

PROBLEM GEOFIZYCZNEGO OKREŚLANIA OPORNOŚCI MIOCENSKICH WÓD ZŁOŻOWYCH Z UWZGLĘDNIENIEM ICH SKŁADU CHEMICZNEGO

UKD 550.837.3:622.51:551.491.4:551.782.1(438-12:23.01)

Głównymi składnikami wód złożowych są kationy: Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} oraz aniony Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{--} , ponadto niekiedy występują w nieznacznych ilościach jony, np. J^- , SiO_3^{--} , Fe^{++} , K^+ , NH_4^+ , Sr^{++} , Ba^{++} i inne. W celu określenia oporności właściwej złożonych roztworów elektrolitów stosuje się przybliżone sposoby, dające wyniki o różnej dokładności. Jednym z najczęściej stosowanych sposobów jest określanie oporności właściwej mieszaniny elektrolitów na podstawie sumarycznego stężenia soli, wyrażonego w g/l. W tym przypadku wszystkie rozpuszczone w wodzie sole rozpatruje się jako sól (NaCl) i oporność wody złożowej R_{wz} określa się ze znanej zależności $R_{wz} = f(c, t)$ dla soli, gdzie c — stężenie soli w g/l, t — temperatura w stopniach Celsjusza (4).

Ostatnio przeprowadzono zagranicą próby podwyższenia dokładności określenia oporności wód złożowych jako mieszaniny elektrolitów (2). Wykorzystano dwa kierunki:

1) wprowadzenie współczynników przeliczeniowych, umożliwiających przejście od stężeń jonów różnego składu chemicznego do równoważnego stężenia soli;

2) obliczanie oporności na podstawie teoretycznych wzorów, wykorzystując rzeczywiste wartości ruchliwości różnych jonów lub współczynników przewodności elektrycznej poszczególnych jonów i soli.

Znajomość możliwie dokładnych wartości oporności wód złożowych (R_{wz}) warunkuje dokładność ilościowej interpretacji badań geofizycznych. Wielkość tę wykorzystuje się m.in. przy określaniu parametru porowatości, ocenie produktywności kolektorów oraz określaniu współczynników nasycenia ropą lub gazem.

W zakresie geofizycznych metod badawczych ilościowe określanie oporności właściwej wód złożowych przeprowadza się na podstawie profilowania potencjałów polaryzacji naturalnej (PS), korzysta się przy tym ze znanego wzoru

$$E_{PS} = -K_t \lg \frac{R_f}{R_{wz}} \quad [1]$$

gdzie E_{PS} — statyczna wartość amplitudy anomalii PS, którą określa się z wykresów pomiarowych z uwzględnieniem miąższości warstwy (dla miąższości warstwy $h > 10$ m $E_{DS} = \Delta U_{DS}$).

K_t — współczynnik anomalii PS w temperaturze warstwy t ,

R_{wz} — oporność wody złożowej,

R_f — oporność filtratu płuczkowego, którą oblicza się z uwzględnieniem oporności płuczki wiertniczej oraz jej gęstości i składu.

Znając oporność wody złożowej w danej temperaturze z łatwością można określić odpowiadającą jej mineralizację, wykorzystując w tym celu zależność $R_{wz} = f(c, t)$ (4). Często obserwuje się znaczne odchylenia wartości oporności wód złożowych R_{wz} określonych za pomocą wzoru [1] od rzeczywistych wartości R_{wz} mierzonych w warunkach laboratoryjnych.

M. Gondouin i współpracownicy (3) zajmowali się zagadnieniem przyczyn omawianych odchyśleń i opracowali metodykę umożliwiającą dokładne określanie oporności wód o wysokiej i niskiej mineralizacji, zawierających oprócz soli również i CaCl_2 , CaSO_4 , $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. W wyniku prac teoretyczno-eksperymentalnych ustalona została zależność oporności wód złożowych zawierających NaCl od aktywności jonów

Na^+ obecnych w roztworze (w temp. 25°C). Zależność tę ilustruje ryc. 1, z której wynika, iż oporność jest odwrotnie proporcjonalna do aktywności dla oporności większych od 0,17 Ωm . W zakresie mniejszych wartości oporności liniowy charakter zależności nie utrzymuje się. W związku z tym dla wód złożowych o dużej mineralizacji (czyli małej oporności właściwej) przeprowadzono obliczenia* za pomocą wzoru:

$$E_{PS} = -K_t \lg \frac{A_{wz}}{A_f} \quad [2]$$

Dla przykładu podaje się sposób obliczenia R_{wz} dla wody złożowej występującej w otworze G-7. Wykorzystując krzywą potencjałów polaryzacji naturalnej (PS) oraz wzór [1] przy oporności filtratu płuczkowego $R_f = 0,97 \Omega\text{m}$ otrzymano wartość oporności wody złożowej $R_{wz} = 0,11 \Omega\text{m}$. Następnie zastosowano wzór [2] oraz charakterystykę $R_{wz} = f(A)$ przedstawioną na ryc. 1 i określono aktywność płuczki $A_f = 0,07$ oraz aktywność wody złożowej $A_{wz} = 0,63$, otrzymując rzeczywistą oporność wody złożowej $R_{wz} = 0,15 \Omega\text{m}$. Między wartościami R_{wz} otrzymanymi za pomocą wzorów [1] i [2] uzyskano znaczne różnice, co jest zgodne z wnioskami przedstawionymi w pracy Gondouina i współpracowników (3). Obecność w wodzie złożowej jonów wapnia i magnezu większa jej aktywność (a więc i wielkość potencjałów polaryzacji naturalnej) w porównaniu z aktywnością, jaką ta woda wykazywałaby, gdyby w identycznych warunkach nie zawierała innych soli oprócz chlorku sodu.

Dla wieloskładnikowych roztworów właściwy jest wzór [3]:

$$E_{PS} = -K_t \lg \frac{(A_{Na} + \sqrt{A_{Ca} + A_{Mg}}) w_z}{(A_{Na} + \sqrt{A_{Ca} + A_{Mg}}) f} \quad [3]$$

Wielkości występujące w liczniku i mianowniku można określić za pomocą krzywej zależności aktywności jonów Na^+ od stężenia Na^+ w roztworze w temp. 25°C oraz krzywej zależności $(A_{Ca^{++}} + A_{Mg^{++}})^{1/2}$ od stężenia jonów Ca^{++} i Mg^{++} w temp. 25°C przedstawionych na ryc. 2 i 3.

M. Gondouin i współpracownicy przebadali stosowność wzoru [3] w praktyce oraz związek między aktywnością wieloskładnikowej wody a jej opornością. W tym celu dla roztworów wieloskładnikowych wprowadza się pojęcie oporności równoważnej, która jest odwrotnie proporcjonalna do aktywności: $(R_{wz})e = B/A_{wz}$. Współczynnik B dobiera się w taki sposób, aby spełniony był warunek $(R_{wz})e = R_{wz}$ dla rozcieńczonych roztworów NaCl ($R_{wz} > 0,3 \Omega\text{m}$).

Jeśli woda złożowa jest wieloskładnikowa, a płuczka wiertnicza zawiera tylko NaCl , zamiast wzoru [3] stosuje się:

$$E_{PS} = -K_t \lg \frac{R_f}{(R_{wz})e} \quad [4]$$

z którego otrzymuje się wartości równoważnej oporności wody złożowej $(R_{wz})e$. Ryc. 4 przedstawia zbiór krzywych do określania rzeczywistej wartości oporności R_{wz} ze znajomości $(R_{wz})e$ przy różnych tem-

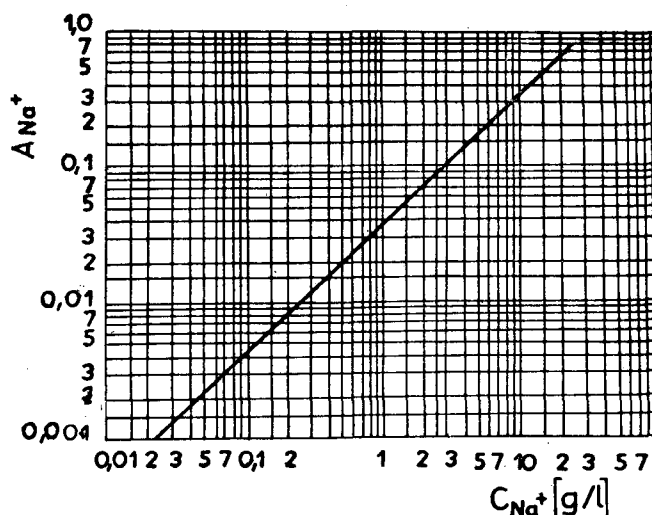
* Wszystkie obliczenia przeprowadzono dla otworów wiertniczych zlokalizowanych w rejonie Przedgórze Karpat Środkowych.

Tabela I

Otwór wiertniczy	zawartość [g/l]								głębokość [m]
	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SiO ₂ ⁻	SO ₄ ⁻	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Fe ⁺⁺⁺	
M-2	13,48	2,53	0,05	0,05	8,70	0,55	0,20	0,040	1419—1425
M-3	8,51	1,15	0,05	0,53	5,95	0,17	0,08	0,003	1512—1518

Tabela II

Lp.	Otwór wiertniczy	Głębokość [m]	Oporność wody złożo- wej R_{wz} [Ω m]	Stratygrafia
1	M-3	365—378	0,57	sarmat.
		383—408	0,46	"
		1060—1070	0,33	torton
		1220—1230	0,35	"
		1512—1528	0,46	"
2	M-5	1090—1099	0,33	"
		1150—1160	0,35	"
3	J-2	1070—1080	0,34	"
		1210—1222	0,43	"
		1475—1486	0,54	"
4	J-3	1000—1011	0,16	"
		1060—1070	0,19	"
5	J-4	1090—1100	0,33	"
		1120—1134	0,42	"
		1244—1257	0,52	"
6	J-5	990—1007	0,27	"
		1455—1467	0,34	"
7	M-6	790—805	0,21	"
		980—992	0,29	"
8	M-12	863—888	0,16	"
		875—910	0,23	"
		954—990	0,55	"
9	M-15	1145—1155	0,24	"
		1258—1269	0,32	"



Ryc. 2.

Fig. 2

peraturach [3]. W zakresie oporności 0,08—0,3 Ω m ($t = 25^\circ\text{C}$) można przyjąć, że $R_{wz} \approx (R_{wz})_e$, a więc w tym zakresie można bezpośrednio stosować wzór [1], przy czym dla oporności mniejszych od wartości 0,17 Ω m — wzór [2].

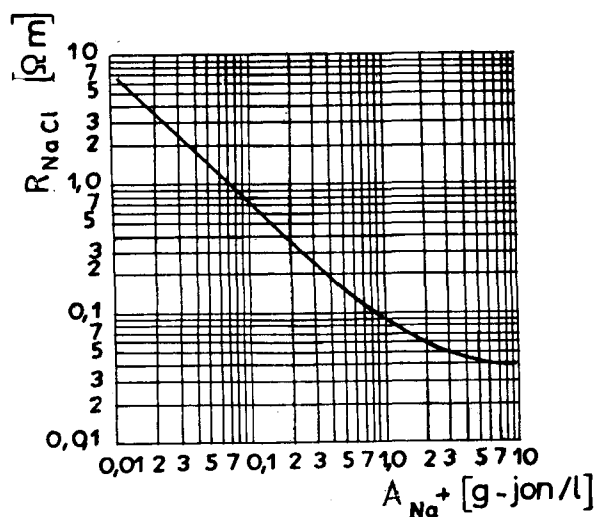
W tabeli I przedstawiono przykładowo skład chemiczny wody złożowej z otworów wiertniczych M-2 i M-3 usytuowanych w rejonie środkowego Przedgórze Karpat.

Przy obliczaniu oporności wieloskładnikowych wód złożowych wykorzystano metodę Gondouina i współpracowników. Rozpatrzmy przykłady obliczania oporności właściwej wód złożowych: a) o niskiej mineralizacji ($R_{wz} > 0,3 \Omega$ m), b) o wysokiej mineralizacji ($R_{wz} < 0,08 \Omega$ m).

Ad a) w otworze wiertniczym G-8 dla wody złożowej otrzymano z równania [4] $(R_{wz})_e = 0,35 \Omega$ m (w temp. 25°C), skąd $R_{wz} = 0,42 \Omega$ m. W omawianym przypadku różnica między wielkością R_{wz} obliczoną z wzoru [1], czyli przy zaniedbaniu obecności innych jonów niż Na^+ i Cl^- , a wielkością R_{wz} uzyskaną z analiz chemicznych stanowiła 22%. Przy zastosowaniu natomiast wzoru [4] uwzględniającego obecność w roztworze jonów Ca^{++} i Mg^{++} różnica ta wynosiła 7%.

Ad b) w przypadku wód złożowych o wysokiej mineralizacji wpływ jonów Ca^{++} i Mg^{++} na wyniki pomiarów jest znikomy ze względu na to, że ich zawartość jest znacznie mniejsza od zawartości jonów Na^+ . Jednak wzór [1] daje wyniki obarczone dużym błędem, gdyż w zakresie wysokich stężeń stosunek aktywności nie jest równy odwrotnemu stosunkowi oporności. Do obliczeń R_{wz} stosuje się więc wzór [4]. Dla jednego z horyzontów wodnych występujących w otworze wiertniczym G-6 z równania [4] otrzymano $(R_{wz})_e = 0,067 \Omega$ m. Wykorzystując dalej krzywą $R_{wz} = f(R_{wz})_e$ (ryc. 4) otrzymano $R_{wz} = 0,095 \Omega$ m w temp. 25°C . Różnica między wielkością R_{wz} obliczoną z wzoru [1] a wielkością R_{wz} uzyskaną z analiz chemicznych stanowiła 21%, natomiast przy zastosowaniu wzoru [4] różnica ta wynosiła 12%.

Na podstawie metody Gondouina i współpracowników wykonano szereg obliczeń oporności właściwej wód złożowych, nasycających miocenne utwory trzeciorzędu w rejonie środkowego Przedgórze Karpat.



Ryc. 1.

Fig. 1

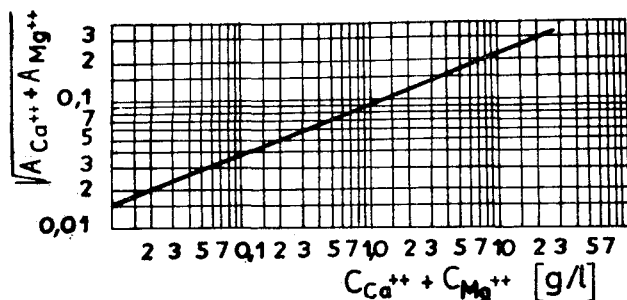


Рис. 3.

Fig. 3

W tym celu dla wód złożowych zawierających tylko jony Na^+ i Cl^- stosowano wzory [1] i [2], a dla wód złożowych zawierających oprócz jonów Na^+ i Cl^- również jony Ca^{++} i Mg^{++} stosowano wzory [1], [2] i [4].

Wyniki obliczeń przeanalizowano z punktu widzenia zależności oporności właściwej wód złożowych od głębokości ich zalegania. Jak wiadomo, dla większości wód złożowych obserwuje się zmniejszanie się oporności z głębokością (1). Jednak obserwuje się również odwrotną zależność — oporność wód złożowych znajdujących się na większych głębokościach jest większa, niż dla wód położonych na mniejszych głębokościach. Tego typu zależność jest charakterystyczna dla wód utworów tortonu (tab. II, otw. M-5, J-2, J-3 i in.), przy czym często obserwuje się zmniejszanie się oporności wód zawartych w utworach, począwszy od sarmatu do tortonu — a w tortonie odwrotnie — zwiększanie się oporności z głębokością (w tab. II otw. M-3). Zdarzają się również charakterystyki nie wskazujące na żaden związek oporności właściwej wód złożowych z głębokością (np. w otworze wiertniczym M-4 nie podanym w tabeli przy zmianie głębokości od 1000–1360 m oporność jest stała i wynosi 0,33 Ωm).

W wyniku analizy krzywych potencjałów polaryzacji naturalnej stwierdzono, że:

1) jeśli woda złożowa zawiera praktycznie tylko jony Na^+ i Cl^- celowe jest stosować dla $R_{wz} > 0,17$ Ωm wzór [1], $R_{wz} < 0,17$ Ωm wzór [2];

2) jeśli woda złożowa zawiera oprócz jonów Na^+ i Cl^- również jony Ca^{++} i Mg^{++} celowe jest stosować dla

$$0,17 \Omega\text{m} < R_{wz} < 0,30 \Omega\text{m} \text{ wzór [1],}$$

$$0,08 \Omega\text{m} < R_{wz} < 0,17 \Omega\text{m} \text{ wzór [2],}$$

$$0,30 \Omega\text{m} < R_{wz} < 0,08 \Omega\text{m} \text{ wzór [4].}$$

3) nie obserwuje się regularności, która umożliwiłaby ustalenie dla badanego rejonu czy nawet wybranej części tego rejonu, stałego przedziału zmiany

SUMMARY

Calculations of the resistivity of the interstitial waters occurring in the Miocene deposits of the foreland of the Middle Carpathians have been made. Waters containing sodium, chlorine, calcium and magnesium ions, and those containing only sodium and chlorine ions have been considered, as well. The results of the calculations have been analyzed from the viewpoint of the dependence of the interstitial water resistivities upon the depths.

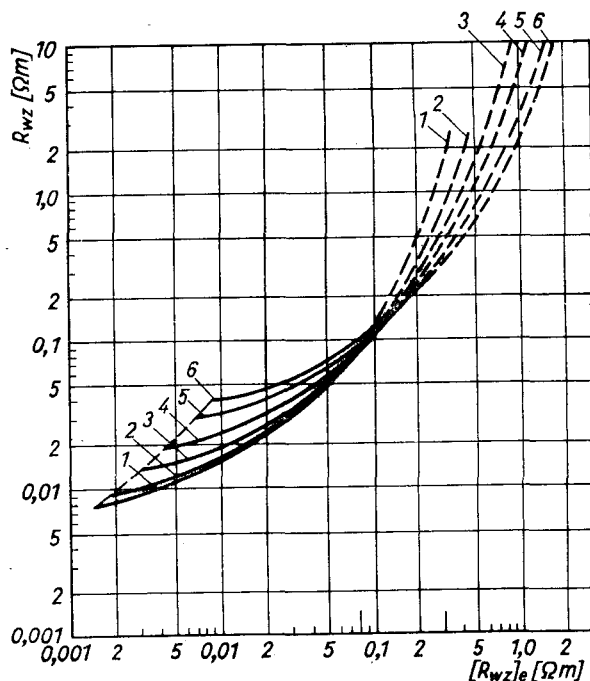


Рис. 4.

1 — $t = 205,0^\circ\text{C}$, 2 — $t = 150,0^\circ\text{C}$, 3 — $t = 94,4^\circ\text{C}$, 4 — $t = 67,7^\circ\text{C}$, 5 — $t = 39,0^\circ\text{C}$, 6 — $t = 25,0^\circ\text{C}$.

Fig. 4

1 — $t = 205,0^\circ\text{C}$; 2 — $t = 150,0^\circ\text{C}$; 3 — $t = 96,4^\circ\text{C}$; 4 — $t = 67,7^\circ\text{C}$; 5 — $t = 39,0^\circ\text{C}$; 6 — $t = 25,0^\circ\text{C}$.

oporności wody złożowej ΔR_{wz} przypadającego na dany przedział zmiany głębokości Δh .

LITERATURA

1. Czernicki J. — Zmiany mineralizacji mioceńskich wód złożowych w rejonie Rzeszowa. Geofizyka i Geologia Naftowa, 1964, nr 10–12.
2. Dunlap H. G., Hawthorne R. R. — Obliczanie oporności wody złożowej z danych analiz chemicznych. J. Petrol. Technol. III, 1953.
3. Gondouin M., Tixier M. P., Simard J. L. — Wpływ chemicznego składu elektrolitów na dyfuzyjno-adsorpcyjną siłę elektromotoryczną. J. Petrol. Technol. Vol. IX, nr 2, 1957 (tłumacz. ros. „Promyslowaja Geofizika” wyp. 1, 1959).
4. Sprawozdanie geofizika. T. II, Gostoptiechizdat, 1961.

РЕЗЮМЕ

В статье описываются проведенные расчеты удельного сопротивления миоценовых пластовых вод в районе среднего Предгорья Карпат. Рассмотрены случаи, когда в водах содержались единственно ионы Na^+ и Cl^- , и случаи, когда кроме них присутствовали ионы Ca^{++} и Mg^{++} . Результаты определений анализируются с учетом влияния глубины залегания вод.