

OKREŚLANIE NIEKTÓRYCH HYDROGEOLOGICZNYCH PARAMETRÓW WARSTW WODONOŚNYCH NA PODSTAWIE BADAŃ ELEKTROOPOROWYCH

UKD 556.332:550.837.31

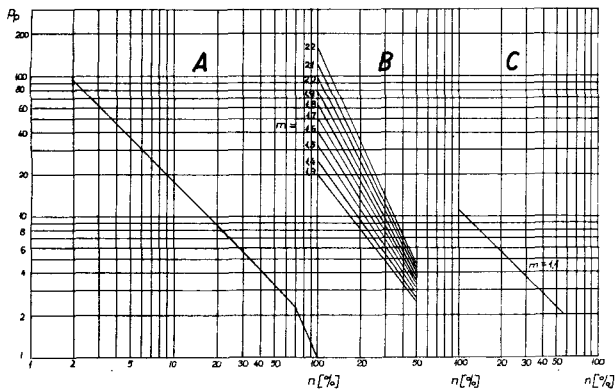
Autorzy podjęli próbę usystematyzowania i podsumowania wyników dotychczasowych badań nad stosowaniem metody geoelektrycznych sondowań elektrooporowych GSE dla określania podstawowych parametrów hydrogeologicznych zawodnionych skał sypkich. Na podstawie zgromadzonego materiału teoretycznego i praktycznego autorzy proponują odpowiednią metodykę badań geofizycznych pod kątem ich pełniejszego zastosowania w hydrogeologii i geologii inżynierskiej. Praktyczne zastosowanie metody przedstawiono na przykładzie badań elektrooporowych wykonanych przez Pracownię Badań Geofizycznych „Hydrogeo” dla stopnia wodnego na Wiśle pod Wyszogrodem.

Autorzy pragną zainteresować proponowaną metodą geologów i geofizyków zajmujących się badaniami w hydrogeologii i geologii inżynierskiej, w związku z czym uważali za celowe (dla uzyskania pełnego obrazu) przedstawienie niektórych podstawowych pojęć i definicji dotyczących hydrogeologicznych i elektrycznych własności skał.

HYDROGEOLOGICZNE WŁASNOŚCI SKAŁ

Skałami wodonośnymi nazywamy skały posiadające zdolność gromadzenia, przewodzenia i oddawania wody. Zdolność przewodzenia wody mają skały, w których pory, szczeliny, kawerny itp. tworzą połączony system o wymiarach umożliwiających przepływ wody w wyniku różnicy ciśnień hydrostatycznych. Podstawowymi parametrami hydrogeologicznymi skał sypkich, określanymi w większości badań, są: porowatość, porowatość efektywna i odsączalność oraz współczynnik filtracji.

Porowatość n jest to własność skał wynikająca z istnienia porów międzyziarnowych (w przypadku skał sypkich). Zależy ona od kształtu i ułożenia ziarn oraz stopnia jednorodności uziarnienia, natomiast wielkość samych ziarn nie ma wpływu na wartość porowatości. Sypkie utwory wodonośne zbudowane są z ziarn o niejednakowej wielkości i kształcie oraz różnym sposobie ułożenia; powiązanie po-



Ryc. 1. Zależność parametru porowatości P_p od porowatości n A — dla skał o jednorodnej strukturze zbudowanych z ziarn kulistych jednakowej wielkości (wg Dachnowa), B — dla piasków i piaskowców z uwzględnieniem współczynnika cementacji (wg Archie'go), C — dla utworów żwirowo-piaszczystych (wg Arandelovica).

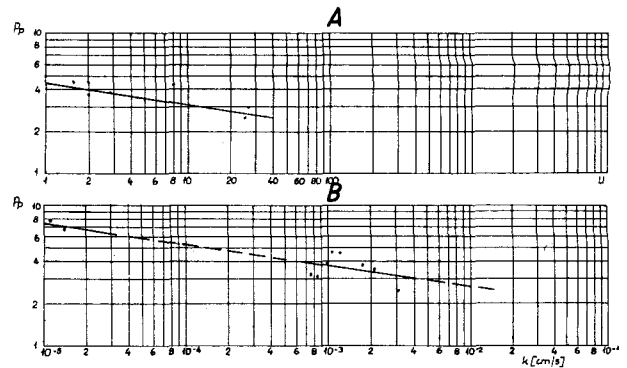
Fig. 1. Dependence of porosity parameter, P_p , on porosity, n A — rocks of homogeneous structure, built of spherical grains of uniform size (after Dachnow), B — sands and sandstones, cementation coefficient taken into account (after Archie), C — gravel-sandy deposits (after Arandelovic).

rów i pustek nie jest podporządkowane żadnej ogólnej prawidłowości. Część porów biorąca czynny udział w przepływie wody podziemnej nosi nazwę porowatości efektywnej n_e i jest dynamiczną cechą środowiska wodonośnego. Jej miarą jest współczynnik porowatości efektywnej. Zdolność środowiska wodnego do oddawania wody określa współczynnik odsączalności μ .

Jedną z najistotniejszych właściwości skał jest ich zdolność do przewodzenia wody. Miarą wodoprzepuszczalności skał jest współczynnik filtracji k określający (zgodnie z liniowym prawem filtracji Darcy'ego) zależność między spadkiem hydraulicznym a prędkością filtracji wody podziemnej. Zależy on od własności ośrodka filtrującego oraz fizycznych właściwości cieczy filtrującej. Współczynnik filtracji sypkich utworów wodonośnych określa się na ogół na podstawie wyników badań polowych, laboratoryjnych lub ze wzorów empirycznych.

ELEKTRYCZNE WŁASNOŚCI SKAŁ I ICH ZALEŻNOŚĆ OD NIEKTÓRYCH PARAMETRÓW HYDROGEOLOGICZNYCH

Ogólnie opór właściwy skały zależy od oporu jej szkieletu mineralnego i oporu zawartych w niej cieczy. Dla wodonośnych utworów żwirowo-piaszczystych szkielet mineralny tworzą przeważnie kwarc i skalenie, praktycznie nie przewodzące prądu elektrycznego. W związku z tym o oporze warstwy wodonośnej decyduje opór wypełniającej ją wody oraz jej procentowa zawartość w skale. Opór właściwy wody zależy również od składu chemicznego rozpuszczonych w niej soli, ich stężenia oraz od temperatury. W wodach podziemnych pierwszego poziomu skład chemiczny zmienia się zwykle w niewielkim stopniu. Najczęściej są to wody zawierające rozpuszczone węglany, chlorki i siarczany, głównie wapnia i magnezu. Większym zmianom może ulegać stężenie tych soli w wodzie. Można przyjąć, iż ogólna mineralizacja podziemnych wód czwartorzędowych zmienia się od kilkudziesięciu do kilkuset miligramów na litr. Istnieje szereg przybliżonych sposobów oznaczania oporu elektrycznego wody z danych analizy chemicznej



Ryc. 2. Zależność parametru porowatości P_p od współczynnika filtracji k

A — dla słabo scementowanych piaskowców (wg Archie'go dla piaskowców Gulf Coast), B — dla utworów żwirowo-piaszczystych (wg Arandelovica dla utworów tarasu Dunaju).

Fig. 2. Dependence of porosity parameter, P_p , on filtration coefficient, k

A — weakly cemented sandstones (Gulf Coast sandstones, after Archie), B — gravel-sandy deposits (Danube terrace deposits, after Arandelović).

(Worobiew 1963). Najczęściej stosowany jest wzór (11):

$$M = c \cdot \kappa \text{ mg/l} \quad [1]$$

gdzie: M — ogólna mineralizacja wody,
 c — współczynnik liczbowy,
 κ — przewodnictwo elektryczne.

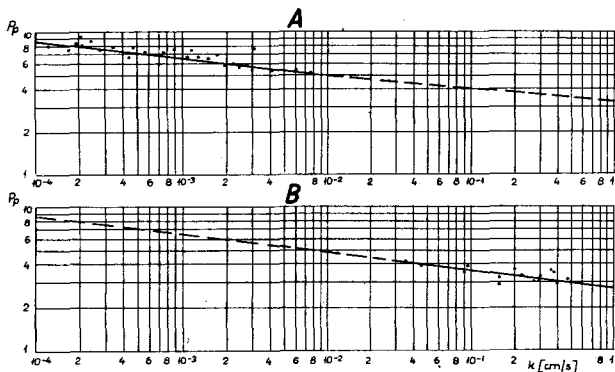
Przy korzystaniu z tego wzoru zakłada się, że oporność elektryczna wody jest taka, jaką miałby roztwór NaCl o równoważnej mineralizacji. Określanie oporu wody na podstawie chemicznej analizy próby wody jest mało dokładne, zwłaszcza dla wód o podwyższonej mineralizacji przy niewielkiej zawartości chlorków. W związku z tym należy dążyć do określania oporu wody poprzez bezpośrednie pomiary rezystywowymetrem w otworach lub konduktometryczne pomiary pobranych próbek wody. Ten ostatni sposób jest najprostszym i wystarczająco dokładnym.

Przewodność elektryczna wody zmienia się zależnie od temperatury. Dla wód czwartorzędowych pierwszego poziomu przyjmuje się za średnią temperaturę $+10^\circ\text{C}$ i wszystkie pomiary należy sprowadzać do tej temperatury. Do tego celu wykorzystuje się odpowiednio nomogramy (12).

Opór skały zależy również od procentowej zawartości elektrolitu. Stwierdzono ogólnie, iż zawartość elektrolitu w skale (w tym przypadku wody w sypkich utworach przepuszczalnych) zależy od porowatości tych utworów. Stosunek oporu zawodnionej skały (warstwy wodonośnej) ρ_{ws} do oporu zawartych w niej cieczy (wody) ρ_w w teorii elektrokarotazu nazywa się parametrem porowatości P_p (12):

$$P_p = \frac{\rho_{ws}}{\rho_w} \quad [2]$$

(W literaturze radzieckiej parametr ten nosi nazwę względnej oporności „otnositielnoje soprotiwlenie”, zaś w zachodniej współczynnika formacji „formation factor”). Parametr porowatości, jedna z podstawowych wielkości w geofizyce wiertniczej, jest charakterystycznym wskaźnikiem własności skały. Jak wykazały badania (3, 10, 2) zależy on głównie od porowatości, ale również od jednorodności uziarnienia, tekstury oraz stopnia zawodnienia.



Ryc. 3. Wyniki badań dla piaszczystych i piaszczysto-żwirowych utworów tarasu Wisły (w rejonie Wyszogrodu)

A — zależność parametru porowatości P od współczynnika jednorodności uziarnienia U, B — zależność parametru porowatości P od współczynnika filtracji k.

Fig. 3. Results of studies on sandy and sandy-gravel deposits of the Vistula river terrace in Wyszogród area

A — dependence of porosity parametr, P, on coefficient of homogeneity of granulation, U, B — dependence of porosity parametr, P, on filtration coefficient, k.

Zależność parametru porowatości skały od porowatości nie jest jednoznaczna, w pewnych przypadkach skały o tej samej porowatości mają różne parametry porowatości P_p . Można to tłumaczyć tym, że na parametr porowatości ma także wpływ wiele innych czynników powyżej wymienionych. Wprowadzenie uzgodnionego współczynnika, obejmującego te wpływy byłoby pożądane, ale dotychczasowe próby w tym zakresie nie dały przekonujących wyników.

Stwierdzono jednak, iż w skałach o charakterystycznie rozwiniętej jednorodnej porowatości parametr porowatości P_p odzwierciedla z całą pewnością porowatość skały.

Teoretyczny wzór dla skały o jednakowej strukturze, zbudowanej z ziarn o tej samej wielkości, kulistego kształtu podał Dachnow:

$$P_p = \frac{1 + 0,25^3 1 - n}{1 - 3(1 - a)^2} \quad [3]$$

Wykres tej zależności podano na ryc. 1A.

Dla skał niejednorodnych, z jakimi mamy do czynienia w praktyce, nie jest możliwe ustalenie teoretycznej zależności między parametrem porowatości P_p a porowatością n . Archie, który prowadził szczególnie dużo badań w tej dziedzinie głównie dla geofizyki naftowej, podał wzór empiryczny ustalający tę zależność w postaci:

$$P_p = n^{-m} \quad [4]$$

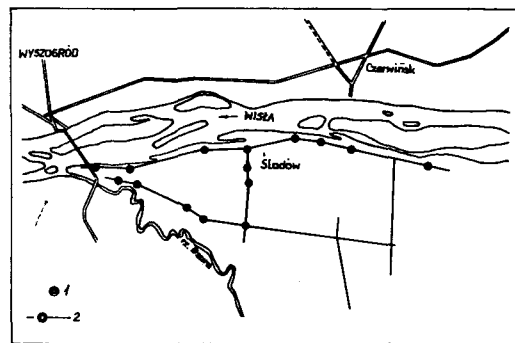
gdzie: m jest współczynnikiem cementacji skały, zależnym od stopnia jej zwięzłości.

Ryc. 1B przedstawia zależność parametru porowatości od porowatości i współczynnika cementacji m dla różnych skał.

Inne, rzadziej stosowane wzory podające tę zależność,

to wzór Dachnowa $P_p = \frac{Q}{n^m}$

(Q — stała, zależna od stopnia cementacji i rodzaju skały) i Humble'a $P_p = 0,62 n^{-2,15}$. Współczynnik cementacji rośnie wraz ze stopniem zwięzłości skały. Jak wynika z analiz przeprowadzonych przez Archie'go dla piasków i piaskow-



Ryc. 4. Szkic sytuacyjny rejonu badań

1 — otwory wiertnicze, 2 — ciągi sondowań elektrooporowych.

Fig. 4. Sketch of the area studied.

1 — boreholes, 2 — electric resistance survey profiles.

ców może on zmieniać się od 1,3 do 2,2; w badaniach Arandelovića dla utworów żwirowo-piaszczystych wyniósł on 1,1 (ryc. 1C).

Oprócz badań mających na celu ustalenie zależności między parametrami porowatości a porowatością prowadzono również próby znalezienia podobnych zależności między parametrem porowatości a wodoprzepuszczalnością skał. Zagadnienie to jest jednak bardziej skomplikowane, ponieważ przepuszczalność skał zależy od wielu (często trudnych do określenia) czynników m.in. od: porowatości, porowatości efektywnej, stopnia wysortowania materiału, dyspersji, tekstury porów, domieszek ilastych i gliniastych. Jak dotychczas nie istnieje przekonujące teoretyczne rozwiązanie tego problemu. Istnieją wprawdzie podane przez Thiele'go (14) i Fritscha (7) ogólne zależności między oporem warstwy wodonośnej a jej parametrami hydrogeologicznymi w postaci funkcji $\rho = C \cdot \log x$

gdzie: ρ — oporność właściwa warstwy wodonośnej, c — stała lub frakcja zależna od geologicznych i fizycznych warunków określających dany obszar, x — określony parametr charakterystyczny dla warstwy wodonośnej (może to być współczynnik filtracji k , średnica miarodajna d_e itp.).

Zależności te ustalono na podstawie analogii między przepływem prądu elektrycznego a przepływem wody w polu filtracyjnym. Analogie takie istnieją i są wykorzystywane w metodach modelowania AEHD. Jednak w świetle wyników badań Archie'go, Morozowa, Arandelovića i in. bezpośrednie stosowanie tych analogii dla ustalenia zależności między parametrami hydrogeologicznymi a oporem elektrycznym warstwy wodonośnej jest nieuzasadnione, zwłaszcza że nie uwzględniają one tak istotnych parametrów jak oporność samej wody i jej procentowa zawartość w skałe.

Na podstawie prowadzonych badań: Archie'go dla słabo scementowanych piaskowców, Morozowa dla piaskowców i piasków oraz Arandelovića dla utworów żwirowo-piaszczystych ustalono empiryczne zależności między parametrem porowatości P_p a współczynnikiem filtracji k , charakterystyczne dla określonych rodzajów skał i określonych rejonów (ryc. 2). Stwierdzono ogólny związek między parametrem porowatości a przepuszczalnością: **im większa wartość parametru porowatości, tym mniejsza przepuszczalność skały.**

Istnieje możliwość ustalenia empirycznych zależności między parametrem porowatości a innymi cechami skał, mającymi wpływ na porowatość lub wodoprzepuszczalność. Autorzy ustalili taką empiryczną zależność między parametrem porowatości P_p a jednorodnością uziarnienia U ($U = d_{60}/d_{10}$) dla tarasowych utworów żwirowo-piaszczystych (ryc. C 3A).

PRAKTYCZNE ZASTOSOWANIE BADAŃ ELEKTROOPOROWYCH DO WYZNACZENIA NIEKTÓRYCH PARAMETRÓW HYDROGEOLOGICZNYCH SKAŁ

Dotychczas stosowanie powierzchniowych badań elektrooporowych w hydrogeologii i geologii inżynierskiej przeważnie ogranicza się do rozwiązywania problemów budowy geologicznej interesujących obszarów. Na podstawie wyników tych badań określa się głębokość i charakter stropu podłoża nieprzepuszczalnego oraz miąższość utworów przepuszczalnych. Dotychczas notuje się jedynie pojedyncze, sporadyczne próby wykorzystania danych opornościowych do określania parametrów hydrogeologicznych sypkich utworów przepuszczalnych.

Jak wynika z rozważań teoretycznych i przykładów powyżej podanych istnieje możliwość łatwego i szybkiego określania tych parametrów na podstawie znajomości oporności elektrycznej utworów zawodnionych i oporności wody podziemnej. Wartość oporu wody można otrzymać z obliczeń na podstawie danych analizy chemicznej, bezpośrednich pomiarów w otworach lub z pomiarów próbek wody pobieranych z otworów. W związku z faktem, iż skład chemiczny i stężenie soli w wodzie zmienia się równomiernie otrzymane wartości oporu wody można, poprzez interpolację między poszczególnymi punktami, rozszerzyć na cały interesujący obszar. Oporności utworów wodonośnych otrzymać można z interpretacji ilościowej krzywych sondowań geoelektrycznych elektrooporowych SGE (PSE).

Podstawową kwestią przy określaniu oporów jest zagadnienie jednoznaczności otrzymywanych tą drogą danych oporowych. Niejednoznaczność otrzymywanych praktycznie danych wynika już z teoretycznych ograniczeń metody, takich jak: warunek horyzontalnego ułożenia warstw, zasada ekwiwalencji, zjawisko utajenia warstw, zmniejszanie się rozdzielczości oraz ze wzrostem głębokości zasięgu, zjawisko anizotropii. W związku z tym stosowanie metody ogranicza się do obszarów o stosunkowo prostej budowie geologicznej, bez większych zaburzeń tektonicznych.

Badaniami elektrooporowymi można dokładnie rozpoznawać warstwy wodonośne o wyraźnym kontraście oporowym w stosunku do nadkładu i podłoża, miąższości rzędu co najmniej miąższości nadkładu, bez wyraźnych przewarstwień nieprzepuszczalnych, przy niewielkich nachyleniach stropu i spągu warstwy, bocznie jednorodnych. Dodatkowym warunkiem jest brak ostrych kontrastów oporowych utworów powierzchniowych, które mogą wpływać na charakter krzywych geoelektrycznych (1).

Dla warstw wodonośnych spełniających te warunki interpretacja ilościowa krzywych sondowań elektrooporowych za pomocą wielowarstwowych krzywych teoretycznych daje wartości oporów wystarczająco dokładne, aby traktować je jako materiał wyjściowy do dalszych interpretacji hydrogeologicznych. Dla rejonów o bardziej skomplikowanej budowie geologicznej dokładność interpretacji geofizycznej można zwiększyć przez stosowanie nowych rozwiązań metodycznych (sondowania w układzie

różnicowym) i nowoczesnych technik interpretacyjnych (transformowanie krzywych w układ różnicowy, kontrola wyników na maszynach cyfrowych). Ogólnie można przyjąć, iż metodą sondowań elektrooporowych dają się dokładnie rozpoznawać utwory przepuszczalne w dolinach i pradolinach rzecznych, które w większości spełniają warunki stosowności metody.

Autorzy przeprowadzili próbę potwierdzenia rozważań teoretycznych i praktycznych wyników innych badaczy, dotyczących zastosowania badań elektrooporowych do określania parametrów hydrogeologicznych utworów wodonośnych. Materiałem wyjściowym były wyniki badań elektrooporowych i geologicznych wykonanych dla stopnia wodnego na Wiśle w rejonie Wyszogrodu. Obszar badań obejmował taras I zalewowy i część tarasu II, zbudowane głównie z utworów piaszczystych i piaszczysto-żwirowych. Miąższość utworów sypkich, podścielonych łąkami plicenu, wynosiła średnio 15–30 m. Do opracowania wykorzystano dane z 11 otworów wiertniczych i reperowych sondowań elektrooporowych. Rozporządzano następującymi wynikami badań hydrogeologicznych: wartości współczynników filtracji określone w aparacie Wituna, wyniki analiz granulometrycznych i analiz chemicznych wody.

W związku z brakiem danych dotyczących porowatości obliczono z krzywych granulometrycznych współczynnik jednorodności uziarnienia $U = d_{60}/d_{10}$ umożliwiający jakościowe określenie porowatości skały. Pozwala on również obliczyć wartość współczynnika filtracji k (gdy nie wyznaczono go metodami polowymi ani laboratoryjnie) wzorami Beyera ($k = c \cdot d_{10}^2$, gdzie: $c = f_1(u)$) i Hazena ($k = c \cdot d_{10}^2$, gdzie: $c = f_2(u)$) dającymi wyniki porównywalne z wartościami k określonymi z próbnych pompowań (5). Obliczone z analiz chemicznych opory wody różniły się wyraźnie od oporów pomierzonych konduktometrem (8), w związku z czym do dalszych obliczeń przyjęto opory pomierzone. Stwierdzono duże różnice oporów wody dla różnych rejonów tarasu zalewowego, zmieniające się od 15 do 90 omm. Opór warstw zawodnionych otrzymano z interpretacji ilościowej krzywych GSE.

Na podstawie tych oporów ρ_{ws} i oporu wody ρ_w obliczono parametr porowatości ze wzoru [2] i sporządzono w skali bilogarytmicznej wykresy funkcji $P_p = f(k_f)$ i $P_p = f(u)$ ustalające empiryczną zależność między tymi wartościami. Wykresy tych funkcji przedstawia ryc. 3. Jak widać istnieją wyraźne zależności pomiędzy parametrem porowatości a jednorodnością uziarnienia oraz parametrem porowatości a współczynnikiem filtracji. Wprawdzie dysponowano niewielką ilością punktów pomiarowych, jednak otrzymane wyniki potwierdzają wnioski wynikające z wcześniej przytoczonych badań. W sumie pozwala to na pozytywną ocenę geofizycznej metody określania i prognozowania hydrogeologicznych własności skał wodonośnych.

Przy wykonywaniu badań geoelektrycznych dla hydrogeologii i geologii inżynierskiej istotne jest właściwe usytuowanie tych badań w kompleksie prac geologicznych uwzględniających również badania niezbędne dla pełnego wykorzystania danych elektrooporowych.

PROPONOWANA METODYKA BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

Dotychczas wykonywane badania geoelektryczne służą głównie do rozpoznania budowy geologicznej. Ich wykorzystanie ogranicza się do wstępnego określenia miąższości utworów przepuszczalnych oraz charakteru morfologii

nieprzepuszczalnego podłoża. Specjalistyczne badania geologiczne, wykonane w otworach (najczęściej lokalizowanych na podstawie rozpoznania geofizycznego) nie uwzględniają danych elektrooporowych rozpatrywanego rejonu. Ponieważ z danych tych można wyznaczyć przybliżone wartości wielu parametrów istotnych dla rozpoznania hydrogeologicznego i inżyniersko-geologicznego proponuje się następujące prowadzenie badań elektrooporowych i związanych z nimi prac geologicznych:

I etap — wykonanie sondowań rozpoznawczych. Zaęszczenie punktów pomiarowych w rejonach o bardziej skomplikowanej budowie geologicznej. Interpretacja na podstawie istniejących materiałów archiwalnych i wierceń reperowych.

II etap — wykonanie wierceń zlokalizowanych na podstawie geofizycznego rozpoznania rejonu. Specjalistyczne badania geologiczne uwzględniające: pomiar współczynnika filtracji metodami polowymi, pobranie próbek gruntu do badań laboratoryjnych (współczynnik filtracji k , porowatość, analiza granulometryczna), pobranie próbek wody do pomiaru oporności i wykonania analizy chemicznej. Wykonanie niezbędnych dodatkowych sondowań elektrooporowych.

III etap — reinterpretacja całości materiału geoelektrycznego pod kątem uściślenia wyników dotyczących rozpoznania budowy geologicznej i ich wykorzystania do określenia hydrogeologicznych i inżyniersko-geologicznych właściwości skał.

WNIOSKI

1. Badania elektrooporowe wraz z badaniami geologicznymi pozwalają na określenie i prognozowanie niektórych własności hydrogeologicznych i inżyniersko-geologicznych sybkich utworów wodonośnych na dużych obszarach z zadawalającą dokładnością. Na ich podstawie można sporządzać mapy takich parametrów, jak: mapa współczynnika filtracji k , mapa porowatości itp. Znajomość głębokości zalegania stropu podłoża nieprzepuszczalnego (z danych elektrooporowych) oraz wartości współczynnika filtracji k pozwala na określenie wartości przewodnictwa wodnego T . W przypadku niekompletnych danych z badań laboratoryjnych (np. braku współczynnika porowatości) można tą drogą, mając dane z analizy granulometrycznej wyznaczyć współczynnik jednorodności uziarnienia będący jakościowym wskaźnikiem porowatości skały.

2. Warunkiem pełnego wykorzystania metody elektrooporowej w badaniach hydrogeologicznych i inżyniersko-geologicznych jest ich właściwe ukierunkowanie w projekcie badań geologicznych, zgodnie z proponowaną metodyką. Niezbędna do pełnego wykorzystania danych elektrooporowych reinterpretacja wyników badań powinna być uwzględniona w cenniku prac geofizycznych.

LITERATURA

1. Alfano A. — The influence of surface formations on the apparent resistivity values in electrical prospecting. *Geoph. Prospecting*, 1960, No. 4; 1961, No. 2.
2. Arandelović D. — Pokušaj odredivanja poroz-

nosti i propustljivosti vodonosnih Šljunkovitopeskovitih sedimenta primenom geofizičkih metoda. *Vesn. Primeni. Geof. Ser. C*, Beograd, 1969/70.

3. Archie G. E. — Introduction to petrophysics of reservoir rocks. *BAAPG*, 1950, No 5.
4. Bhattacharga P. K., Patra M. P. — Direct current geoelectric sounding. Elsevier Publ. Co. Amsterdam, 1968.
5. Białas Z., Kleczkowski A. S. — O przydatności niektórych wzorów empirycznych dla określenia współczynnika filtracji k . *Arch. Hydrotech.* 1970, z. 3.
6. Dachnow W. N. — Elektrieskaja razwiedka neftiannyh i gazowych miestoroždieni. *Gostoptiechizdat. Moskwa*, 1954.
7. Fritsch V. — Geoelektrische Baugrund-Untersuchung. Verlag Für Bauwesen. Berlin, 1960.
8. Kazimierski B. — Rozkład współczynnika filtracji w powierzchniowych utworach tarasowych Wisły między Wyszogrodem a Kromnowem. *Arch. IHiGI UW. Warszawa*, 1970.
9. Misiewicz A., Dziewierz J. — Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla projektu wstępnego stopnia wodnego w Wyszogrodzie, *Arch. „Hydrogeo”*. Warszawa, 1966.
10. Morozow G. S. — Metodika opriedielenija poristosti, pronicajemosti i udielnoj powierzchni wodonosnych porod po dannym elektrieskogo karotaża. *Prikl. Geofiz.* 1958, wyp. 19.
11. Pazdro Z. — Hydrogeologia ogólna. *Wyd. Geol.*, 1964.
12. Plewa S. — Elektryczne własności skał. *Zarys geofizyki stosowanej*. Ibidem, 1972.
13. *Poradnik hydrogeologa*. Ibidem, 1971.
14. Thiele H. — Geoelektrik in der Wassererschliessung. Theil I, II, Essen, 1952.
15. Szymanko J. — Próba określenia współczynnika wodoprzepuszczalności skał sybkich na podstawie wartości oporności właściwej interpretowanej z krzywych sondowań elektrycznych. *Prz. geol.* 1966, nr 1.
16. Van Dam J. C., Meulenkaamp J. J. — Some results of the geoelectrical resistivity method in ground water investigations in the Netherlands. *Geoph. Prospecting*, 1967, No 1.

SUMMARY

The paper makes an attempt to systematize and to recapitulate results on studies on the application of electric resistance survey method in determinations of hydrogeological parameters of water-bearing non-cohesive deposits. Results obtained previously by Archie, Morozov, and Arandelovic, and recently by the present authors were utilized in the analysis. The method appeared advantageous in forecasting hydrogeological properties of rocks from valleys and buried river valleys. Some suggestions concerning possible improvements of methodology of the studies, which may result in more complete utilization of electric resistance survey data are given.

РЕЗЮМЕ

В статье производится попытка систематизации и обобщения всех имеющихся данных по работам методом электросопротивления для целей определения гидрогеологических параметров рыхлых водоносных пород. Используются итоги работ Архи, Моро-

зова и Аранделовича, а также собственные наблюдения в районе Вышогрода. Обосновывается пригодность этого метода для прогнозирования гидрогеологических свойств пород в районах современных и ископаемых речных долин. Предлагается соответствующая методика работ, обеспечивающая полное использование данных исследований методом электросопротивления.