

SPORZĄDZANIE UPROSZCZONYCH ZDJEŃ FOTOGRAFICZNYCH STEREOSKOPOWYCH DLA DOKUMENTACJI GEOLOGICZNEJ

W ZWIĄZKU Z SZYBKIM wzrostem zainteresowania wśród geologów metodami stereofotografii naukowej i uproszczonej stereofotogrametrii dla celów geologicznych, a w ogóle wzrostem zainteresowania się „fotogeologią” — podajemy w niniejszym artykule omówienie szeregu praktycznych wskazówek, jak wykonać i kiedy stosować uproszczone zdjęcie stereofotograficzne dla badań naukowych i dla naukowej dokumentacji geologicznej.

Tak fotogrametria dla celów geologicznych, jak w ogóle „fotogeologia”, znajduje coraz szersze zastosowanie i są coraz bardziej rozbudowywane tak od strony ich metodologicznej przydatności, jak zwłaszcza od strony techniki ich wykonywania i stosowania.

W niniejszym artykule zajmiemy się tylko niektórymi, praktycznymi zagadnieniami tego szerokiego już dziś zagadnienia, ograniczając się do zdjęć stereoskopowych.

Rycina 1 pokazuje nam schematycznie przykład najczęstszego przypadku wykonania zdjęcia stereoskopowego.

W stok na przykład tarasu wcięta jest forma morfologiczna, która ukazuje jego budowę geologiczną. Górną krawędź tarasu ilustrują nam punkty P_1 , P_2 , P_3 . Jak wynika z planiku sytuacyjnego, jakim jest ryc. 1, ze stanowisk A oraz B wykonaliśmy **tym samym, dowolnym aparatem fotograficznym kolejno** dwa zdjęcia odkrywki w tarasie. Zdjęcia wykona-

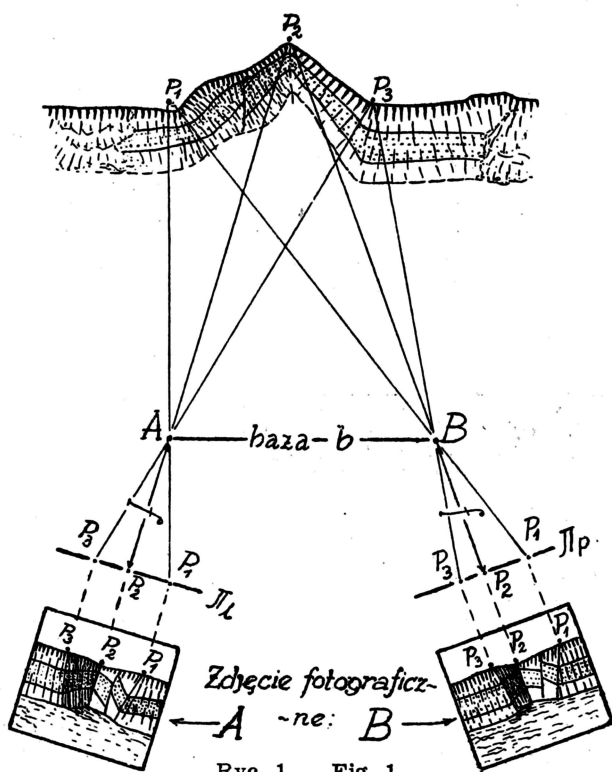
liśmy tak, że promień główny (oś optyczna) aparatu (jego obiektywu) został skierowany w obu zdjęciach na punkt P_2 na krawędzi tarasu. Ogniskową aparatu pokazuje nam na rycinie odcinek „f”, zaś pierwsze i drugie (lewe i prawe) położenie kliszy fotograficznej (filmu), w chwili zdjęć — prosta π_1 oraz π_p , która jest rzutem prostokątnym („planem”) owej kliszy (filmu) na płaszczyznę rysunku. Na ryc. 1 pokazano też (w kładach na płaszczyznę planiku) schematycznie, jak zostały odfotografowane punkty P_1 , P_2 , P_3 oraz w ogóle cały zdjęty odcinek tarasu, a mianowicie na rysunkach: fotografii wykonanej na stanowisku A (fotografia A, „lewa”) i na stanowisku B (fotografia B, „prawa”).

Jak widzimy, oba zdjęcia fotograficzne tego samego obiektu są różnymi, choć podobnymi jego obrazami. Ważne jest zaś to, że oba zdjęcia są w pewien określony sposób podobne do sytuacji, jaka powstaje, gdy patrzymy oboma oczyma (zatem normalnie) na ten sam obiekt. Geometryczny sens tego podobieństwa wynika z ryc. 2.

Na rycinie tej pokazano również „w planie”, a więc w rzucie prostokątnym na płaszczyznę rysunku, położenie lewego (O_l) i prawego (O_p) oka, gdy patrzymy na tę samą odkrywkę w tarasie.

Promienie główne (osie optyczne soczewek ocznych) lewego i prawego oka skierowane są na ten sam punkt P_2 na górnej krawędzi tarasu. Oko lewe, oddalone od oka prawego o rozstęp oczu („baza oczna

widzenia stereoskopowego" oznaczona przez b_0 na ryc. 2), widzi ten sam obraz nieco inaczej niż oko prawe. **Obrazy: lewego i prawego oka są składowymi elementami jednego obrazu, który powstaje w naszej świadomości.** Gdybyśmy wykonali teraz z tego samego miejsca zdjęcia aparatem o dwu obiektywach (np. „Belpasca”), których rozstęp równałby się bazie b_0 , a których osie optyczne skierowane byłyby również na punkt P_2 — wówczas otrzymalibyśmy dwa zdjęcia fotograficzne — lewe i prawe. O tych zdjęciach możemy powiedzieć, że są one fotograficznym odpowiednikiem normalnego widzenia omawianego obiektu, z czego wynika, że jeśli lewym okiem będziemy później patrzeć na fotograficzną odbitkę lewego zdjęcia, a prawym — prawego, wówczas w naszej świadomości obydwa obrazy fotograficzne „zleją się” w jeden obraz przestrzenny, odpowiadający na ogół obrazowi z normalnego patrzenia w terenie. A zatem: dwa zdjęcia fotograficzne bryły w przestrzeni, wykonane z pewnej odległości wzajemnej, równej lub większej od „bazy ocznej” b_0 , oglądane następnie naszymi oczyma, dają w naszej świadomości jeden obraz przestrzenny (stereoskopowy) zwany „modelem przestrzennym” lub „modelem stereoskopowym” sfotografowanej bryły w przestrzeni.



Ryc. 1 Fig. 1

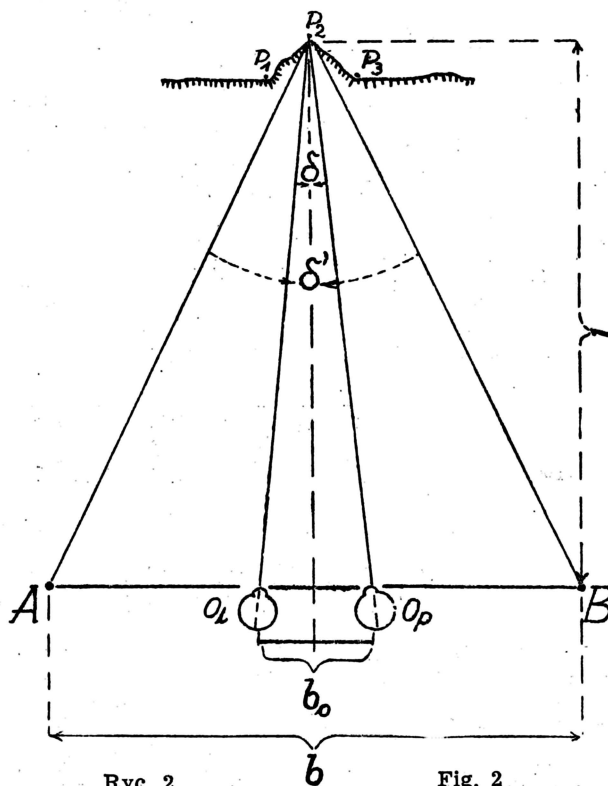
Model przestrzenny otrzymamy również, gdy patrzeć będziemy na zdjęcia fotograficzne wykonane ze wspomnianych stanowisk A oraz B tak, aby lewe oko widziało odbitkę ze stanowiska A, a prawe — odbitkę ze stanowiska B (jak wyżej). W tym przypadku model przestrzenny powstaje jednak ze „złania” się w naszej świadomości 2 obrazów, których baza zdjęcia była znacznie, wielokrotnie większa od bazy ocznej b_0 — jak to wynika z ryc. 2 (bazą zdjęcia jest tu odległość stanowiska A od B oznaczona przez b).

Taki model różni się, oczywiście, od modelu „normalnego”. Jeśli mianowicie odległość bazy b od punktów: P_1, P_2, P_3 jest równa odległości bazy b_0 od tych punktów, wówczas model przestrzenny jest przesadnie „wyraźny”, a efekt przestrzenny mocno przesadzony („efekt hiperstereoskopowy”). Ten bardzo ważny przypadek powiększenia efektu stereoskopowego odgrywa ogromną rolę przy geologicznym odczytywaniu zdjęć lotniczych i naziemnych — fotogrametrycznych.

Ważniejszą jednak tu dla nas okolicznością jest to, że dzięki wykonaniu zdjęć stereoskopowych z bazy większej od bazy ocznej **głębia stereoskopowego widzenia proporcjonalnie się powiększyła**, zatem w modelu przestrzennym takiej „stereopary” (jak nazywamy parę zdjęć dających model przestrzenny) będziemy rozróżniali, co jest bliżej a co dalej, znacznie lepiej i znacznie głębiej (dalej od bazy) niż w przypadku patrzenia normalnego.

Ryc. 2 dobrze tłumaczy, dlaczego tak się dzieje. Patrząc mianowicie parą oczu z bazy ocznej b_0 na dowolny punkt (lub obiekt) w przestrzeni, np. na punkt P_2 , budujemy trójkąt równoramienny O_1, P_2, O_p , którego podstawą jest baza b_0 , a bokami sobie równymi — promienie główne lewego i prawego oka. W takiej pozycji oba promienie główne „wcinają w przód” punkt P_2 pod kątem wierzchołkowym δ . Jasne jest, że każdy punkt znajdujący się w polu widzenia naszej pary ocznej, w takiej pozycji będzie również „wcięty w przód” z tej samej bazy b_0 , ale już innymi promieniami co do długości i pod innym kątem wierzchołkowym δ .

Łatwo domyślmy się (będąc w zgodzie ze znanymi twierdzeniami trygonometrii i geodezji), że dokładność wyznaczenia wcięciem w przód z bazy



Ryc. 2

Fig. 2

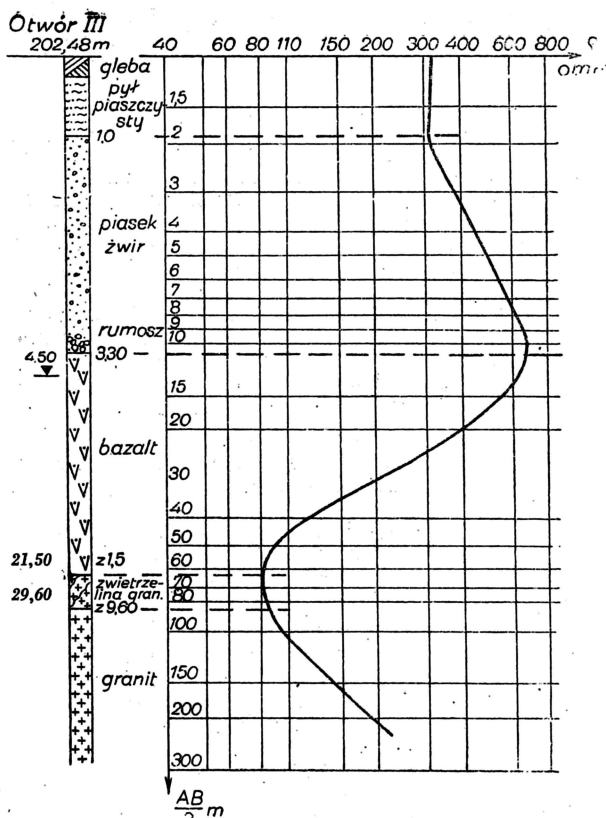
b_0 położenia dowolnego punktu w przestrzeni, objętej polem widzenia, zależy od długości bazy b_0 , od długości promieni wcinających, a zatem — od wielkości kąta wierzchołkowego δ .

Dla przeciętnej bazy ocznej $b_0 = 64$ mm, da się wykazać, że dla kąta δ minim. = 80° wcięcie w przód wyznacza jeszcze w naszej świadomości punkt w przestrzeni, leżący w odległości prostopadłej do bazy b_0 , oznaczonej przez 1 na ryc. 2 oraz wynoszącej 450 m i nazywanej „promieniem przestrzennego widzenia”.

Można też wykazać, że dokładność wyznaczenia położenia punktu w przestrzeni, objętej polem widzenia ocznego, kształtuje się dla dl oraz bazy $b_0 = 64$ mm, jak następuje:

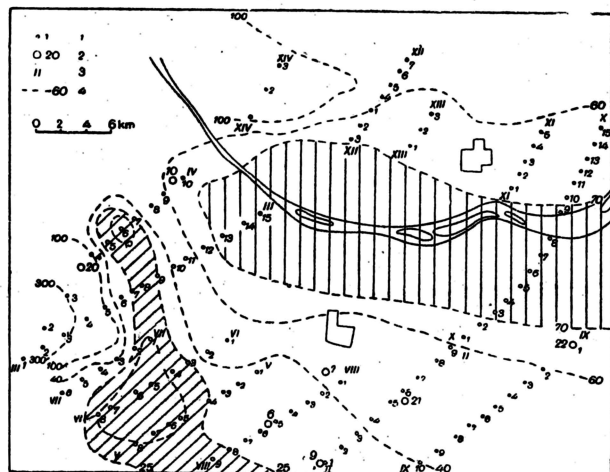
dl	10 m	50 m	100 m	400 m
różnica				
wyczuwalna dl	0,075 m	1,9 m	7,5 m	120 m

Z powyższego wynika, że jeśli wykonamy zdjęcie stereoskopowe z bazy dłuższej od bazy ocznej b_0 — to wówczas w modelu przestrzennym takiej stereo-



Ryc. 9. Sondowanie nr 14 S
Fig. 9. Sounding no 14 S

Serie skalne na przekrojach ρ_k możemy wyodrębnić w pewnych przedziałach wartości oporności pozornych za pomocą analizy kształtu krzywych PSE. Jeżeli mamy już wyniki rdzeniowania elektrycznego chociaż jednego otworu w badanym obszarze, to możemy obliczyć przedziały ρ_k odpowiadające zaleganiu rzeczywistych serii skał.



Ryc. 10. Mapa oporów pozornych ρ_k dla rozstawu $\frac{AB}{2} = 150$ m

1 — sondowanie, 2 — otwór wiertniczy, 3 — numer profilu sondowań, 4 — izolacja ρ_k

Fig. 10. Map of the apparent resistances ρ_k for distance $\frac{AB}{2} = 150$ m

1 — sounding, 2 — bore-hole, 3 — number of the sounding profile, 4 — isoline ρ_k

Zestawienia profilowe krzywych oraz przekroje ρ_k dają wstępną orientację o zaleganiu warstw oporo-

wych, ich nachyleniu i rozprzestrzenieniu, co pozwala zastosować w dalszej interpretacji odpowiednie diagramy krzywych teoretycznych PSE, np. przy warstwach nachylonych. Kończącą bowiem fazą interpretacji jest przeliczenie za pomocą krzywych teoretycznych — oporności właściwej poszczególnych serii skalnych, dających się wydzielić oraz ich rzeczywistej głębokości.

Na ryc. 8 podaję również dla przykładu przekroje głębokościowe, otrzymane z interpretacji krzywymi teoretycznymi.

Z przekroi oporności pozornych ρ_k — zestawień można szereg map ρ_k dla różnych głębokości zalegania warstw, naturalnie w skali głębokościowej $\frac{AB}{2}$.

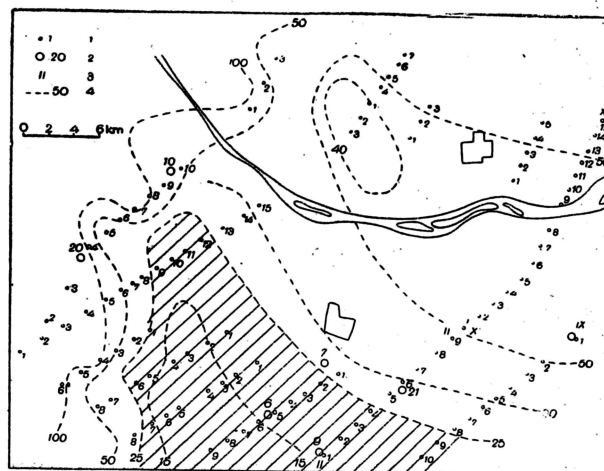
Jeżeli rzeczywisty przekrój geologiczny budują warstwy nachylone lub wyklinowujące się, z map oporności pozornych dla różnych rozstawów $\frac{AB}{2}$, możemy

prześledzić przemieszczanie się z głębokością np. szukanej serii, której przypisujemy wodonośność lub też wiemy, że jest wodonośna.

Znając stosunek rzeczywistej głębokości zalegania warstw — do wielkości $\frac{AB}{2}$, możemy w przybliżeniu przypisać mapom ρ_k głębokość rzeczywistą. Np.

dla stosunku $\frac{AB}{2} : h = 3 : 1$ — mapka ρ_k dla $\frac{AB}{2} = 150$ m — odpowiada w przybliżeniu zaleganiu warstw na głębokości ok. 50 m. Jako przykład zamieszczam dwie mapki ρ_k dla różnych rozstawów $\frac{AB}{2}$, z wydzielonymi strefami niskich, średnich i wysokich oporów pozornych (ryc. 10 i 11). Stosunek $\frac{AB}{2} : h$ może zmieniać się z głębokością, a także

z przestrzennym rozmieszczeniem sondowań. Toteż mapy ρ_k sporządzone dla jednej wartości $\frac{AB}{2}$ mogą w niektórych punktach odpowiadać różnym głębokościom rzeczywistym. Jest to jednak nieścisłość me-



Ryc. 11. Mapa oporów pozornych ρ_k dla rozstawu $\frac{AB}{2} = 750$ m

1 — sondowanie, 2 — otwór wiertniczy, 3 — numer profilu sondowań, 4 — izolacja ρ_k

Fig. 11. Map of the apparent resistances ρ_k for distance $\frac{AB}{2} = 750$ m.

1 — sounding, 2 — bore-hole, 3 — number of the sounding profile, 4 — isoline ρ_k

tody, wynikająca z uproszczeń w postaci uśrednienia wyników pomiarowych dla całego obszaru badań.

W omawianym przykładzie wykonano po pracach elektrooporowych szereg wierzeń, które potwierdzi-

ły słusność interpretacji wstępnej — graficznej, pod względem rozprzestrzenienia serii geologicznych na różnych głębokościach, jak też wodonośności jednej z nich. Głównym przeto zadaniem map σ_k jest możliwość szybkiego rozmieszczenia wierceń na badanym terenie, które mają wtedy charakter niejako kontrolnych, a nie pionierskich.

Graficzna interpretacja materiałów pomiarowych krzywych PSE jest metodą prowizoryczną, lecz zupełnie wystarczającą do przedstawienia zarysów budowy geologicznej badanego rejonu i zaplanowania dalszych prac hydrogeologicznych. Jej dużą zaletą jest prostota i krótki czas potrzebny na wykonanie przekroi σ_k i map σ_k , w przeciwieństwie do szczegółowej interpretacji za pomocą diagramów teoretycznych krzywych PSE, która jest bardzo pracochłonna przy wielowarstwowych układach.

Stopień dokładności odczytanych głębokości zalegania warstw skalnych jest przy interpretacji szczegółowej wyższy, dochodząc do 2—5% przy układach 2- lub 3-warstwowych płasko leżących, o znacznych różnicach oporów właściwych. Natomiast im profil jest bardziej złożony i warstwy o większym upadzie przy mniejszych różnicach oporów właściwych, dokładność interpretacji krzywymi teoretycznymi spada nawet poniżej 50% odczytanych głębokości. Stąd też, przy wielowarstwowych układach oporowych — metoda graficznej interpretacji może dać również dokładne rezultaty, a potrzebny nakład czasu jest nieporównanie mniejszy.

W omawianym przykładzie interpretacji uzyskano zupełną zgodność rozmieszczenia utworów geologicznych pokazanych na mapkach σ_k — z profilami otworów odwiercanych na badanym obszarze. Stwierdzono, że utwory o opornościach pozornych 25—30 omm są lessami i glinami (pierwsza warstwa przypowierzchniowa), utwory poniżej σ_k — 15 omm są ilami. Strefa 30—40 omm zawiera już wkładki piasków zawodnionych, natomiast powyżej 40 omm zwiększa się ilość i miąższość warstw piasków wodonośnych. Seria oporowa o wartości σ_k ok. 70 omm jest już w całości warstwą piasków gruboziarnistych — wodonośnych. Na zachodnim brzegu badanego obszaru oporności pozorne powyżej 50 omm do 700 omm pochodzą od wapieni ordowickich. Natomiast wysokoporowa warstwa w prawej części profilu III odpowiada istotnie zlepieńcom trzeciorzędu.

Opisaną metodykę interpretacji zastosowałem do wielu podobnych zagadnień hydrogeologicznych, otrzymując wystarczające zgodności materiałów elektrooporowych z rzeczywistymi przekrojami geologicznymi.

Jak na początku tego artykułu omówiono i jak widać na przytoczonym przykładzie, ta sama seria wodonośna — podziemne złoża wody — może mieć różną oporność właściwą, nawet na jednym przekroju, zależną od granulacji piasku, obecności wkładek pylastych lub ilastych itp. W graficznej interpretacji przypisujemy tej samej serii wodonośnej opór pozorny w pewnym przedziale, zależnie od charakteru krzywych PSE i znajomości budowy geologicznej badanego rejonu.

W interpretacji szczegółowej krzywymi teoretycznymi sprawia nieraz trudność łączenie w tę samą

serię warstwy, która np. w jednym sondowaniu wykazuje 30 omm oporności właściwej, a w drugim — odległym o kilka kilometrów — np. 70 omm. Można dojść do błędnych wniosków rysując w takim przypadku np. dwie warstwy.

Ogólnie można stwierdzić, że spośród użytecznych minerałów złoża wodne wykazują najbardziej nieregularne własności fizyczne, kształtowane przez wiele czynników — i w pracach elektrooporowych, jakkolwiek najbardziej przydatnych do wykrywania i badania złóż wody, mogą się zaznaczać w różny sposób. Dlatego graficzna interpretacja tych badań, oparta nie tylko na przeliczonych opornościach właściwych, lecz na całej analizie materiałów, prowadzi do dokładnych wyników wyznaczenia głębokości zalegania i rozprzestrzenienia horyzontów wodonośnych. Zaletą jej jest też to, że wymaga niewiele czasu na całkowite opracowanie materiałów polowych.

LITERATURA

1. Kalenow E. N. — Interpretacija krzywych wiertikalnego elektrycznego zondowania. Moskwa 1957.
2. Köhsling J. — Badania geofizyczne w geologii inżynierskiej i hydrogeologii. Materiały I narady naukowo-technicznej służby geologicznej Energetyki. Kraków 1956.

SUMMARY

The underground water deposits (water-bearing beds), during the electric current flow have not the stable magnitudes of specific resistances, because these magnitudes depend on several factors of water-saturated deposit composition and of water itself.

The result of electric logging field measurements may be graphically and precisely interpreted by means of PSE curve shape analyse, as well as by means of apparent resistance magnitude examination (σ_k), with reference of geological conclusions to the general knowledge of geological structure of the area investigated.

This method is a convenient and quick one, particularly when used for the multilayered resistant and geological schemes.

The paper presents also an example of graphical interpretation of electrical prospecting for the hydrogeological purposes.

РЕЗЮМЕ

Подземные залежи воды (водоносные слои) не имеют установленных величин удельного сопротивления проходящему электрическому току, так как эти величины зависят от нескольких компонентов в составе насыщенных водой образований и от самой воды.

Результаты полевых наблюдений электрического зондирования можно с большой точностью интерпретировать графически, анализируя форму кривых ВЭЗ и величины кажущегося сопротивления σ_k и сопоставляя геологические выводы с общим геологическим строением данного района. Это удобный и быстрый метод, особенно для многослойных геологических систем и систем сопротивлений.

В работе содержится один пример графической интерпретации электрических гидрогеологических исследований.