

PROFILOWANIE (GEOFIZYCZNE) OTWORÓW I JEGO ZASTOSOWANIE PRZY PROJEKTOWANIU I KONTROLOWANIU EKRAŃW CEMENTACYJNYCH

UKD 590.83:622.241.624.131.32:624.188.232.1:627.810

Pragnąc podnieść dokładność dokumentacji służącej do projektowania ekranów cementacyjnych, tak z punktu widzenia geologicznego, jak i technicznego, autorzy podjęli próbę zastosowania takiej metody, która niezależnie od czynnika ludzkiego pozwoliłaby z dostateczną dokładnością określić podstawowe własności skał podłoża, mające decydujące znaczenie dla projektowania i wykonania prac cementacyjnych. W tym celu zbadali przydatność pomiarów geofizycznych w otworach (profilowanie) i zastosowali urządzenia oraz metody pracy powszechnie przyjęte przy poszukiwaniu surowców mineralnych. Wzięto pod uwagę przede wszystkim utwory skaliste, szczególnie skały typu fliszowego, w których wykonywanie ekranów cementacyjnych należy do prac najtrudniejszych.

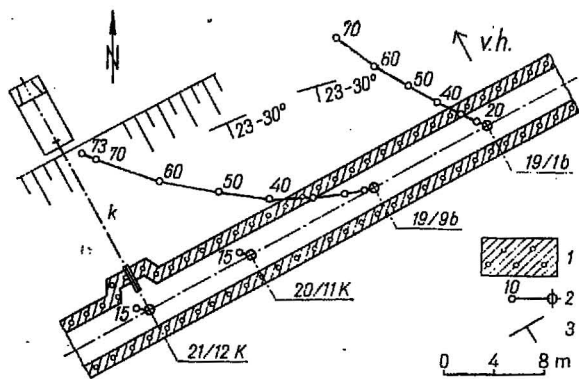
Pierwsze profilowanie tego rodzaju w CSRS przeprowadzono na ekranie cementacyjnym, przy budowie zapory wodnej Šance na Ostrawicy w Beskidach. Okolice zapory jest zbudowana z otworów wielkości kredowego: piaskowców glaukonitowych, ilowców, łupków ilasto-piaszczystych i mułowców, przekładających się nawzajem w sposób typowy dla kompleksów fliszowych. Piaskowce są twarde, średnie do drobnoziarnistych, miejscami laminowane; są silnie spekałe. Występują w warstwach różnej miąższości — od kilku centymetrów do kilku metrów.

Pomiary geofizyczne zostały przeprowadzone aparaturą węgierską typu EL 303 — w otworach cementacyjnych 19/1b i 19/9b oraz w otworach kontrolnych 20/11K i 21/12K (ryc. 1). Wykonano następujące pomiary: boczne sondowanie elektryczne, pomiar mikrosonda, pomiar oporu płuczki (rezystywność), po-

tencjałów własnych, średnicy otworu (kawernometria), naturalnego promieniowania gamma, neutron-gamma i pomiar gęstości (karotaż gamma-gamma).

Otwory cementacyjne, w których dokonywano pomiarów, były wiercone koronką śrutową o Φ 112 mm. Próbnę wfiaczanie wody oraz iniekcje w obu otworach cementacyjnych ze względu na profilowanie przeprowadzono wyjątkowo sposobem wstępującym po osiągnięciu dna otworu. Po odwierceniu otworów cementacyjnych 19/1b i 19/9b dokonano pierwszych pomiarów geofizycznych w otworach, które potwierdziły przypuszczenia oparte na wcześniejszych pomiarach laboratoryjnych charakterystycznych próbek skał. Twardy piaskowiec dawał o sobie znać opornością elektryczną 1000 Ω m, ciężarem objętościowym 2,63 g/cm³, wysokimi wartościami na krzywej profilowania neutronowego oraz niskimi wartościami na krzywej profilowania gamma. Spekanie piaskowca przejawiało się w postaci bądź to obniżenia wartości średniej oporności elektrycznej i ciężaru objętościowego, bądź w postaci zwiększenia procentu porowatości całkowitej o porowatość szczelinową. Warstwy skał ilastych charakteryzowały się niższą średnią opornością elektryczną, mniejszym ciężarem objętościowym, a jednocześnie podwyższoną intensywnością naturalnego promieniowania gamma.

Na podstawie pomiarów mikrosonda i profilowania gamma podzielono najpierw profile mierzonych otworów na odcinki poszczególnych typów skał i określono strefy wyraźniejszych spekań oraz zaburzeń (ryc. 2). W celach porównawczych wykreślono tu również profil geologiczny zestawiony na podstawie rdzenia wierciącego, pobieranego z otworu w



Ryc. 1. Sytuacja i rzut poziomy otworów wiertniczych mierzonych inklinometrem.

v.h. — odpowietrzna strona zapory, K — kabel karotażowy, 1 — beton sztolni kontrolnej, 2 — rzut poziomy otworu z jego długością od początku, 3 — rozciągłość i upad warstw (wartości skrajne).

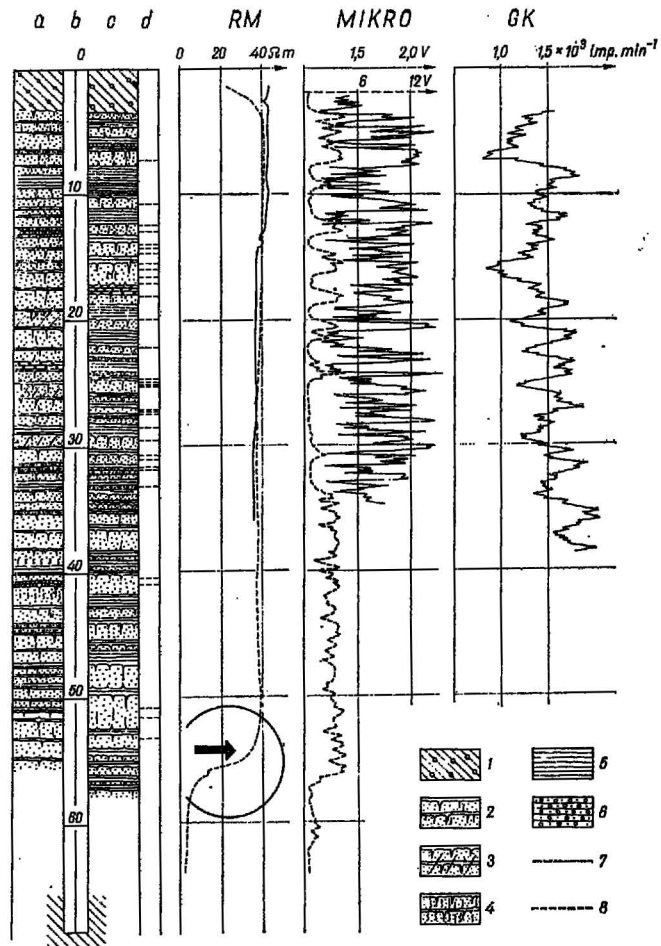
Fig. 1. Situation and horizontal projection of bore holes measured by means of inclinometer

v.h. — windward side of dam, K — logging cable, 1 — concrete of control drift, 2 — horizontal projection of bore hole and its distance from the beginning, 3 — strike and dip of beds (extreme values).

czasie jego wiercenia. W obu profilach geologicznych zaznaczają się wyraźne rozbieżności, spowodowane przede wszystkim małym uzyskiem rdzenia na niektórych odcinkach otworu. Porównanie krzywych profilowania poszczególnych otworów wykazało, że prawie wszystkie warstwy można śledzić na bieżąco. Sporządzono przeto przekrój korelacyjny między mierzonymi otworami, z którego można odczytać nachylenie i następstwo warstw w pionie (ryc. 3). Przekrój korelacyjny ma znaczenie nie tylko z punktu widzenia geologii i służby nie tylko do wyznaczenia ekranu, ale umożliwia także uzyskanie bardzo szczegółowych przesłanek dla określenia kategorii skał — zarówno co do ich urabialności, jak i zwiercalności.

Po dokonaniu iniekcji w skałę przeprowadzono w obu otworach ponownie pomiary geofizyczne, aby sprawdzić jej skutki. Ze względu na cel (kontrolę jakości prac cementacyjnych) pomiary te należało przeprowadzić w otworze kontrolnym, odwierconym w przestrzeni objętej cementacją, między otworami cementacyjnymi. Mimo tego istotnego braku, który był spowodowany warunkami ruchowymi, uzyskano cenne dane. Przed przystąpieniem do pomiarów kontrolnych zbadano, jak będą zmieniać się własności fizyczne cementowanego piaskowca zależnie od stopniowego teżenia i twardnienia zaprawy cementacyjnej w szczelinach skały. Na ryc. 4 wykreślono krzywą ΔR_t , która obrazuje pomiar średniej oporności elektrycznej spękanego piaskowca przed cementacją i po jej dokonaniu, zależnie od wielkości porowatości szczelinowej strefy zacementowanej. Krzywych takich można użyć do oceny działania iniekcji, tj. do oceny stosunku szczelin wypełnionych zaprawą cementacyjną do szczelin niewypełnionych, a to przy założeniu, że określi się wielkość całkowitej porowatości szczelinowej jeszcze w inny sposób, np. na podstawie profilowania gęstościowego.

Na krzywej oporności obu otworów było widoczne, że po iniekcji i po oczyszczeniu otworów średni opór elektryczny płuczki wyraźnie obniżył się — z 40 do 8, a nawet 3 Ω m. W otworze 19/1b na głębokości 58,0 m nastąpił gwałtowny wzrost wartości oporu płuczki; jego maksymalną wielkość uzyskano na głębokości 62,0 m (ryc. 2). Tę wartość utrzymuje płuczka praktycznie aż do głębokości 2 m, pod dnem sztolni kontrolnej. Nagłe podwyższenie oporu płuczki na głębokości od 52,0 do 58,0 m świadczy o tym, że



Ryc. 2. Część danych profilowania otworu 19/1b.

a — profil geologiczny według rdzenia wiertniczego, b — głębokość otworu w m, c — profil geologiczny według pomiarów geofizycznych, d — wyraźniejsze szczeliny i strefy zaburzone, 1 — beton sztolni kontrolnej, 2 — piaskowiec, 3 — piaskowiec laminowany, 4 — piaskowiec zaburzony, 5 — ilowiec, 6 — mułowiec, 7 — krzywe profilowania przed iniekcją, 8 — krzywe profilowania po iniekcji.

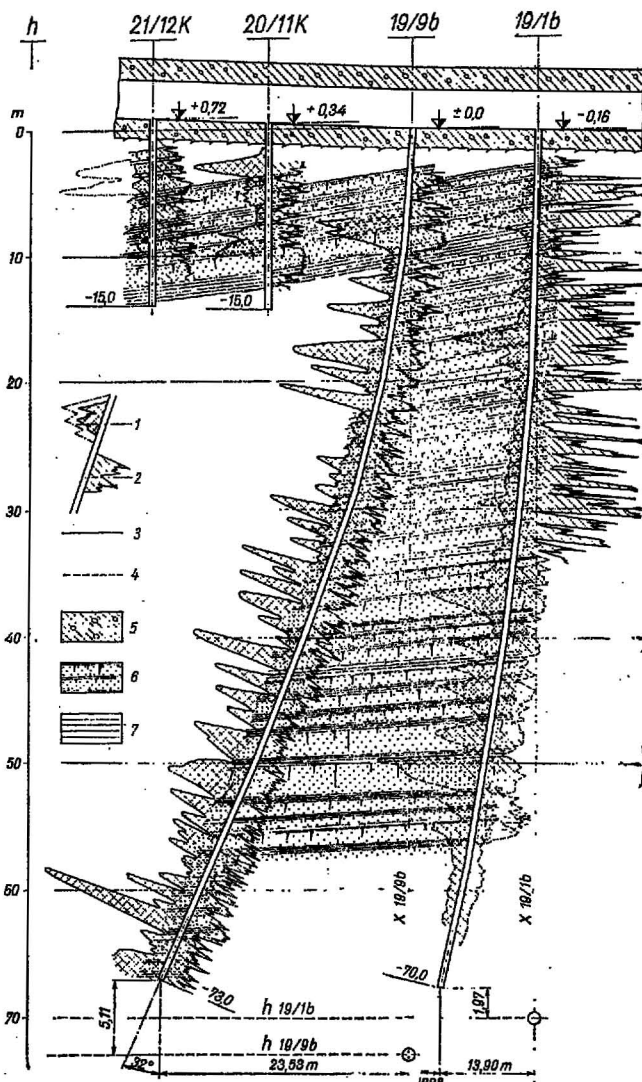
Fig. 2. Certain data of bore hole logging (bore hole 19/1b).

a — geological section according to drill core, b — depth of bore hole in metres, c — geological section according to geophysical measurements, d — more distinct fissures and disturbance zones, 1 — concrete of control drift, 2 — sandstone, 3 — laminated sandstone, 4 — disturbed sandstone, 5 — claystone, 6 — siltstone, 7 — logging curves prior to injection, 8 — logging curves after injection.

ten odcinek jest systematycznie przepływany czystą, mało zmineralizowaną wodą podziemną, o umiarkowanie napiętym zwierciadle. W tym przypadku można twierdzić, że w podanej głębokości istnieje dopływ wody podziemnej poprzez ekran.

Za pomocą pomiarów inklinometrem w obu otworach stwierdzono, że są one znacznie odchylone od pionu. Otwór 19/1b na głębokości 70,0 m jest odchylony od pionu o 22°, a pozioma odległość dna otworu od projektowanej osi wynosi 13,9 m (ryc. 3). Otwór 19/9b na głębokości 73,0 m ma odchylenie od pionu 32°, a odległość pozioma dna otworu od projektowanej osi mierzy 23,53 m. Azymut obu otworów wynosi 305 i 290° (ryc. 1). Mimo że skrzywienie otworów jest znaczne, to jednak dzięki temu, iż oba otwory zachowują ten sam kierunek właściwe funkcjonowanie ekranu nie musi być naruszone.

Stosując profilowanie geofizyczne można bardzo dokładnie wyznaczyć warstwy skał spękanych lub



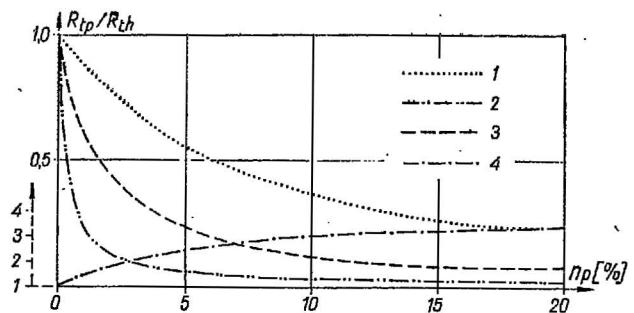
Ryc. 3. Przekrój korelacyjny między otworami 21/12K i 19/1b.

h — głębokość otworu, x — projektowana oś otworu, 1 — krzywa Rag 0,5 m, 2 — krzywa mikrosondy, 3 — krzywe profilowania przed iniekcją, 4 — krzywe profilowania po iniekcji, 5 — beton sztolni kontrolnej, 6 — piaskowiec, 7 — ilowiec.

Fig. 3. Correlation cross section between bore holes 21/12K and 19/1b.

h — depth of bore hole, x — projected bore hole axis, 1 — Rag curve 0.5, 2 — curve of microprobe, 3 — logging curves prior to injection, 4 — logging curves after injection, 5 — concrete of control drift, 6 — sandstone, 7 — claystone.

przepuszczalnych, można też określić stopień porowatości zarówno szczelinowej, jak i spękaninowej, na całej długości otworu. Pospolicie stosowane metody profilowania nie pozwalają jednak z góry oznaczyć porowatości aktywnej, tzn. określić jaka część systemu szczelin, spękań i porów bierze udział w przepuszczeniu wody lub zaprawy cementacyjnej. Właściwości filtracyjne skał oznacza się zwykle stosując próbną wleczkę wody, przy czym oznacza się średnią stratę wody przy określonym ciśnieniu zależnie od czasu, długości i głębokości badanego odcinka otworu. Aby dokładniej określić przepuszczalność skał podłoża, przeprowadzając badania geologiczno-inżynierskie dla obiektu wodnego Opatowice koło Vyskova, zastosowano metodę wlewania I. I. Grin-



Ryc. 4. Zależność średniego oporu elektrycznego piaskowca od intensywności jego spękania i od rodzaju substancji wypełniającej szczeliny.

n_p — porowatość szczelinowa, R_{tp} — średni opór elektryczny skały spękanej, R_{th} — średni opór elektryczny skały litej; 1 — piaskowiec spękany, szczeliny wypełnione wodą ($R_w = 40 \Omega m$), 2 — piaskowiec spękany, w szczelinach płynna zaprawa cementacyjna ($R_w = 2 \Omega m$), 3 — piaskowiec spękany, w szczelinach stwardniała zaprawa cementacyjna ($R_w = 10 \Omega m$), 4 — ΔR_t = stosunek oporu skał przed i po iniekcji dla różnych wartości porowatości szczelinowej.

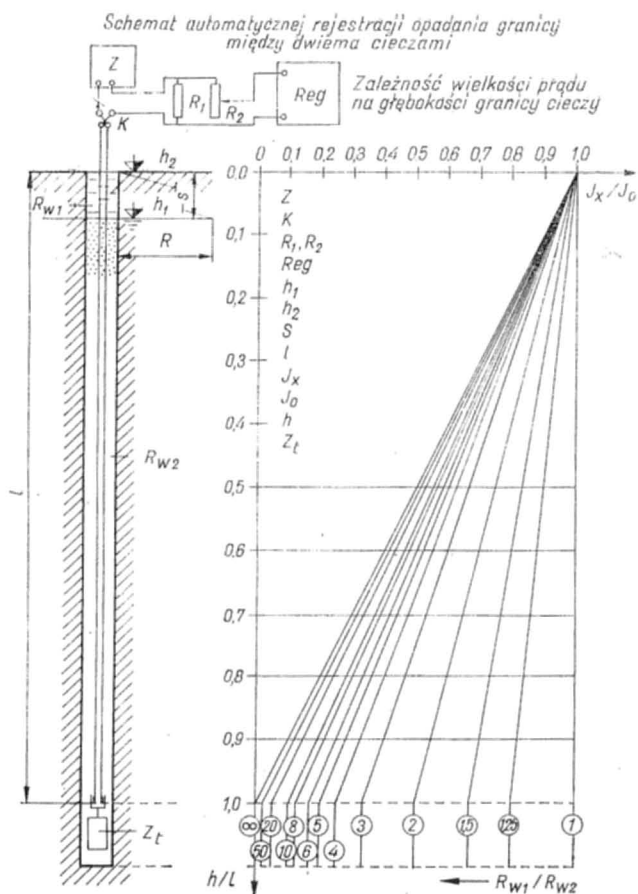
Fig. 4. Dependence of mean electric resistance of sandstone upon intensity of its fissuring and upon the substance infilling fissures.

n_p — fissure porosity, R_{tp} — mean electric resistance of fractured rock, R_{th} — mean electric resistance of coherent rock. 1 — fractured sandstone, fissures filled in with water, ($R_w = 2 \Omega m$), fractured sandstone, fissures filled in with hardened cement grout ($R_w = 10 \Omega m$), 4 — ΔR_t = relation of rock resistance prior to, and after injection for various values of fissure porosity.

bauma (1965) dla określenia współczynnika filtracji. Znajomość jego początkowej wartości i zmian zachodzących odpowiednio do głębokości otworu iniekcyjnego może w dużym stopniu przyczynić się do lepszej oceny skały poddawanej cementacji. Przy otworach kontrolnych w wykonanym już ekranie metoda ta może być bardzo skuteczną pomocą dla oceniania jakości cementacji i może w tym przypadku całkowicie zastąpić próbną wleczkę wody.

Sprawdzenia współczynnika filtracji metodą wlewania dokonano najpierw „pосoбem klasycznym”, tzn. wodę podziemną oznaczono wskaźnikiem (użyto NaCl). Nad zwierciadłem tak oznaczonej cieczy, ze sztucznie obniżonym oporem elektrycznym utrzymywano słup czystej wody ze zwierciadłem na stałej wysokości, doprowadzonej poprzez okładzinę otworu. Ciśnienie hydrostatyczne tego słupa wody powoduje opadanie granicy między obu cieczami, którą określa się przez powtarzany pomiar oporu elektrycznego płuczki rezystywności. Określając prędkość opadania granicy między obu cieczami i znając średnicę otworu pomierzoną kalwromierzem można określić cząstkową ucieczkę wody na poszczególnych odcinkach otworu. Z tych wartości cząstkowych oblicza się następnie wielkość efektywnego współczynnika filtracji.

Za wadę metody określania współczynnika filtracji I. I. Grinbauma można uważać fakt, że otrzymuje się tylko dane punktowe, których zagęszczenie oraz liczba, a tym samym i szczegółowość wyników jest zależna od wielkości odstępów czasu pomiarów. Wynika z tego wniosek, że nie można z całą dokładnością wyznaczać miejsc lub granic warstw przepuszczalnych w otworze, a tym samym wyznaczyć szczegółowo zmian wielkości współczynnika filtracji. Przy tym nie jest możliwe zbyt wydatne skrócenie interwałów czasu pomiarów, ponieważ częste wprowadzanie rezystywności do otworu powodowałoby rozmywanie granicy między obu cieczami i pulsowanie tej granicy, wskutek zmiany długości kabla

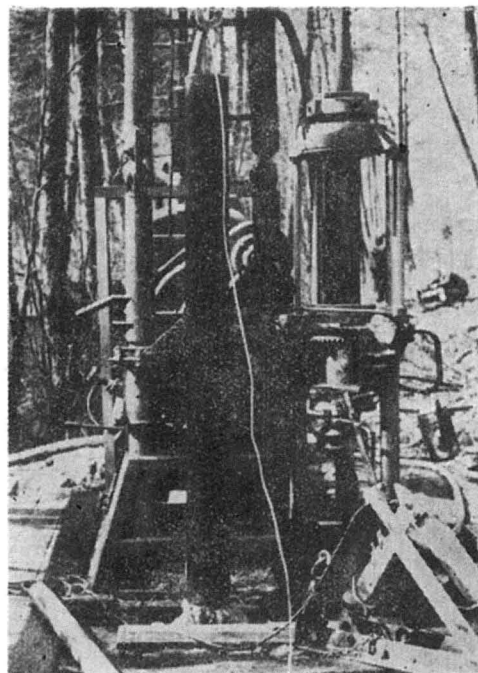


Ryc. 5. Schemat automatycznej rejestracji opadania granicy między dwiema cieczami i zależność wielkości całkowitego prądu od głębokości granicy dla różnych stosunków oporu.

Fig. 5. Scheme of automatic recording of lowering boundary between two liquids and dependence of total current value upon the depth of boundary for various relations of resistance.

profilowego. Wreszcie, przy określaniu potrzebnych wartości za pomocą rezystiwimetru konieczne jest posiadanie na miejscu pracy aparatury do profilowania geofizycznego i obecność całej jej obsługi, tj. przynajmniej trzech pracowników przez cały czas dokonywania pomiarów.

Aby usunąć wymienione wady, tej skądinąd bardzo dobrej metody, autorzy zaprojektowali urządzenie umożliwiające bieżącą obserwację i automatyczne rejestrowanie opadania granicy dwóch cieczy o różnych wielkościach średniego oporu elektrycznego. Urządzenie, zgłoszone do patentu, składa się z powierzchniowego zestawu pomiarowego oraz z nieruchomego systemu elektrod, umieszczonego w środku otworu na całej jego długości (ryc. 5). Zaproponowane urządzenie wykorzystuje zależność zmiany napięcia elektrycznego od opadania granicy między dwiema cieczami o różnej średniej oporności elektrycznej. Zależność wielkości natężenia całkowitego prądu przepływającego przez system elektrod od głębokości granicy dla różnych warunków oporu obu cieczy przedstawiono także na ryc. 5. Wskazane zależności wykazują, że wielkość natężenia prądu jest liniowo zależna od głębokości położenia granicy cieczy. Dlatego z rejestrowanych wartości natężenia prądu można określić dokładnie głębokość granicy zależnie od czasu.



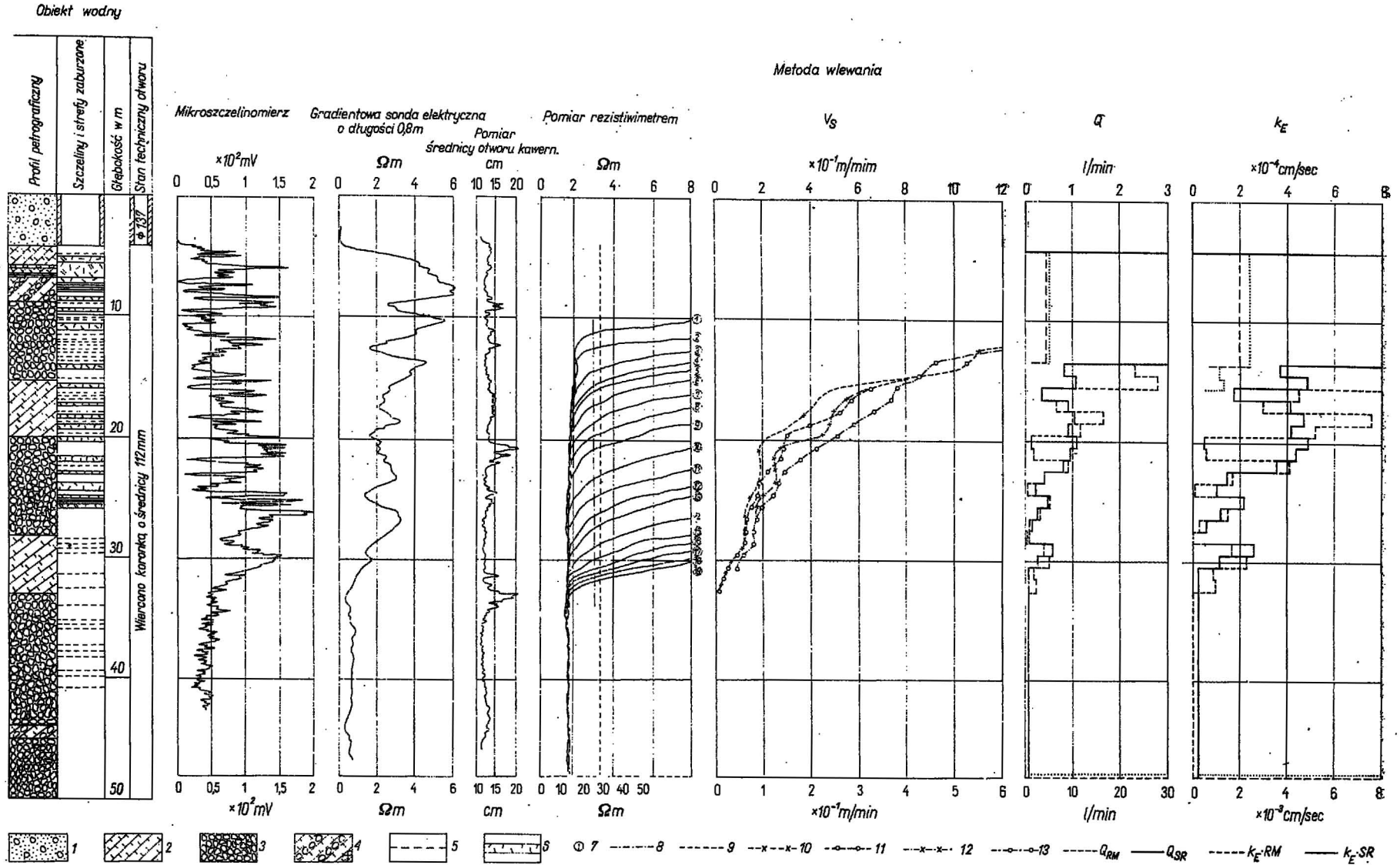
Ryc. 6. Podniesienie zwierciadła wody podziemnej wskutek stałego dopływu wody powierzchniowej.

Fig. 6. Rise of ground water level due to continuous inflow of surface water.

Jako przykład oznaczenia współczynnika filtracji przytoczyć można pomiar na profilu zapory obiektu wodnego Opatowice w otworze J 41 o głęb. 48 m. Okolica zapory jest zbudowana z kulmiskich arkoz przewarstwionych różnej miąższości warstwami zlepieńców i łupków. Arkozy są masywne i miejscami znacznie zaburzone. Zwierciadło wody podziemnej w mierzonym otworze znajdowało się 29 cm poniżej powierzchni terenu. Po zasoleniu wody w otworze, doprowadziwszy wodę czystą podniesiono na stałe zwierciadło o 2,17 m nad powierzchnią wody podziemnej (ryc. 6). Najpierw przeprowadzono pomiary za pomocą rejestracji automatycznej, a następnie — w formie kontroli — przeprowadzono próbne wlewanie i pomiar rezystiwimetrem. Wreszcie zmierzono mikrosondą i symetrycznym pomiarem oporności wielkości średniej oporności elektrycznej skały oraz średnicę otworu za pomocą kawernomierza.

Wyniki poszczególnych pomiarów oraz ich interpretację przedstawiono na ryc. 7. Na podstawie krzywych oporności elektrycznej wyznaczono warstwy zaburzone i szczeliny. Porównując przebieg w pionie prędkości opadania granicy między cieczami — zgodnie z pomiarem rezystiwimetrem i rejestracją automatyczną — można zauważyć, że kształt krzywych jest podobny, ale krzywa otrzymana z pomiaru rezystiwimetrem daje niższe wartości. Ta różnica jest wywołana tym, że wskutek pierwszego nalewania nastąpiła w dalszych pomiarach zmiana poziomu zwierciadła wody podziemnej, wobec czego oba doświadczenia były przeprowadzone w różnych warunkach. Ze względu na ograniczony czas autorzy nie mogli jednak przeprowadzić obu doświadczeń w takich samych warunkach.

Uzyskane wartości współczynnika filtracji dają stosunkowo szczegółowy obraz zmian własności filtracyjnych skał w profilu wiercenia i w warunkach, jakie istnieją w skałach w momencie dokonywania pomiaru. Za pomocą użytej modyfikacji metody nalewania w połączeniu z rejestracją automatyczną dokonano obserwacji zmiany własności filtracyjnych skał w odstępach 1 m. Obliczone wartości współczynnika filtracji były uzyskane przy nadciśnieniu, które-



Ryc. 7. Krzywe i wyniki profilowania otworu badawczego J 41, obiekt wodny Opatowice. R_w średni, 9 — R_w przed zasoleniem, 10 — V_s rzeczywista (SR), 11 — V_s poprawiona (RM), 12 — V_s rzeczywista (SR), 13 — V_s poprawiona (SR).
 1 — glina ilasta i żwir, 2 — arkoza, 3 — zlepniec, 4 — naprzemianlegie arkozy, 5 — szczeliny, 6 — sfery zaburzone, 7 — numer krzywej pomiaru rezystywności, 8 — R_w przed zasoleniem, 9 — R_w — prior to salting, 10 — actual V_s (SR), 11 — corrected V_s (RM), 12 — actual V_s (SR), 13 — corrected V_s (SR).
 1 — till and gravel, 2 — arkose, 3 — conglomerate, 4 — alternating arkoses, 5 — fissures, 6 — disturbance zones, 7 — number of curve obtained by means of resistivimeter, 8 — mean R_w , 9 — R_w — prior to salting, 10 — actual V_s (SR), 11 — corrected V_s (RM), 12 — actual V_s (SR), 13 — corrected V_s (SR).

go wielkość określa wysokość stałego zwierciadła słupa wody nad oznaczoną cieczą. W ten sposób otrzymuje się wartości, które nie muszą odpowiadać przepuszczalności gruntu podłoża przy próbnym wtlaczaniu wody. To ostatnie jest przeprowadzane w otworze przy ciśnieniu iniekcyjnym, którego wielkość zależy m.in. od głębokości badanego odcinka od powierzchni.

Proponowany system rejestracji można zastosować także w połączeniu z prostym obturatorem, co pozwoli określić filtracyjne własności skał z zastosowaniem próbnego wtlaczania przy odpowiednim ciśnieniu iniekcyjnym. W ten sposób można uzyskać bardzo dokładne wartości przepuszczalności skały zależnie od głębokości, odpowiadające rzeczywistym warunkom pracy. Dzięki temu metoda ta może mieć zastosowanie dla podniesienia dokładności projektowania prac cementacyjnych, zwłaszcza może być przydatna jako metoda kontrolna jakości cementacji oraz jej skuteczności jako sposobu wzmacniania podłoża zapory.

SUMMARY

In order to increase the exactness of the documentations used for projecting cementation screens, from both geological and technical points of view, Czechoslovakian specialists made an attempt at using such a method that, apart from human factor, would allow us to determine, fairly precisely, the fundamental properties of basement rocks, which are of decisive importance for projecting and performing cementation works. To this effect the value of geophysical measurements in bore holes has been examined and instruments and work methods commonly applied in search for mineral raw materials have been analysed. For the most part formations of flysch type have been taken into consideration mainly due to the fact that here cement screens belong to the most troublesome operations. The first loggings of this kind have been made in Czechoslovakia on a cement screen made during construction of a dam at Sance, Beskid Mountains, on Ostravica River.

ZAKOŃCZENIE

Wykonane doświadczenia potwierdziły przydatność profilowania geofizycznego dla celów geologii inżynierskiej oraz cementacji zarówno w odniesieniu do projektowania, jak i kontroli prac cementacyjnych. W stadium badań można otrzymać znacznie dokładniejszy materiał podstawowy z punktu widzenia geologii i techniki. Przeprowadzając badania można by wykonywać tylko część otworów rdzeniowych, przy czym uzyskany rdzeń służyłby do petrograficznej i fizyczno-mechanicznej charakterystyki skały. Powstałe otwory, wiercone bezrdzeniowo, byłoby profilowane geofizycznie, dzięki czemu uzyskano by szczegółowe i wiarygodne informacje o składzie i własnościach gruntu podłoża. Określanie współczynnika filtracji w otworach wiertniczych metodą nalewania rokuje duże nadzieje, pod warunkiem, że iniekcje będą dokonywane metodą wstępującą. Ten warunek jednak odpada w otworach kontrolnych, gdzie (metoda ta) miałaby największe zastosowanie.

(Z czeskiego przełożyła W. Mioduszevska)

РЕЗЮМЕ

С целью повышения точности геологических и технических данных, на основании которых составляются проекты цементационных экранов, чехословацкие специалисты предприняли попытку применения такого метода, который позволял бы определять с необходимой точностью основные параметры пород, имеющие решающее значение для проектирования и сооружения цементационных работ. Для этой цели была рассмотрена пригодность геofизических замеров в буровых скважинах (профилирование), а также аппаратуры и методики, применяемых в геологопоисковых работах. Исследования проводились прежде всего в районе распространения скальных грунтов, в особенности флишевых пород, в которых сооружение цементационных экранов представляет наиболее трудную задачу. Первое профилирование такого типа было проведено в Чехословакии на цементационном экране при сооружении плотины Шанце на р. Моравица в Бескидах.