca. Mimo iż mapa daje obraz bardzo ogólny, jednak pozwala na wyznaczenie obszaru poszukiwań, najkorzystniejszego pod względem własności zbiornikowych.

WNIOSKI

1. Stosowana metodyka interpretacji w przekrojach utworów czerwonego spągowca pozwala na jakościowe lub ilościowe rozpoznanie typu osadów, ich lepizsca, własności zbiornikowych i nasycenia.
2. Niezależnie od rozwijania metod interpretacji ciągłej konieczne jest doskonalenie klasycznych metod interpretacji ilościowej. Postęp w tym zakresie uzależniony jest w dużym stopniu od poprawy jakości stosowanego sprzętu.

LITERATURA

1. Bał Z. — Wyniki badań wskaźnika cementacji (struktury) skał oraz wykładnika zawodnienia dla perspektywicznych serii stratygraficznych z rejonu Monokliny Przesudeckiej, Syneklizy Perzybałtyckiej i Synklinorium Lubelskiego. Opracowanie w ramach Problemu węzłowego 01. 1. 1. Zadanie 01. a. 02. IN. Kraków, 1973.
2. Birecki T. — Problem złóż gazu i ropy naftowej na Morzu Północnym. Sprawozdanie z wyjazdu służbowego do Anglii. Arch. Geonauty, 1972.
3. Bociak Z., Król L., Pączek L., Rozesłaniec R., Szymeczko R. — Sposób i urządzenie do rejestracji krzywych oporności w skałach porowatości bezpośrednio na otworze. Projekt racjonalizatorski PGGN Toruń, 1975.
4. Król L. — Metodyka prac i interpretacji dla utworów czerwonego spągowca stosowana w PGGN Toruń. Opracowanie dla ZGN, 1972.
5. Król L. — Automatyzacja procesów interpretacyjnych w PGGN Toruń. Referat na Dorocznym Międzynarodowym Sympozjum Geofizycznym. Toruń, 24—27.09.74 r.
6. Król L., Rozesłaniec R., Byżykowski Z. — Sposób eliminowania efektu ekranowania w metodzie sterowanego profilowania oporności przyrzędem ABK-3. Projekt racjonalizatorski PGGN Toruń, 1973.
7. Król L., Szczerbowska M. — Katalog poziomów perspektywicznych dla złoża Borzęcin. Arch. FGGN Toruń, 1968.
8. Król L., Wiśniewski E. — Zastosowanie techniki cyfrowej dla rozwiązywania niektórych problemów interpretacyjnych geofizyki wiertniczej na przykładzie utworów czerwonego spągowca. Nafta, 1975, nr 3—4.
9. Książkiewicz M. — Geologia dynamiczna. Wyd. Geol. 1968.
10. Plewa M. — Petrofizyczna zależność pomiędzy przepuszczalnością i porowatością piaskowcowych skał zbiornikowych. Nafta, 1972, nr 8.
11. Plewa M. — Mineralogiczno-petrograficzna charakterystyka permskich piaskowców Monokliny Przesudeckiej. Ibidem, nr 12.
12. Schlumberger — Log interpretation principles. New York, 1969.
13. Zalaiew N. Z. — Metodyka wykrywania i oceny horyzontów gazonośnych w utworach czerwonego spągowca na podstawie danych geofizyki wiertniczej. Geologia i Geofizyka Naftowa, 1973, nr 3—4.

SUMMARY

Geological characteristics of Rotliegendes strata of Poland is given. Moreover, the methodology of interpretation of the results of geological studies on drilling materials, used in identification of reservoir horizons of the Rotliegendes, estimations of their saturation, as well as in identifications of

lithological types of deposits and in characterizing of their matrix, is discussed. This methodology markedly changed when the acoustic logging was introduced. The results of interpretation may be used in preparation of maps of porosity, facies changes, etc.

РЕЗЮМЕ

Представлена геологическая характеристика пород красного лежня Польши. Описана методика

интерпретации результатов геологических определений в буровых скважинах, направленных на выявление коллекторов среди пород красного лежня, оценку степени их насыщения и определение их литологического состава и цементирующего вещества. До применения акустического профилирования определение перечисленных параметров производилось другой методикой. Результаты предложенного метода интерпретации данных можно использовать при составлении карт пористости, фациального состава и пр.