

ZASTOSOWANIE TRÓJELEKTRODOWEGO STEROWANEGO PROFILOWANIA
OPORNOŚCI DO BADANIA SZCZELINOWATOŚCI SKAŁ WĘGLANOWYCH

UKD 550.832.74:551.242:552.54(438)

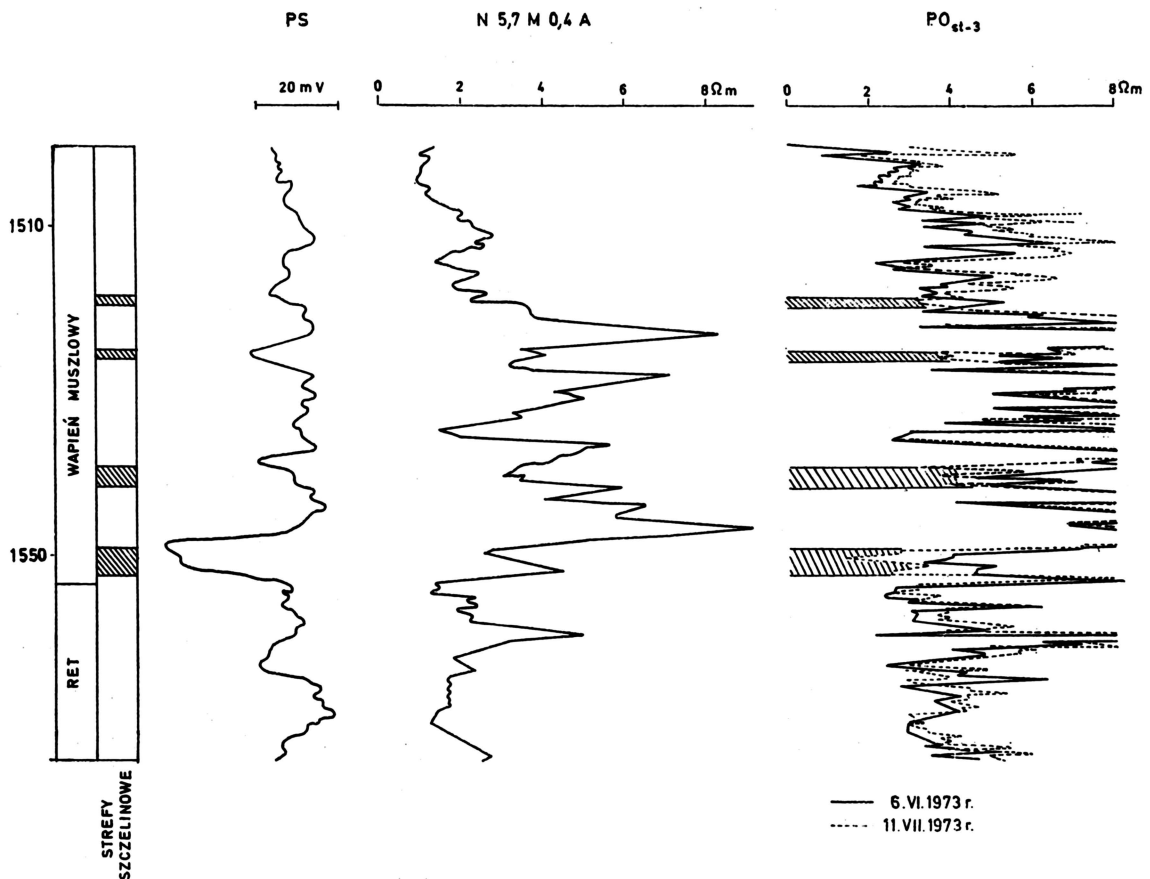
Skąły węglanowe ogólnie charakteryzują się bardzo złożoną strukturą przestrzeni porowej (porowatość międzyziarnowa, szczelinowa, szczelinowo-kawernista, mieszana), dlatego za pomocą zwykłych metod interpretacji (opracowanych dla skał zbiornikowych o porowatości międzyziarnowej) nie można rozwiązać w ogóle lub można tylko częściowo takie zagadnienia geofizyki wiertniczej, jak: wydzielenie w przekroju warstw przepuszczalnych, określanie ich efektywnej miąższości, ocena produktywności oraz własności zbiornikowych.

Najskuteczniejsze przy badaniu skał węglanowych o porowatości szczelinowej okazały się metody elektrometryczne wykorzystujące ogniskowane pole elektryczne (POst-3, POst-7, SPOst-7). Metody akustyczne, szczególnie z rejestracją pola falowego, mogłyby być bardzo pomocne przy rozwiązywaniu omawianego zagadnienia, jednak brak odpowiedniej aparatury pomiarowej (wycofanie aparatów typu ŁAK-2 i ŁAK-3) uniemożliwia nawet częściowe ich wykorzystanie. Poniżej przedstawiono sposób badania szczelinowatości skał węglanowych w profilu odwiertu, wykorzystujący pomiary elektrometryczne (POst-3, SPOst-7) wykonane przy dwóch różnych opornościach płuczki wiertniczej i w różnym czasie. Przedstawiono również wyniki eksperymentów, jakie autor przeprowadził tą metodą w odwiertach na obszarze synklino-

rium pomorskiego, monokliny przedsudeckiej oraz przedgórze Karpat w celu wydzielenia stref szczelinowych w badanych przekrojach węglanowych.

Zastosowana metodyka badań została opracowana w ZSRR (3, 4, 5) i znana jest pod nazwą „metody dwu roztworów”. Polega ona na dwukrotnym pomiarze w otworze wiertniczym krzywych oporności (POst lub SOg) przy wypełnieniu odwiertu płuczkaami o różnej oporności. Badania „metodą dwu roztworów” przeprowadza się zwykle następująco: najpierw wykonuje się POst przy wypełnieniu otworu wiertniczego płuczka, przy użyciu której prowadzono wiercenie, następnie otwór wiertniczy zapełnia się płuczka o oporności różniącej się znacznie od oporności płuczki (3—5 razy) i po pewnym czasie (średnio ok. 2—10 dób), takim aby nastąpiła dość znaczna filtracja, powtarza się pomiary.

Zakłada się, że w pierwszym przypadku dane pomiarowe będą charakteryzować oporność właściwą skały ρ_1 , której szczeliny zapełnione są filtrem płuczki ρ_{f1} , przy użyciu której prowadzono wiercenie na dostateczną głębokość (równą lub przewyższającą zasięg pomiarowy sondy zastosowanej do pomiarów). Na podstawie powtórnych pomiarów wyznacza się oporność właściwą ρ_2 skały, której szczeliny zapełnione są filtrem ρ_{f2} nowej płuczki. Zestawienie krzy-



Ryc. 1. Wyznaczanie szczelinowatości skał węglanowych metodami elektrometrii wiertniczej (odwiert G-4 rejon synklinorium pomorskiego).

wych POst uzyskanych przy pierwszym i drugim pomiarze pozwala wydzielić na podstawie zmian oporności przedziały szczelinowate w przekroju otworu wiertniczego oraz określić ich miąższość efektywną. Oczywiście mogą być brane pod uwagę tylko takie zmiany oporności stwierdzone przy powtórnych pomiarze, które przewyższają dopuszczalny maksymalny błąd pomiarowy danej metody (przy zapewnionej pełnej powtarzalności rejestrowanych krzywych w danych warunkach technicznych odwiertu).

Zarejestrowane krzywe POst można także wykorzystywać do ilościowej oceny własności zbiornikowych skał, zwłaszcza do wyznaczania porowatości szczelinowej K_p^{szczel} i porowatości międzyziarnowej K_p^{ziar} .

Porowatość szczelinową i międzyziarnową można wyznaczyć korzystając z wzorów (5):

$$K_p^{szczel} = 1,5 \frac{e_{f1} e_{f2} (e_2 - e_1)}{e_1 e_2 (e_{f2} - e_{f1})}$$

gdzie: e_{f1}, e_{f2} — oporności właściwe filtratów płuczki wypełniających szczeliny przy pierwszym i drugim pomiarze,
 e_1, e_2 — oporności właściwe skały przy nasyceniu jej szczelin filtratami o opornościach e_{f1} i e_{f2} .

$$K_p^{ziar} = \sqrt{\frac{m \cdot \rho_{wz}}{\rho}}$$

gdzie: ρ — oporność właściwa,
 ρ_{wz} — oporność wody złożowej,
 m — wskaźnik struktury (cementacji).

Oporność właściwą ρ występującą w powyższym wzorze oblicza się (5):

$$\rho = e_1 e_2 \frac{e_{f2} - e_{f1}}{e_1 e_{f2} - e_2 e_{f1}}$$

Jak widać z powyższych zależności K_p^{szczel} i ρ oblicza się mając dane tylko e_1, e_2, e_{f1}, e_{f2} . Wartości e_1 i e_2 wyznacza się z danych POst, natomiast e_{f1} i e_{f2} z krzywej profilowania oporności płuczki lub z danych laboratoryjnych.

Do badania skał węglanowych proponuje się następujący komplet pomiarów geofizycznych:

- dwukrotny pomiar metodą POst przy różnych opornościach właściwych płuczek wiertniczych,
- pomiar oporności płuczki wiertniczej oporociomierzem odwiertowym POP (lub pomiar oporności filtratu płuczki wiertniczej w laboratorium),
- pomiar PNG i PG (ostatni potrzebny do ilościowej oceny zailenia),
- pomiar średnicy otworu wiertniczego PŚr (potrzebny przy uwzględnianiu wpływu średnicy odwiertu na wskazania PNG).

Na podstawie wykonanych pomiarów można:

- wydzielić przepuszczalne strefy szczelinowe w przekroju otworu wiertniczego oraz wyznaczyć ich miąższość efektywną,
- określić porowatość ogólną K_p badanej skały,
- selektywnie określić różne rodzaje porowatości (szczelinowej, kawernistej, międzyziarnowej).

Możliwości metody wyraźnie maleją przy badaniu skał o porowatości bardziej złożonej, np. szczelinowo-kawernistej. W takim przypadku można co prawda wydzielić strefy przepuszczalne, wyznaczyć ich miąższość efektywną oraz obliczyć wartości K_p^{szczel} i K_p^{ziar} , jednak porowatość kawernista i roponośna część porowatości międzyziarnowej (w przypadku nasycenia jej ropą) nie zostanie przy tym uwzględniona.

Pomiary eksperymentalne „metodą dwu roztworów” przeprowadzono w przekrojach węglanowych kilku regionów geologicznych Polski, stosując sterowane profilowanie oporności sondą trójelektrodową z elektrodami cylindrycznymi oraz metodą syntetycznego sterowanego profilowania oporności sondą siedmioelektrodową z elektrodami punktowymi. Badania objęto skały węglanowe wapienia muszlowego w rejonie synklinorium pomorskiego, monokliny przed-

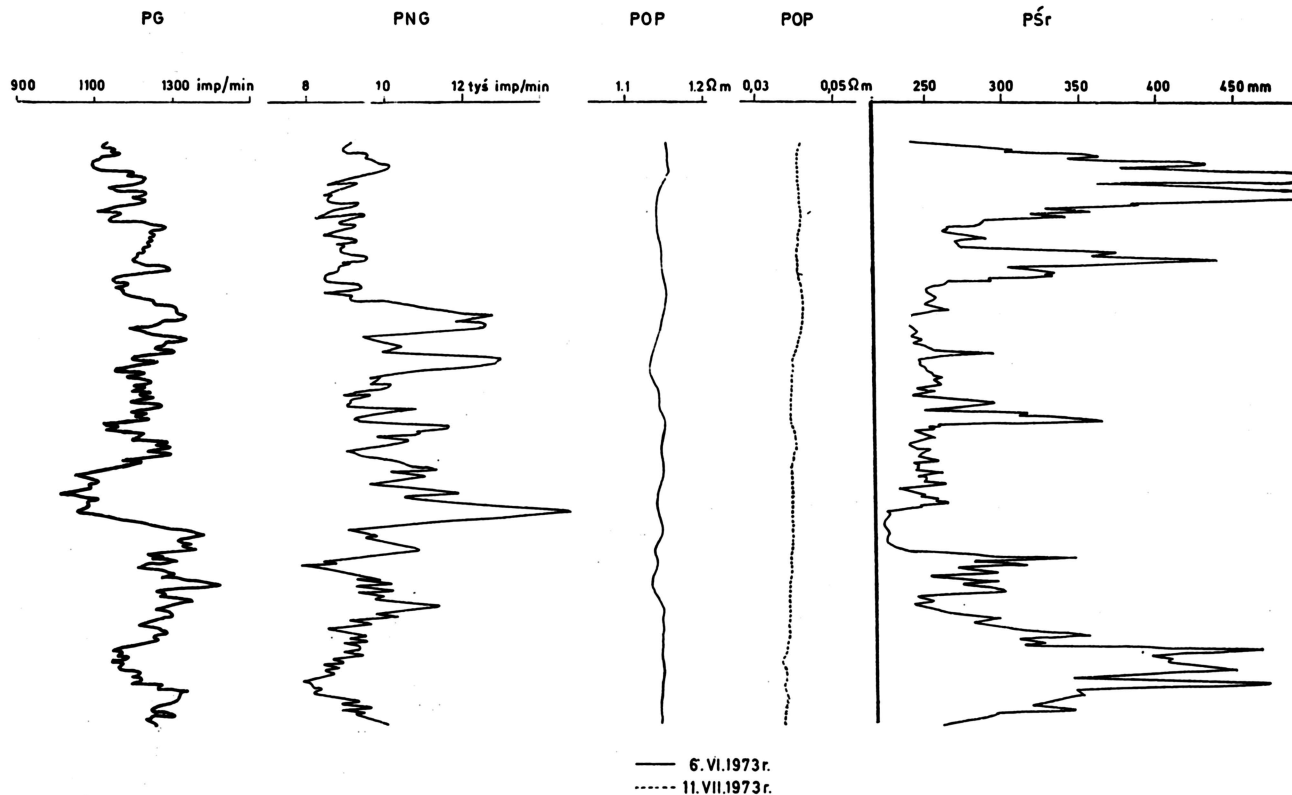
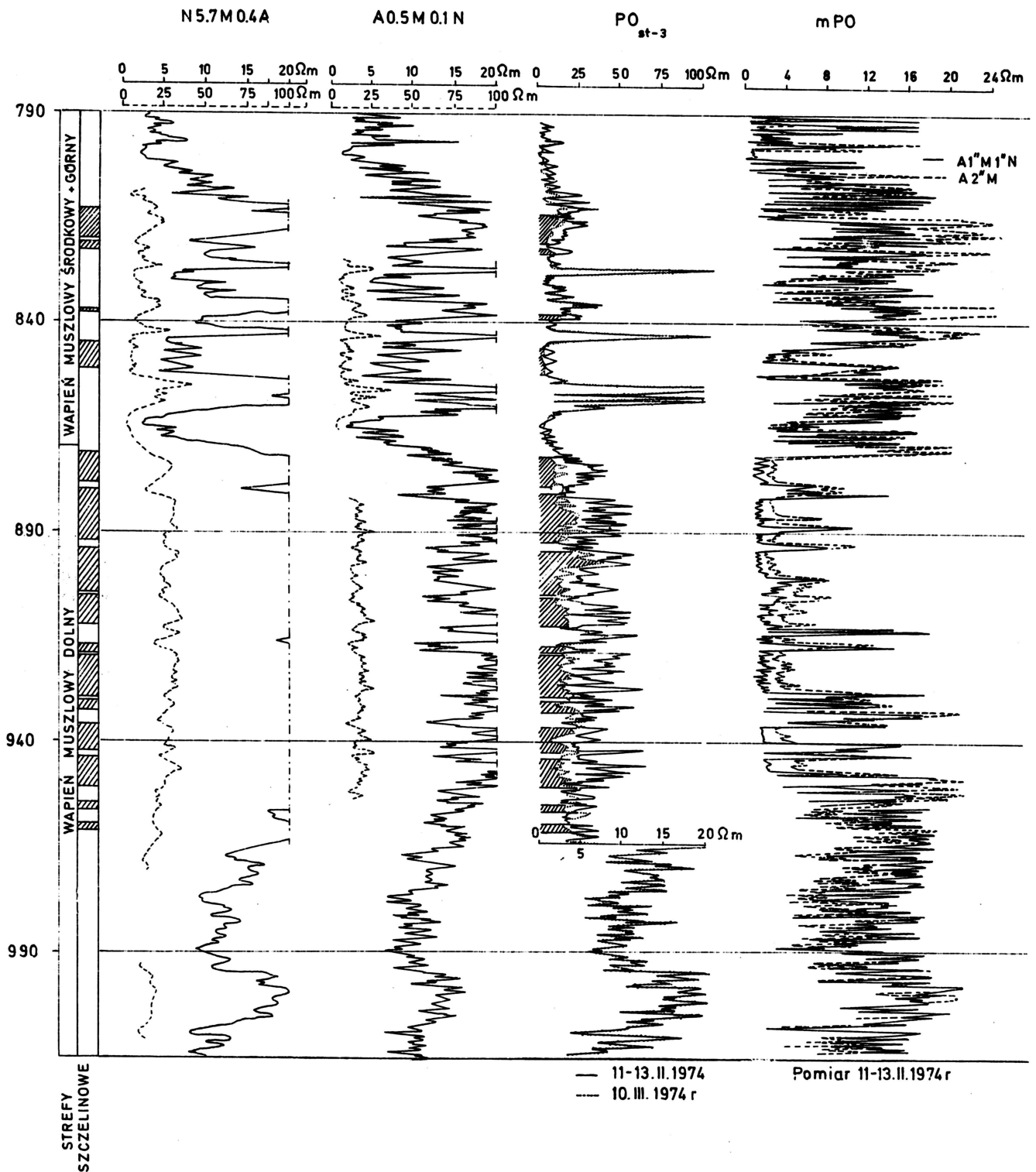


Fig. 1. Measurement of fissurity of carbonate rocks with the use of borehole electrometry methods (borehole G-4, area of the Pomeranian synclinorium).



Ryc. 2. Wyznaczanie szczelinowatości skał węglanowych metodami elektrometrii wiertniczej (odwiert Z-7, rejon monokliny przedsudeckiej).

sudeckiej oraz węglanowego kompleksu kredowo-ju-
rajskiego przedgórze Karpat. W celu dokładnego prze-
analizowania możliwości metody pomiaru wykonywa-
no różnymi sondami, przy czym pierwszy pomiar wy-
konywano zarówno przy płuczce zmineralizowanej,
jak też niezmineralizowanej, przy dużej i małej róż-
nicy w opornościach płuczek, przy długiej i krótkiej
stójce otworu, przy zasalaniu i przy dodawaniu wody
słodkiej do płuczki, przy zatłaczaniu nowej płuczki
i przy stopniowej zmianie jej parametrów poprzez sa-
morzutne zasolenie, np. z formacji solonośnych.

W regionach synklinorium pomorskiego i monokliny
przedsudeckiej wykonywano pomiary POst sonda-

mi typu ABK-3 i TBK-3. Przedmiotem badań były
utwory wapienia muszlowego, zalegającego powyżej
solonośnych utworów cechsztynu. Pierwszą serię po-
miarów wykonano przy wypełnieniu otworu wiertni-
czego płuczka, przy której prowadzono wiercenie. By-
ła to płuczka niezmineralizowana (np. odwierty Z-7,
G-4), jak i zmineralizowana (np. odwierty K-1, W-14).
Następnie po nawierceniu solonośnych utworów ce-
chsztynu płuczka samorzutnie się zasalała, przy czym
po odpowiednim okresie wykonywano drugą serię po-
miarów. Uniknięto w ten sposób kłopotliwej wymia-
ny płuczki.

Na ryc. 1 przedstawiono komplet pomiarowy za-

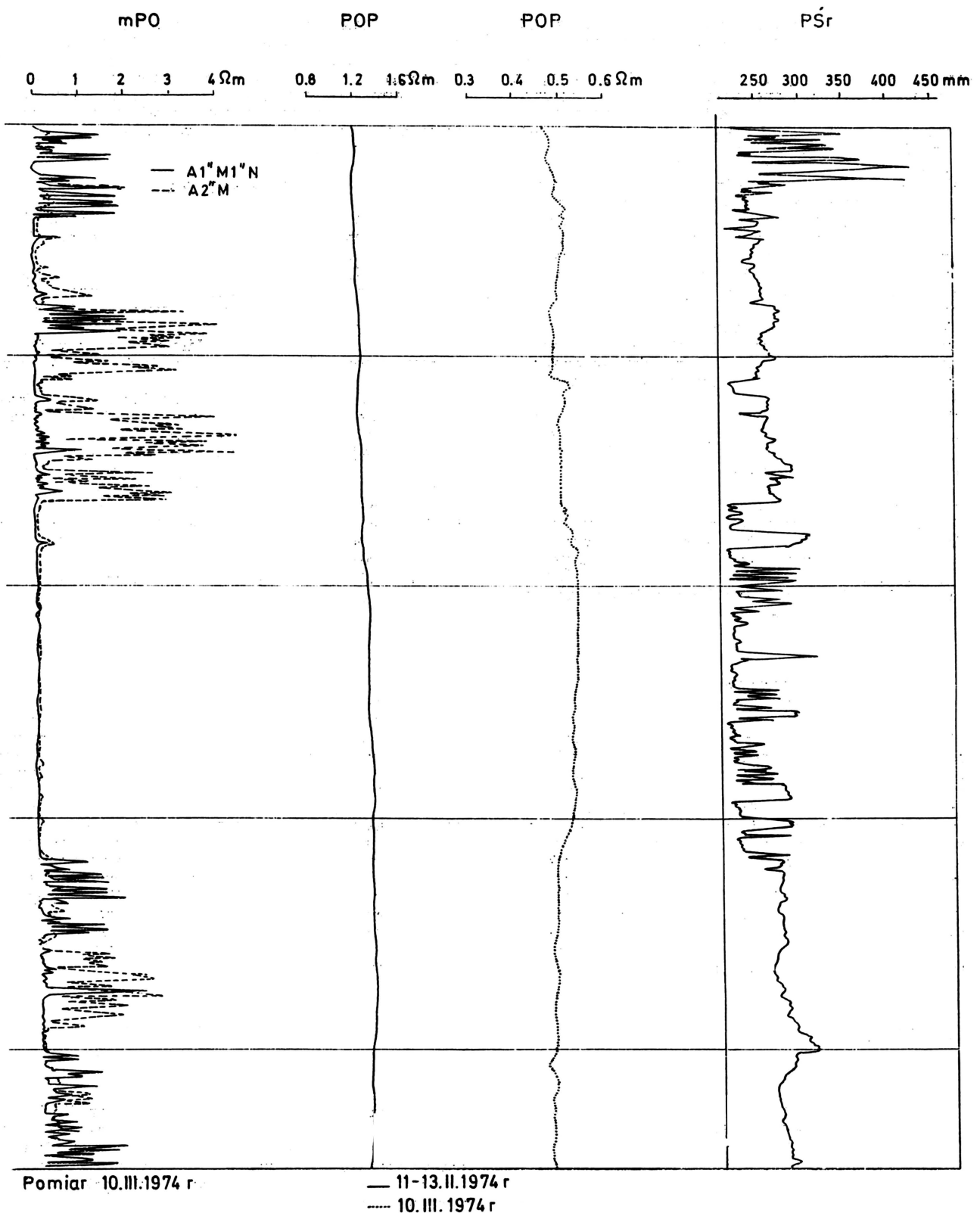


Fig. 2. Measurement of fissurity of carbonate rocks with the use of borehole electrometry methods (borehole Z-7, area of the Fore-Sudetic monocline).

stosowany w otworze wiertniczym G-4 w rejonie synklinorium pomorskiego. Pierwszy pomiar wykonano przy $\rho_{pt} \approx 1,15$ omm, natomiast drugi przy $\rho_{pt} \approx 0,04$ omm. Stosunek oporności płuczek wynosił więc aż 28,7. Wapień muszlowy posiada stosunkowo małą miąższość i charakteryzuje się niską opornością właściwą. Z porównania krzywych P0st-3 zarejestrowanych w różnym czasie wynika, że badane utwory posiadają strefy szczelinowe w bardzo wąskich przedziałach głębokościowych, wydzielone strefy za-

znaczają się również bardzo wyraźnie na krzywej PS. Analiza pozostałych krzywych geofizycznych, z których część przedstawiono na ryc. 1 potwierdziła istnienie stref szczelinowych w wyznaczonych przedziałach głębokościowych otworu wiertniczego.

Zdecydowanie bardziej szczelinowaty okazał się wapień muszlowy w rejonie monokliny przedsudeckiej, w otworze wiertniczym Z-7 (ryc. 2) wykonano pierwszy pomiar P0st-3 przy płuczce o oporności $\rho_{pt} = 1,2$ omm, natomiast drugi przy $\rho_{pt} = 0,5$ omm.

Stosunek oporności płuczek wynosił więc tu ok. 2,5. Z porównania krzywych P_{Ost-3} wynika, że badany kompleks wapienia muszlowego jest silnie szczelinowaty, zwłaszcza w przedziale 872—962 m (wapień muszlowy dolny). Krzywe mikroprofilowania oporności stwierdzają dobre własności zbiornikowe analizowanego kompleksu w tym przedziale. Nie mniej jednak trudno jest na podstawie wyników metody P_{Ost-3} poznać dokładny mechanizm filtracji płuczki w skały. Żeby można było jednoznacznie stwierdzić w jakiej części przestrzeni porowej skały nastąpiła wymiana filtratu płuczki należy zbadać zmiany oporności właściwej stref filtracji przedziałów przepuszczalnych przekroju, w stosunku do zmian mineralizacji płuczek wiertniczych. Jest to jednak nie zawsze możliwe do rozwiązania przy dysponowaniu tylko danymi metody P_{Ost-3}.

Z przeprowadzonych badań utworów wapienia muszlowego „metoda dwu roztworów” (otwory wiertnicze G-4, W-14, K-1, Z-7 i in.) wynika, że analizowany kompleks wapienia muszlowego jest zdecydowanie bardziej szczelinowy na monoklinie przedsudetickej niż w synklinorium pomorskim. Wyniki uzyskane za pomocą sond trójelektrowych z elektrodami cylindrycznymi należy uznać z punktu widzenia interpretacji jakościowej za w pełni zadowalające. Jedynie pewne wątpliwości sprawia problem ilościowej oceny porowatości szczelinowej K_p^{szcel} .

Za pomocą krzywych oporności zarejestrowanych tylko sondą trójelektrową nie w każdym przypadku można wyznaczyć dokładne wartości oporności rzeczywistych, od których zależy funkcjnie K_p^{szcel} . W tym celu należy znać wcześniej niektóre parametry geofizyczne takie, jak: np. średnicę strefy filtra-

cji D lub tak poszerzyć komplet pomiarowy, aby na jego podstawie można było określić te parametry. Znacznie lepszymi możliwościami w tym względzie dysponuje siedmioelektrowe syntetyczne sterowane profilowanie oporności S_{Ost-7}. Wyniki badań skał zbiornikowych o porowatości szczelinowej z wykorzystaniem metody S_{Ost-7} przedstawione zostaną w oddzielnym opracowaniu.

LITERATURA

1. Balowa Z. — Wykorzystanie profilowania elektrochemicznego do badania kolektorów szczelinowych. Prz. geol. 1965, nr 3.
2. Basin J. N. i in. — O wozmożnościach wydzielenia kawernożnych i trieszczinnych izwiestniaków metodami promysłowej geofiziki. Prik. Geof. 1964, wyp. 39.
3. Goriunow J. J. — Udzielnoje soprotiwlenije treszczinowatoj gornoj porody. Ibidem, 1964, wyp. 38.
4. Nieczaj A. M. — Ocienka produktiwnosti i kolektorskich swojstw treszczinowatych karbonatnych porod. Ibidem. 1960, wyp. 26.
5. Nieczaj A. M. — Izuczenije karbonatnych kolektorow so złożnoju strukturoju porowogo prostranstwa metodom dwuch roztworow. Tr. SiewKawNII, 1971, wyp. 10.
6. Orłow L. I., Ruczkin A. W. — O wydielenii treszczinowatych kolektorow po dannym elektriczeskogo karotaza. Razw. Geof., 1965, wyp. 4.
7. Ruczkin A. W. — Niekotoryje priemy wydielenija treszczinnych kolektorow metodami promysłowej geofiziki. Ibidem, 1969, wyp. 34.

SUMMARY

The paper deals with the studies on fissurality of carbonate rocks using borehole electrometry methods. The results of measurements made by „two-solution method” with the use of three-electrode remote resistance logging are given. Experimental measurements were made in boreholes from the areas of the Pomeranian Synclinorium and Fore-Sudetic Monocline. The studied rocks represent carbonate Muschelkalk complex. The discussion is illustrated with two sets of measurement data from the boreholes G-4 and Z-7. The results obtained with the use of three-electrode plummets with cylindrical electrodes may be treated as fully satisfactory from the point of view of qualitative interpretation.

РЕЗЮМЕ

В статье описано исследование трещиноватости карбонатных пород методом скважинной электрометрии. Приведены результаты измерений полученные „методом двух растворов” с применением трёхэлектродного управляемого профилирования сопротивления. Экспериментальные измерения проводились в буровых скважинах в районе поморского синклинория и предсудетской моноклинали. Исследованиям подвергался карбонатный комплекс ракушечного известняка. Описываемые вопросы иллюстрируются двумя примерами составов измерительных данных из скважин Г-4 и Ж-7. Результаты полученные при помощи трёхэлектродных зондов с цилиндрическими электродами вполне удовлетворительные с точки зрения качественной интерпретации.