

CHARAKTER KRZYWYCH SIEDMIOELEKTRODOWEGO SYNTETYCZNEGO STEROWANEGO SONDOWANIA OPORNOŚCI W RÓŻNYCH WARUNKACH GEOLOGICZNYCH

UKD 550.832.74.01

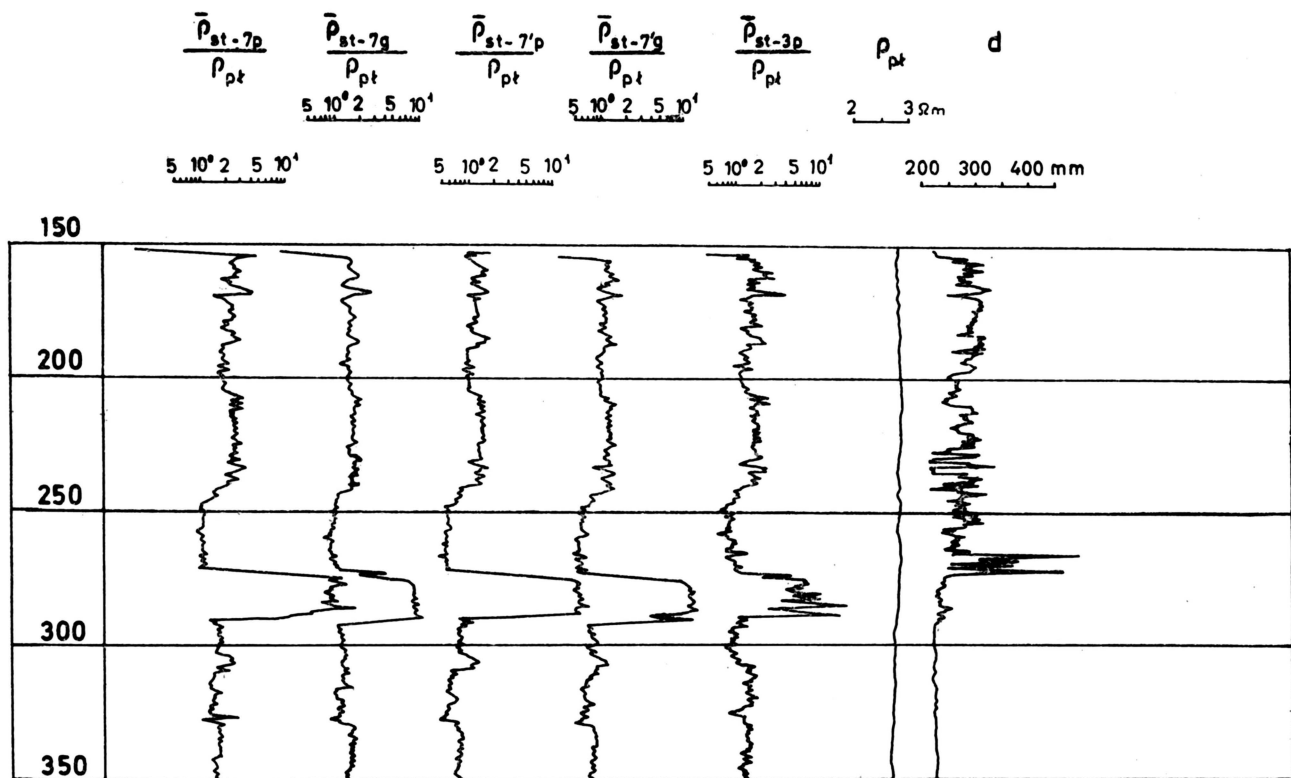
W ciągu ostatnich lat nastąpił ogromny rozwój prac z zakresu elektrometrii wiertniczej; są one prowadzone w trzech głównych kierunkach:

- poszerzenia zbioru teoretycznych modeli pola dla określenia optymalnej geometrii sond, które obecnie określane są już jako klasyczne (chodzi tu o profilowanie potencjałowe, gradientowe oraz ich mikrowarianty);
- opracowania różnych wariantów metody pola sterowanego ze szczególnym uwzględnieniem zagadnienia geometrii sond, przy czym dobiera się tak niską częstotliwość prądu zasilającego aby nie zmieniać potencjałowego charakteru pola;
- opracowania różnych wariantów metody indukcyjnej z zastosowaniem prądu zmiennego, którego częstotliwość waha się w granicach kilkunastu kHz.

Z pomiarów metodą pola sterowanego stosuje się obecnie następujące rodzaje:

- trójelektrodowe sterowane potencjałowe profilowanie oporności,
- siedmioelektrodowe sterowane potencjałowe profilowanie oporności,
- siedmioelektrodowe sterowane gradientowe profilowanie oporności.

Odpowiednie krzywe pomiarowe uzyskuje się ogólniejszym pole w ten sposób, że prąd przechodzący przez elektrodę centralną sondy jest stały, natomiast prąd płynący przez elektrody ekranujące jest w odpowiedni sposób regulowany. Są to więc powszechnie obecnie stosowane warianty krzywych sterowanego profilowania oporności, z regulacją prądu w elektrodach ekranujących.



Ryc. 1. Przykład kompletu krzywych SSO_{st-7} dla przekroju niskooporowego (odwiert 0-2). Krzywe SSO_{st-7} zarejestrowano sondą $L_0 = 1,2$ m.

Ogniskowanie pola w sondzie pomiarowej może być również realizowane w ten sposób, że prąd przechodzący przez elektrody ekranujące będzie stały, prąd zaś płynący przez elektrodę centralną sondy będzie w odpowiedni sposób regulowany. Krzywe pomiarowe zarówno przy pierwszym, jak też i drugim sposobie ogniskowania pola można otrzymać bądź za pomocą odpowiednich aparatów autokompensacyjnych, bądź też metodą syntetycznego sterowanego profilowania oporności (1).

Krzywe sterowanego profilowania oporności, rejestrowane przy regulacji prądu w elektrodzie centralnej, nie były dotychczas wykorzystywane w praktyce pomiarów geofizycznych z powodu braku odpowiedniej aparatury. Zastosowanie metody syntetycznego sterowanego profilowania oporności pozwoliło uniknąć wielu trudności doprowadzając w efekcie do tego, iż uzyskanie jakiegokolwiek wariantu krzywej sterowanego profilowania oporności nie przedstawia obecnie większego problemu. Wykonano bowiem w tym celu odpowiedni program obliczeniowy, który pozwala uzyskiwać krzywe sterowanego potencjałowego i gradientowego profilowania oporności z regulacją prądu zarówno w elektrodach ekranujących, jak też i elektrodzie centralnej (3).

Na ryc. 1* przedstawiono przykład czterech krzywych siedmioelektrodowego sterowanego sondowania

oporności SSO_{st-7}: $\frac{\bar{\rho}_{st-7p}}{\rho_{pt}}$, $\frac{\bar{\rho}_{st-7g}}{\rho_{pt}}$, $\frac{\bar{\rho}_{st-7'p}}{\rho_{pt}}$, $\frac{\bar{\rho}_{st-7'g}}{\rho_{pt}}$ obliczonych dla przekroju niskooporowego (miocen, margle senonu) z rejonu przedgórza Karpat. Krzywe pomiarowe przedstawiono w skali logarytmicznej. Dla porównania podano również krzywą $\frac{\bar{\rho}_{st-3p}}{\rho_{pt}}$ w tej samej skali, zarejestrowaną sondą ABK-3. Pomiar

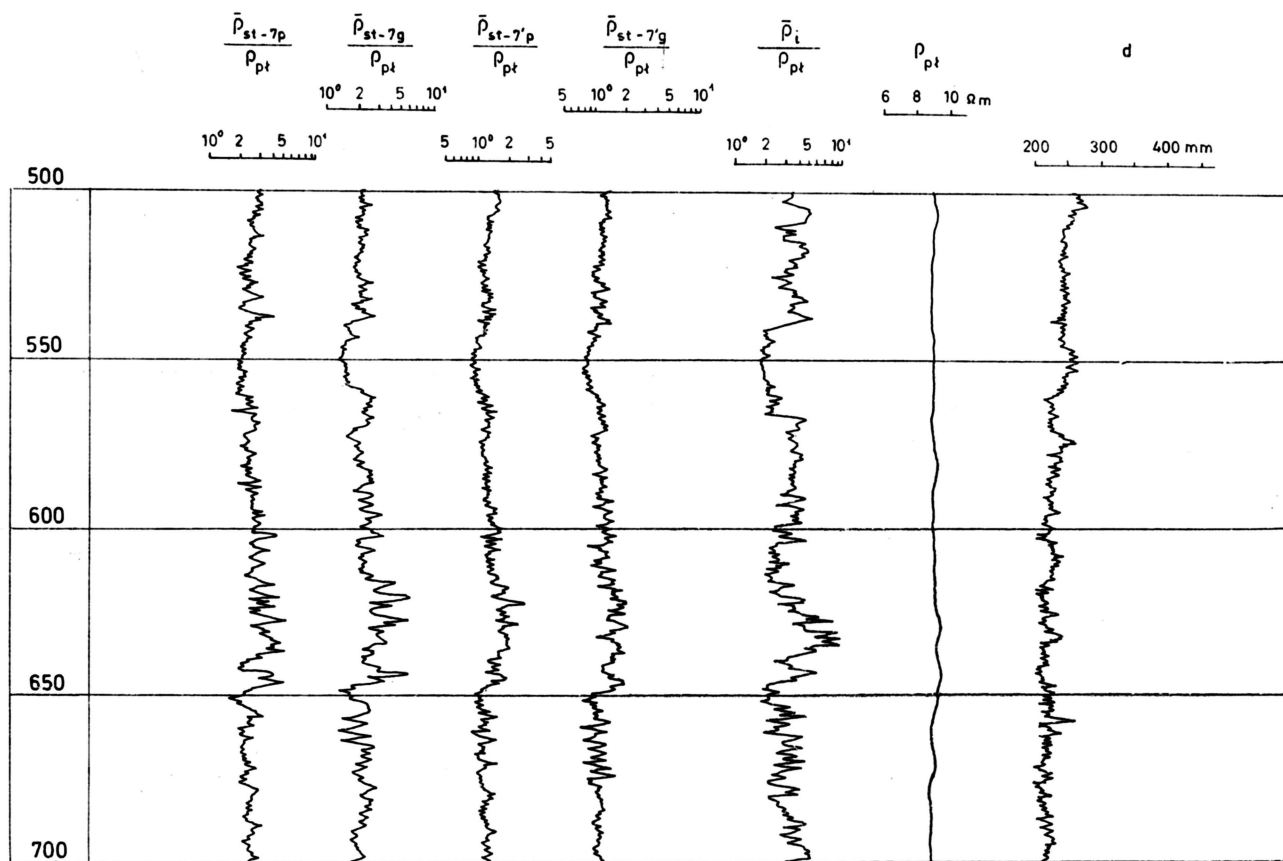
* Na ryc. 1, 2 i 3 przedstawiono tylko fragmenty omówionych poniżej profili geofizycznych, na ryc. 1 przedział głębokości 150–350 m, na ryc. 2 – 500–700, na ryc. 3 – 2800–2800 m.

wykonano przy wypełnieniu otworu wiertniczego płuczką, o oporności $\rho_{pt} \approx 2,7 \Omega m$. Widać dobrą zgodność krzywych SSO_{st-7} z krzywą $\frac{\bar{\rho}_{st-3p}}{\rho_{pt}}$. Wpłynął na to prawdopodobnie zarówno charakter przekroju geologicznego, jak też i warunków w otworach.

Zwraca również uwagę stosunkowo niewielki zasięg pomiarowy sondy ABK-3. Z zestawu krzywych przedstawionych na ryc. 1 wynika bowiem, że zasięg pomiarowy krzywej $\frac{\bar{\rho}_{st-3p}}{\rho_{pt}}$ jest w górnej części przekroju porównywalny z zasięgiem gradientowej krzywej sterowanego profilowania oporności $\frac{\bar{\rho}_{st-7g}}{\rho_{pt}}$, która spośród wszystkich krzywych SSO_{st-7} ma najkrótszy zasięg pomiarowy. Począwszy od głębokości 600 m w dół wskazania na krzywej $\frac{\bar{\rho}_{st-3p}}{\rho_{pt}}$ są zbliżone do wskazań obserwowanych na krzywej $\frac{\bar{\rho}_{st-7p}}{\rho_{pt}}$. Na ryc. 2 przedstawiono przykład zestawie-

nia czterech krzywych sondowania: $\frac{\bar{\rho}_{st-7p}}{\rho_{pt}}$, $\frac{\bar{\rho}_{st-7g}}{\rho_{pt}}$, $\frac{\bar{\rho}_{st-7'p}}{\rho_{pt}}$, $\frac{\bar{\rho}_{st-7'g}}{\rho_{pt}}$ z krzywą profilowania indukcyjnego $\frac{\bar{\rho}_i}{\rho_{pt}}$ dla przekroju średniooporowego (flisz) z rejonu Karpat. Pomiar wykonano przy wypełnieniu otworu wiertniczego płuczką o oporności $\rho_{tp} \approx 9 \Omega m$.

Widać dość dobrą zgodność krzywych $\frac{\bar{\rho}_{st-7p}}{\rho_{pt}}$ i $\frac{\bar{\rho}_{st-7g}}{\rho_{pt}}$



Ryc. 2. Zestawienie czterech krzywych SSOst-7 z krzywą profilowania indukcyjnego dla przekroju średnio-oporowego (odwiert S-5).

z krzywą $\frac{\bar{\rho}_{st-7p}}{\rho_{pt}}$ i trochę gorszą zgodność z krzywymi $\frac{\bar{\rho}_{st-7'p}}{\rho_{pt}}$ i $\frac{\bar{\rho}_{st-7'g}}{\rho_{pt}}$ — w porównaniu z poprzednio rozważanym zestawem (ryc. 1). Jest to wynik zarówno rodzaju przekroju geologicznego, jak również oporności płuczki wiertniczej. Stosunkowo wysoka oporność płuczki wiertniczej oraz niezbyt wysoka oporność skał objętych przekrojem geologicznym spowodowały pewne rozbieżności pomiędzy krzywymi SSOst-7, zwłaszcza między regulacją prądu w elektrodzie centralnej, a krzywą profilowania indukcyjnego. Niska oporność skał oraz wysoka oporność płuczki wpływają bowiem znacznie silniej na krzywe sterowanego profilowania oporności niż na krzywą profilowania indukcyjnego.

Jeden z przykładów zestawienia krzywych sterowanego sondowania oporności: $\frac{\bar{\rho}_{st-7p}}{\rho_{pt}}$, $\frac{\bar{\rho}_{st-7g}}{\rho_{pt}}$, $\frac{\bar{\rho}_{st-7'p}}{\rho_{pt}}$, $\frac{\bar{\rho}_{st-7'g}}{\rho_{pt}}$ oraz krzywej $\frac{\bar{\rho}_{st-3p}}{\rho_{pt}}$ otrzymanych dla przekroju wysokooporowego (węglanowy kompleks malmu) z rejonu przedgórza podano na ryc. 3 (odwiert Ł-1). Wszystkie krzywe pomiarowe przedstawiono w skali logarytmicznej. Porównując krzywą $\frac{\bar{\rho}_{st-7p}}{\rho_{pt}}$ z krzywą $\frac{\bar{\rho}_{st-7'p}}{\rho_{pt}}$ obserwuje się jak gdyby uśrednienie wskazań na krzywej $\frac{\bar{\rho}_{st-7'p}}{\rho_{pt}}$ w stosunku

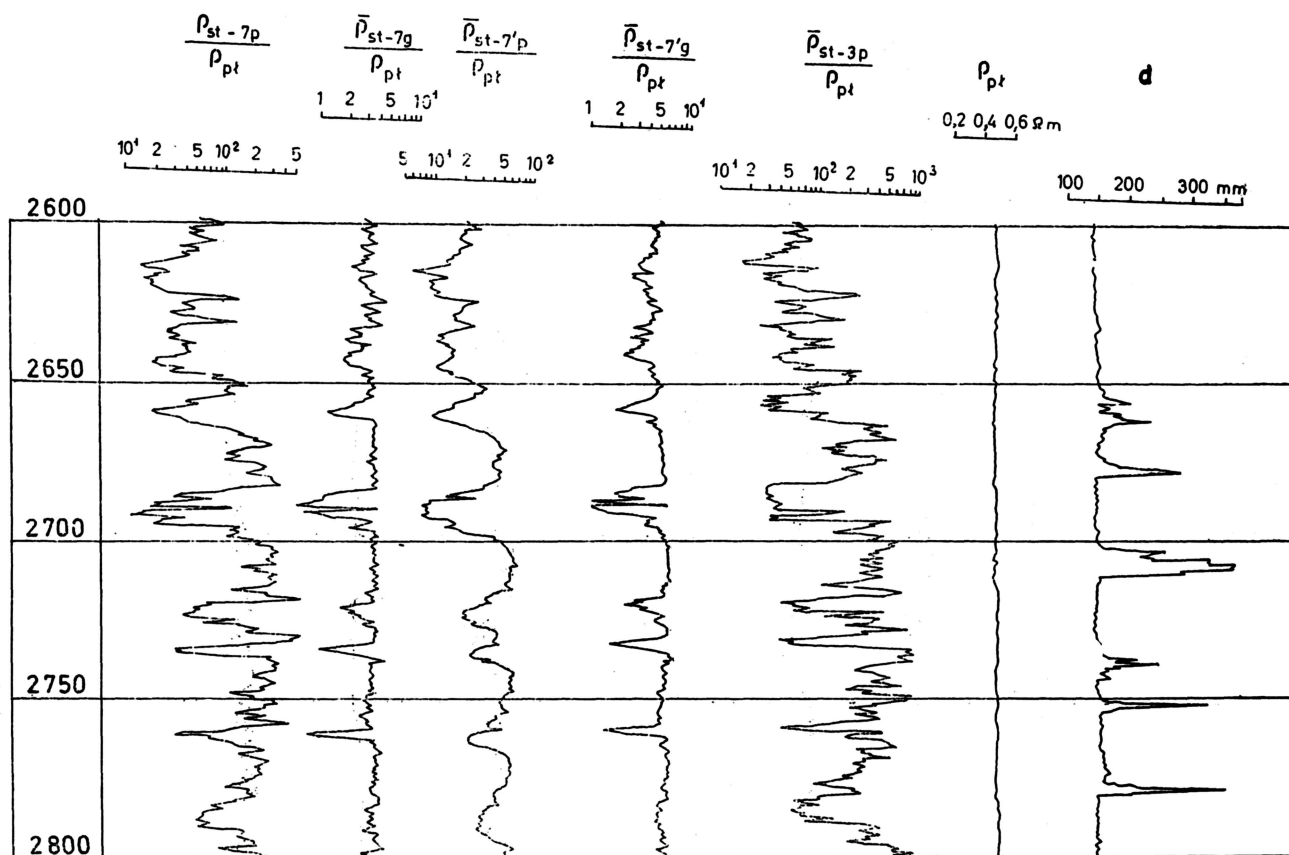
do wskazań zarejestrowanych na krzywej $\frac{\bar{\rho}_{st-7p}}{\rho_{pt}}$. Zjawisko to jest szczególnie wyraźne w dolnej części przekroju. Porównując z kolei krzywą $\frac{\bar{\rho}_{st-7p}}{\rho_{pt}}$ z

krzywą $\frac{\bar{\rho}_{st-3p}}{\rho_{pt}}$ widać bardzo dobrą zgodność w przebiegu tych krzywych.

Ze względu na to, że krzywa $\frac{\bar{\rho}_{st-7p}}{\rho_{pt}}$ została zarejestrowana sondą siedmioelektrodową o półdługości $L_o = 1,2$ m, natomiast krzywa $\frac{\bar{\rho}_{st-3p}}{\rho_{pt}}$ — sondą ABK-3, istnieją niewielkie różnice w wielkości niektórych amplitud na obu krzywych. Gdyby krzywą $\frac{\bar{\rho}_{st-7p}}{\rho_{pt}}$ zarejestrować dłuższą sondą, np. $L_o = 1,5$ m lub $L_o = 2$ m, zbieżność między obu krzywymi byłaby prawdopodobnie jeszcze większa.

Na podstawie przedstawionych zestawów pomiarowych można stwierdzić, że zarówno krzywa sterowanego potencjałowego profilowania oporności z regulacją prądu w elektrodach ekranujących $\frac{\bar{\rho}_{st-7p}}{\rho_{pt}}$, jak też i krzywa sterowanego potencjałowego profilowania oporności z regulacją prądu w elektrodzie centralnej $\frac{\bar{\rho}_{st-7'p}}{\rho_{pt}}$ dobrze uwidoczniają zróżnicowanie opornościowe badanych przekrojów. Amplituda krzywej $\frac{\bar{\rho}_{st-7p}}{\rho_{pt}}$ naprzeciw wysokooporowych i średniooporowych warstw o dużej miąższości i niewielkiej filtracji w małym stopniu zależy od średnicy otworu wiertniczego i praktycznie jest równa oporności właściwej warstw. W warstwach niskooporowych wpływ średnicy otworu na amplitudę krzywej $\frac{\bar{\rho}_{st-7p}}{\rho_{pt}}$ jest bardziej wyraźny.

Zachowanie się krzywej $\frac{\bar{\rho}_{st-7'p}}{\rho_{pt}}$ w skałach różnooporowych, w zależności od średnicy otworu wiertniczego, jest zupełnie inne niż krzywej $\frac{\bar{\rho}_{st-7p}}{\rho_{pt}}$. W warstwach wysoko- i średniooporowych widać wyraźny wpływ średnicy otworu wiertniczego na amplitudę krzywej $\frac{\bar{\rho}_{st-7'p}}{\rho_{pt}}$, natomiast naprzeciw niskooporowych



Ryc. 3. Zestawienie krzywych SSO_{st-7} z krzywą trój-elektrodowego sterowanego profilowania oporności dla przekroju wysokooporowego (odwiert Ł-1). Krzywe SSO_{st-7} zarejestrowano sondą L₀ = 1,2 m.

warstw o dużej miąższości i płytkiej filtracji amplituda krzywej $\bar{\rho}_{st-7'p}$ praktycznie nie zależy od średnicy otworu wiertniczego i jest porównywalna z opornością właściwą tych warstw. Ponadto amplituda krzywej $\bar{\rho}_{st-7'p}$ zależy w dużym stopniu od miąższości warstw.

Przebieg krzywej sterowanego gradientowego profilowania oporności $\bar{\rho}_{st-7g}$ w zależności od średnicy otworu wiertniczego w różnooporowych skałach jest inny niż krzywych $\bar{\rho}_{st-7p}$ i $\bar{\rho}_{st-7'p}$. Amplituda krzywej $\bar{\rho}_{st-7g}$ zarówno naprzeciw warstw o dużej, jak też i małej miąższości zależy bardzo od średnicy otworu wiertniczego oraz od strefy filtracji, praktycznie w całym przedziale oporności. Zależność od średnicy otworu wiertniczego jest szczególnie wyraźna dla krzywej $\bar{\rho}_{st-7g}$ w przypadku skał wysokooporowych.

Natomiast zachowanie się krzywych $\bar{\rho}_{st-7p}$ i $\bar{\rho}_{st-7'p}$ w zależności od rodzaju filtracji jest podobne. W warstwach nisko- i średniooporowych objętych filtracją podwyższającą zarówno amplituda krzywej $\bar{\rho}_{st-7p}$, jak też $\bar{\rho}_{st-7'p}$ jest znacznie większa niż w przypadku warstw nie objętych filtracją. Filtracja obniżająca wpływa na ich amplitudę w znacznie mniejszym stopniu. Warstwy wysokooporowe bez filtracji zaznaczają się na krzywej $\bar{\rho}_{st-7g}$ słabo. Bardzo dobrze zaznaczają się natomiast warstwy objęte strefą filtracji, zwłaszcza nisko- i średniooporowe.

W podsumowaniu należy stwierdzić, iż syntetyczne sterowane profilowanie oporności z regulacją prądu w elektrodach ekranujących ma największą informatywność w przekrojach średnio- i wysokooporowych, natomiast syntetyczne sterowane profilowanie oporności z regulacją prądu w elektrodzie centralnej — w przekrojach niskooporowych. Niemniej jednak metody te nie mają nieograniczonych możli-

wości, aczkolwiek w wielu przypadkach znacznie ułatwiają zarówno pomiary oporności skał, jak też i rozwiązanie zagadnień interpretacyjnych. Ich zalety są jednoznaczne przy znacznie zmineralizowanej płuczce i obniżającej filtracji w warstwach wysokooporowych.

Wzrastający wpływ strefy filtracji poważnie obniża skuteczność analizowanych metod. W przypadku bardzo głębokiej, wzrastającej filtracji jest prawie niemożliwe dokładne wyznaczenie oporności rzeczywistej warstw. Przy wzrastającym wpływie strefy filtracji w warstwach niskooporowych znacznie korzystniej jest stosować profilowanie indukcyjne. Jedynie w przypadku otworów wiertniczych o przekrojach niskooporowych, wierconych z płuczką o wysokiej mineralizacji, gdzie nie jest możliwe zastosowanie profilowania indukcyjnego, zaleca się stosowanie syntetycznego sterowanego profilowania oporności z regulacją prądu w elektrodzie centralnej.

LITERATURA

1. Kozik W. — Siedmioelektrodowe syntetyczne sterowane profilowanie oporności. Nafta, 1973, nr 10.
2. Kozik W. — Wyznaczanie oporności właściwej na podstawie danych syntetycznego sterowania profilowania oporności. Biul. Inst. Naft. 1974, nr 3; Nafta, 1974, nr 5.
3. Kozik W., Jeleń J. — Obliczeniowy sposób otrzymywania różnych wariantów krzywych siedmioelektrodowego sterowanego profilowania oporności. Nafta (w druku).
4. Kozik W. — Sposób i urządzenie do pomiaru krzywych elektrometrycznych w otworze wiertniczym. Zgłoszono do Urzędu Patentowego PRL w dniu 23 XII 1975, Nr P-185990.

S U M M A R Y

The paper deals with new varieties of curves of seven-electrode remote resistance logging with current adjustment in central electrode, hitherto not used in current geological surveys. The curves were plotted and compared with both the curves from seven-electrode and three-electrode remote resistance logging with current adjustment in screening electrodes and the curves from induction logging. The differences between curves from seven-electrode remote logging depending on geological conditions were analysed on the basis of some selected well logs. The analysis showed that the curves of remote resistance logging with current adjustment in central electrode are of highest informational value in the case of low-resistance sections. This is especially important in the case of boreholes in low-resistance rocks which are filled with highly mineralized washer and, therefore, unsuitable for induction logging.

Р Е З Ю М Е

В статье представлены новые варианты семи-электродных кривых управляемого каротажа сопротивления с регуляцией тока в центральном электроде, до сих пор не применяемые в практике геофизических измерений. Эти кривые составлены и сравнены как с кривыми семиэлектродного и трёхэлектродного каротажа сопротивления с регуляцией тока в экранирующих электродах, так и с кривыми индукционного каротажа. На практических примерах скважинных измерений проведен анализ развития кривых семиэлектродного управляемого каротажа сопротивления в разных геологических условиях. На основании проведенного анализа установлено, что кривые управляемого каротажа сопротивления с регуляцией тока в центральном электроде характеризуются самой большой информативностью в низкосопротивительных разрезах. Это имеет особое значение в случае буровых скважин с низкосопротивительными разрезами: заполненных высокоминерализованным буровым раствором, где невозможно применение индукционного каротажа.