

METODY PRACY – RACJONALIZACJA POSTĘP TECHNICZNY

AFRYKAN KISŁOW

GEOFIZYKA NA USŁUGACH GEOLOGII INŻYNIERSKIEJ

I

Geologia inżynierska obejmuje prace geologiczne ściśle związane z zagadnieniami natury technicznej a więc: badanie miejsc pod budynki i fabryki, wyznaczanie miejsc na tamy i mosty, wytyczanie tras dróg i kolei oraz rurociągów itp. Osobny dział stanowią sprawy zaopatrzenia osiedli i miast w wodę dla celów bytowych oraz przemysłowych.

Do rozwiązania tych zagadnień zwykłymi metodami jest konieczne przeprowadzenie robót ziemnych (kopanie studni, rowów) lub wierceń celem otrzymania próbek gruntu dla określenia potrzebnych danych. Takie roboty są jednak zwykle długotrwałe i kosztowne. Ponadto dostarczają wiadomości tylko dla miejsca ich wykonania, pozostawiając luki na pozostałych miejscach obszaru lub profilu. Aby uniknąć tych luk należałoby roboty ziemne lub wiertnicze wykonywać bardzo gęsto, co oczywiście podnosi wydatki i opóźnia termin wykonania prac.

Obecnie w bardzo wielu wypadkach przychodzi z pomocą geofizyka. Jest to gałąź nauki geologicznej, która pozwala na rozwiązywanie zagadnień geologicznych na podstawie znajomości różnych własności fizycznych warstw tworzących skorupę ziemską. Geofizyka jest stosunkowo młoda, ma bowiem około 25 — 30 lat, lecz poczyniła już takie postępy, że obecnie żadne badania geologiczne, zwłaszcza utworów występujących na większych głębokościach, nie są do pomyślenia bez zastosowania metod geofizycznych.

Istnieją 4 zasadnicze metody badań geofizycznych:

1. Metoda grawimetryczna — oparta na pomiarach wielkości siły ciężkości lub też wielkości zmian tej siły przy posuwaniu się z jednego miejsca na drugie. Wymienione wielkości zmian zależą od obecności skał lżejszych i cięższych, ich wzajemnego układu oraz głębokości występowania.
2. Metoda magnetyczna — pozwalająca na stwierdzenie obecności skał magnetycznych, dających się łatwo wyróżnić wśród otoczenia o własnościach magnetycznych mniejszych lub zgoła niemagnetycznych.
3. Metoda sejsmiczna — umożliwiająca określenie własności sprężystych różnych utworów przez pomiar szybkości przebiegu impulsu sprężystego. Szybkość rozchodzenia się tego impulsu jest miarą własności sprężystych, charakterystycznych dla różnych warstw.
4. Metoda elektryczna — (odmiany oporowe) — opiera się o pomiar przewodnictwa dla prądu elektrycznego.

Te główne metody geofizyczne, obok których istnieją inne nadające się tylko w pewnych wypadkach, pozwalają bardzo szybko i często bardzo dokładnie zorientować się w budowie geologicznej w potrzebnym przekroju. Zaletą ich jest szybkość i taniość badań, oraz wielka dokładność określania potrzebnych danych. Przez zastosowanie metod geofizycznych w bardzo znacznym stopniu mogą być zredukowane prace ziemne lub wiertnicze, gdyż zadaniem tych prac jest już tylko potwierdzenie słuszności interpretacji danych uzyskanych na drodze geofizycznej. Stosując badania geofizyczne można otrzymać pewien przekrój ciągły, dlatego możliwość różnych niespodzianek geologicznych jest tu w znacznym stopniu zredukowana w porównaniu z robotami ziemnymi lub wiertniczymi stosowanymi w pewnej odległości od siebie. Bardzo wielką zaletą prac geofizycznych jest okoliczność, że zmiana głębokości badania nie odgrywa żadnej roli w odróżnieniu od prac

ziemnych czy wiertniczych, gdzie każdy dalszy metr głębokości coraz poważniej ciąży nie tylko na kosztach i czasie, lecz i na możliwościach wykonania, zwłaszcza w wypadku większych głębokości.

Stosowanie metod geofizycznych stanowi pod tym względem zupełny przewrót. To samo można powiedzieć o ogólnych wynikach, które w bardzo wielu wypadkach mają bardzo dużą dokładność. Należy tu wspomnieć, że dane geofizyczne stanowią zwykle dane przeciętne dla pewnego ośrodka, mogą więc lepiej oddać istniejące ogólne warunki geologiczne, co może być szczególnie ważne w takich wypadkach, jak: budowa wielkich obiektów przemysłowych, tam wodnych, mostów itp.

W geologii inżynierskiej tylko te metody geofizyczne odgrywają rolę, które mogą dać wiadomości geologiczne dotyczące płytszego podłoża. Są to metody:

A. sejsmiczna-refrakcyjna

B. niektóre elektryczne oporowe.

Nie trzeba jednak zapominać, że i inne metody mogą się okazać pożyteczne przy rozwiązywaniu zagadnień geotechnicznych. Tak np. przy rozwiązywaniu problemów dotyczących większych obszarów lub większych odcinków profili, nie bez znaczenia może być wiadomość o regionalnym występowaniu tych lub innych utworów (gliny, żwiru) lub pewnych zjawisk geologicznych (np. krasowe, pionowe lub poziome kontakty utworów), zwłaszcza przy projektowanych bardzo wielkich, trwałych budowlach.

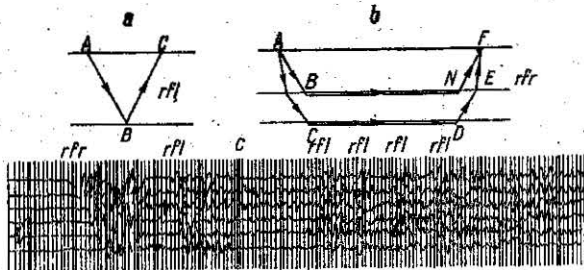
Zastosowanie metod geofizycznych jest możliwe dzięki niejednorodności własności fizycznych warstw. Im większa jest niejednorodność i znaczniejsze różnice we własnościach, tym dokładniejsze są wyniki pomiarów. Z tego też powodu występowanie stref o pośrednich własnościach zmniejsza efekt wyników. To samo stosuje się do wypadków, gdy wymiary przestrzenne (grubość czy też długość i szerokość) są małe. Jako przykład można tutaj podać badanie różnych małych soczewek, będących tworem sedimentacji w dolinach rzek lub też powstałych w wyniku zjawisk krasowych (szczelinowatość i spękania wypełnione innym materiałem itp.). Detalizacja prac geofizycznych w tych wypadkach musi być odpowiednio wielka, by móc uchwycić i wyjaśnić wszystkie szczegóły.

II. METODA SEJSMICZNA

Obserwując rzucony kamień na powierzchnię wody w stawie widzimy, że od miejsca dotknięcia przez kamień wody zaczynają się rozchodzić koncentryczne koła, stanowiące przykład sprężystej fali, w której drganie cząsteczek wody odbywa się prostopadle do kierunku rozchodzenia się fali. Jest to tzw. fala poprzeczna. Rozchodzenie się głosu w powietrzu może służyć przykładem fali podłużnej. Również i w ziemi przez wywołanie impulsu w jednym punkcie, zaczynają rozchodzić się różne fale, przy czym każda fala biegnie z różną szybkością, zależnie od rodzaju warstwy, przez którą przebiega. Największą szybkość mają fale podłużne, dlatego też one pierwsze zstają zarejestrowane na naszych przyrządach rejestracyjnych i służą do interpretacji.

Metoda sejsmiczna ma dwie odmiany: refleksyjną i refrakcyjną. Przy metodzie refleksyjnej przebieg impulsu przy padaniu na jakąś płaszczyznę sprężystą w głębi ziemi doznaje odbicia (ryc. 1a), podobnie jak odbije się np. promień światła padający na lustro. Przy metodzie refrakcyjnej następuje zjawisko załamania się kierunków rozchodzenia się fal (ryc. 1b). W geologii inżynierskiej używa się wyłącznie metody refrakcyjnej,

gdyż tylko ona umożliwiła badanie bardzo płytkich warstw. Ustawiając geofony (lub seismoodbiorniki) wzdłuż linii profilu, otrzymujemy na sejmografie (ryc. 1c) czasy przebiegów impulsów od miejsca wybuchu dynamitu do odpowiedniego geofonu. Wykreślając



Ryc. 1

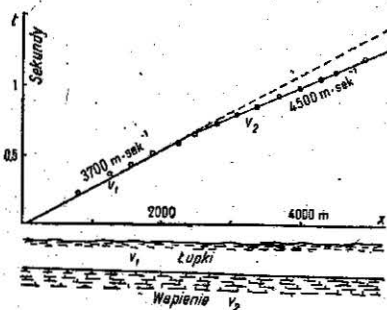
te czasy w odpowiednim układzie współrzędnych „odległość x — czas t ” i łącząc je liniami prostymi, mamy możliwość określenia tzw. pozornej szybkości przebiegu v impulsów w danej warstwie geologicznej. Te szybkości v nazywają się pozornymi dlatego, że zależą od kierunku nachylenia warstw; przy pomiarze po upadzie warstw wartości pozorne są mniejsze od rzeczywistych, zaś przy pomiarze po wzniesieniu warstw są one wyższe. Wykresy refrakcyjne lub tzw. hodografy są nieraz bardzo charakterystyczne. Znajdują się one w ścisłej zależności od warunków geologicznych. Te właśnie różnice w wartościach prędkości v , ich wzajemnym układzie oraz sposoby przejścia od jednego do drugiego (ciągłym lub z przerwami), służą jako podstawa do interpretacji.

Tabela 1 podaje wartości szybkości sejsmicznych rzeczywistych dla poszczególnych jednorodnych warstw.

Tabela 1

gleba	500 — 800	m/sek
piasek suchy	300 — 600	„
„ wilgotny	600 — 1000	„
„ mokry	1000 — 1400	„
glina, il	1600 — 2100	„
żwir	1600 — 1800	„
piaskowiec	3000 — 4200	„
łupek	2800 — 3600	„
wapień	3200 — 4800	„
skały wylewne	5500 — 6500	„
sól kamienna	5200 — 5600	„
gips	5000 — 5500	„

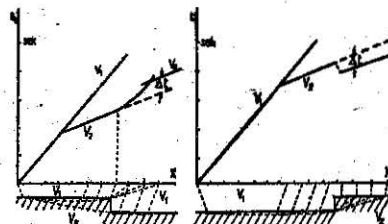
W wypadku większej niejednorodności warstw powstają znaczniejsze odchylenia od podanych wartości, co oczywiście utrudnia interpretację geologiczną. Porównanie jednak otrzymanych wyników z danymi z wierceń, które są tutaj konieczne potrzebne, ułatwia obranie poprawnego sposobu interpretacji.



Ryc. 2

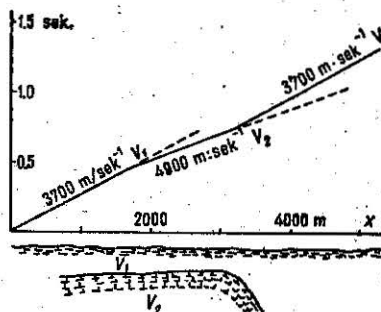
Na ryc. 2 przedstawiono normalny hodograf w wypadku poziomego układu warstw. Ryc. 3 podaje kształt hodografu w wypadku istnienia progów w drugiej warstwie. Druga gałąź prostej ma tutaj nieciągłość, której wielkość Δt świadczy o wielkości progę. Na ryc. 4 wi-

dzimy, że zaznaczająca się tu warstwa wapieni powoduje ponowne zjawienie się prostej 3700 m/sek, gdyż droga impulsu sejsmicznego po wyjściu z wapieni ponownie przebiega w górnych piaskowcach. Na ryc. 5 mamy układ warstw taki, jaki często spotyka się przy zjawiskach krasowych.



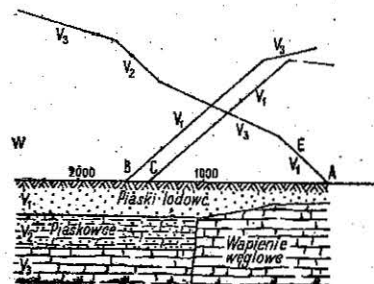
Ryc. 3

W ten sposób opierając się na szybkości v oraz sposobie łączenia się prostych, możemy określić profil geologiczny. Przez stosowanie wykreślnej metody obliczania wyników można niemal w terenie śledzić wyniki prac i dowolnie kierować pracami w czasie ich prowadzenia.



Ryc. 4

Metoda ta może być szczególnie dobra przy badaniu terenu dla nowopowstających dużych obiektów budowlanych, mostów lub tam, w warunkach otwartego terenu. Konieczność bowiem używania silnych środków wybuchowych (dynamit) dla spowodowania sprężystego impulsu i przebiegu fal bardzo ogranicza jej stosowanie w obrębie istniejących osiedli lub zabudowań, zwłaszcza gdy w niesprzyjających warunkach (np. suche piaski) są wymagane duże ładunki materiałów wybuchowych (kilka i kilkanaście kg). Przy projektowaniu badań tą metodą musimy pamiętać o dostatecznej przestrzeni do wykonania prac. Tak np. jeżeli chcemy mieć zbadany przekrój A—B do głębokości h m, to musimy posiadać odcinek wystający poza punkty A i B co najmniej o $(4 : 6) \cdot h$ metrów. A więc np. przy interesującej nas długości odcinka dla projektowanej tamy wodnej o dł. 100 m i konieczności poznania podłoża do 50 m musimy dysponować z każdej strony profi-



Ryc. 5

lu odcinkiem co najmniej 200 — 300 m dla umieszczenia geofonów lub otworu strzałowego, by istotnie na końcach profilu w punktach A i B otrzymać dane w płaszczyźnie profilu dla potrzebnej głębokości 50 m. W trudnych warunkach terenowych: strome zbocze gór-

skie, przestrzeń wodna itp., gdy takim wolnym odcinkiem w kierunku profilu dysponować nie można, zaś warunki geologiczne nie są skomplikowane (małe kąty zapadania warstw), profil sejsmiczny zakłada się prostopadle do kierunku badanego przekroju. Wówczas taki wolny odcinek może być wydalnie skrócony, wszystko zależy w takich wypadkach od warunków lokalnych, które nie tylko umożliwiają stosowanie takiej lub innej metody prac, lecz niejednokrotnie ją narzucają.

III. METODY ELEKTRYCZNE

Bardzo często o wiele racjonalniej jest zastosować do celów geologii inżynierskiej lub hydrogeologii metody elektryczne, jednak tylko te, które się posługują prądem stałym, a więc:

- 1) metody oporowe:
 - a. sondowanie,
 - b. profilowanie,
- 2) metoda potencjałów własnych,
- 3) metoda ciała naładowanego,
- 4) rdzeniowanie elektryczne.

Elektryczne metody oporowe są oparte na różnicy w przewodnictwie prądu elektrycznego dla różnych utworów. Im większe są te różnice, tym bardziej dokładne mogą być wyniki pomiarów. Przewodnictwo prądu elektrycznego odbywa się za pomocą jonów lub też elektronów. Ze zjawiskiem pierwszego rodzaju mamy do czynienia przy elektrolitach (roztworach wodnych różnych soli wypełniających puste przestrzenie), z drugim zaś rodzajem spotykamy się przy przewodnictwie cząsteczek stałych, stanowiących twarde szkielec utworów (minerałów).

Przewodnictwo różnych warstw jest bardzo różne, gdyż zależy od wielu czynników, jak: ilość roztworów (porowatość) oraz stopień koncentracji w nich różnych soli (mineralizacja), temperatura, forma i wzajemne ułożenie porów (struktura i tekstura). Z tych wszystkich czynników najważniejsze są: ilość roztworów oraz stopień ich mineralizacji. Ponieważ warunki w naturze mogą być najróżnorodniejsze, przeto bardzo często bywa, że jedna i ta sama warstwa może posiadać różne opory właściwe. Stąd pochodzi to, że cyfry podawane przez różnych autorów, są bardzo często różne.

Według A. M. Gorelika i M. P. Sacharowej cyfry oporów właściwych w om metrach. (om m) są dla różnych utworów następujące:

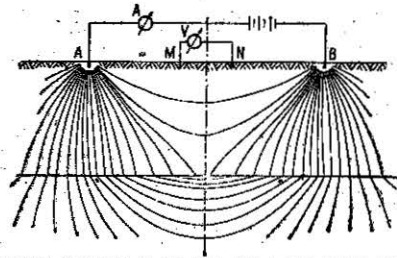
nazwa	stan	opór om m
anhydryt	—	$10^8 - 10^4$
bazalt	—	10^4
glina	—	3—50
utwory glinisto-piaszczyste	wilgotny w naturze	$1,6 \cdot 10 - 5 \cdot 10^2$
gnejs	suchy	$10^6 - 10^7$
„	wilgotny	$10^2 - 10^4$
granit	suchy	$6 \cdot 10^6$
„	wilgotny	$8 \cdot 10^2$
wapień	suchy	$5 \cdot 10^3$
„	wilgotny	$6 \cdot 10^3 - 7 \cdot 10^4$
margiel	—	1 — 10^2
piasek	wilgotny (woda słodka)	$2 \cdot 10 - 4 \cdot 10^2$
„	wilgotny (woda mineraliz.)	0,3 — 4
piaskowiec	w naturze	$3,5 \cdot 10 - 4 \cdot 10^2$
łupek ilasty	suchy	$4 \cdot 5 \cdot 10^3$
„	wilgotny	$4 \cdot 5 \cdot 10$
„ piaszczysty	—	$7 \cdot 10 - 5 \cdot 10^3$
„ kwarcowo-serycytowy	—	$5 \cdot 10^3 - 4 \cdot 10^7$
sól kamienna	suchy	$10^7 - 10^{12}$
„	wilgotny	$3 \cdot 10^7 - 3 \cdot 10^8$
woda rzeczna	—	$2 \cdot 10 - 1,2 \cdot 10^2$
woda morska	—	0,6
woda deszczowa	—	$3 \cdot 10^3 - 10^3$
woda głębinowa	—	0,01 — 0,1

Jak widać z tej tabeli, granice wahań dla jednych i tych samych warstw są bardzo szerokie. To zjawisko obserwuje się zwłaszcza dla utworów leżących blisko powierzchni ziemi, gdzie ilość krążących roztworów ulega bardzo silnym wahaniom. Pochodzi to stąd, że utwory w przeważającej swej większości należą do grupy przewodników elektrolitycznych, to znaczy, ich własności przewodnictwa zależą przede wszystkim od znajdujących się w nich roztworów soli i ich przewodnictwa.

Wielkością odwrotną do przewodnictwa jest opór, który jest miarą używaną w metodach elektrycznych. Opór mierzy się w om metrach.

1. METODY OPOROWE

Metody oporowe stanowią podstawę metod elektrycznych ze względu na ich znaczenie. Mają one przewagę nad innymi metodami, gdyż pozwalają nie tylko na stwierdzenie obiektu badań na danym obszarze, lecz również umożliwiają określenie głębokości jego występowania, jego miąższości itd.

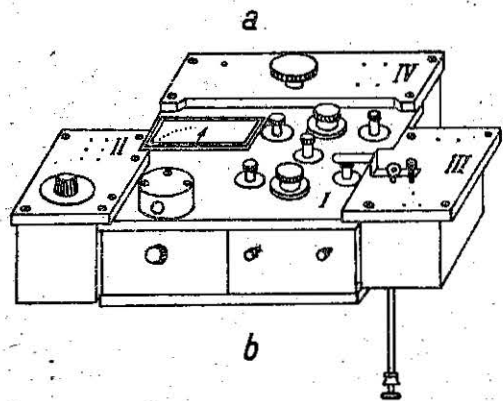


Ryc. 6

Skutkiem przepuszczania prądu elektrycznego stałego przez elektrody prądowe (lub zasilające) A i B (ryc. 6) w ziemi powstaje pole elektryczne. Kształt linii sił w tym polu zależy od stopnia jednorodności warstw. Na elektrodach napięciowych (lub pomiarowych) M i N mierzymy spadek potencjału, którego wielkość zależy od oporu warstw. Opór warstwy obliczamy według wzoru:

$$\rho = K \cdot \frac{\Delta v}{i} \text{ om m}$$

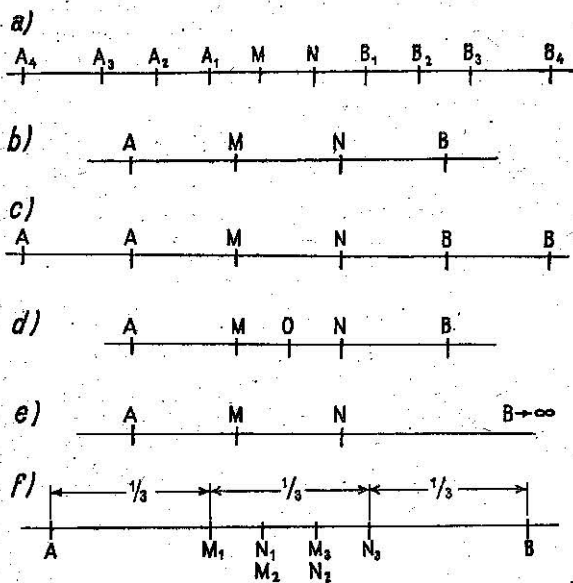
gdzie k = współczynnik stały zależny tylko od wzajemnych odległości elektrod A i B;
 Δv = różnica potencjałów między M i N w m V,
 i = natężenie prądu zasilającego między A i B w cA.



Ryc. 7

Do pomiarów używa się tzw. potencjometru, który pozwala odczytywać natężenie prądu i oraz różnice potencjałów Δv (ryc. 7). Jako źródło prądu służą suche baterie o pojemności 15 — 25 Ah oraz napięciu 36 lub 72 V. Jako elektrody zasilające służą elektrody żelazne o długości 0,5 — 1,5 m, a jako pomiarowe — elektrody miedziane. Jako przewody są używane przewody tele-

foniczne izolowane gumą i bawełną, (tzw. saperskie). Zależnie od sposobu umieszczenia elektrod zasilających i napięciowych mówimy o sondowaniu oraz o profilowaniu.

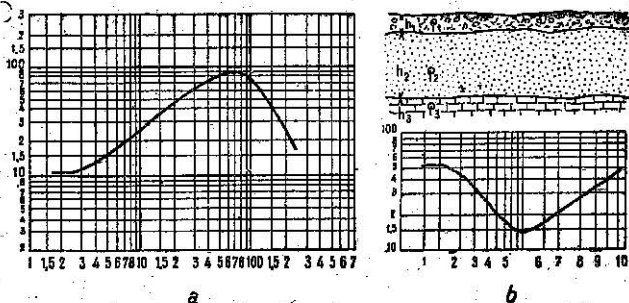


Ryc. 8
Schemat układów elektrod

1a. Metoda sondowania. Przy tej metodzie środek układu między M i N pozostaje w ciągu całego pomiaru na miejscu. Na ryc. 8a widzimy schemat umieszczenia elektrod. Przy niezmiennym MN robi się odczyt kolejny przy $A_1, B_1, A_2, B_2, A_3, B_3$ itd., aż nastąpi pewien stosunek odległości MN i AB. Następnie odległość MN powiększa się 2 — 4 razy i przy tym ustawieniu elektrod MN ponownie kolejno zwiększa się odległości AB, przeto przy powiększaniu AB otrzymujemy wiadomości z coraz większej głębokości. Obliczone opory ρ nanosimy na papier logarytmiczny podwójny, w układzie

„odległość $\frac{AB}{2}$ — opór ρ ” otrzymując w ten sposób

krzywą, której kształt ściśle zależy od charakterystyki elektrycznej warstw (ryc. 9). Tak np. gdy pierwszą warstwą są gliny o oporze ρ_1 , drugą — piaski o oporze ρ_2 oraz trzecia — łył o oporze ρ_3 i zachodzi stosunek między oporami $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$, wówczas mamy krzywą jak na ryc. 9a. Jeżeli zaś zachodzi stosunek oporów $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$, wówczas otrzymujemy krzywą jak na ryc. 9b.



Ryc. 9

Otrzymywane wartości oporów ρ stanowią wartości pozorne w odróżnieniu od oporów właściwych, charakteryzujących dany jednorodny utwór.

Krzywe sondowań muszą być poddane interpretacji, tzn. na ich podstawie określa się poszczególne poziomy elektryczne, ich opory właściwe oraz głębokości występowania utworu. Proces ten jest żmudny i wymaga doświadczenia, jednak osiągane wyniki bardzo często

mają wysoką dokładność, zwłaszcza przy nagłej i dużej różnicy własności przewodnictwa prądu elektrycznego i niewielkiej głębokości występowania utworu.

1b. Metoda profilowania. Przy profilowaniu elektrycznym cały układ elektrod przesuwa się wzdłuż profilu, przy czym odległość między elektrodami pozostaje stale niezmienna. Odległość, o którą układ się przesuwa, nazywa się krokiem układu. Ponieważ odległość AB pozostaje niezmienna, dlatego też i głębokość badania h pozostaje stała lub zmienia się w bardzo małych granicach. Z tego powodu stosując metody profilowania otrzymujemy przekrój dla głębokości h na całej długości profilu. Nie ma tu możliwości określenia głębokości jakiejś warstwy, dlatego cała interpretacja polega na jakościowej ocenie stwierdzenia występowania obiektu (np. ryc. 17).

W zależności od postawionego zadania stosuje się różne układy elektrod. Na ryc. 8 (b — f) podano takie najczęściej stosowane układy, a mianowicie:

1. Układ AMNB (ryc. 8b) stosuje się do stwierdzenia położenia starych koryt rzek, lokalizacji uskoków, dużych szczelin tektonicznych. W tym celu stosuje się badanie wzdłuż szeregu równoległych profili odległych o 50 — 100 — 200 metrów. Odległość ta oraz krok układu są uzależnione od obiektu badań oraz od stopnia detalizacji. Profile prowadzi się w poprzek rozciągłości badanego obiektu. Odległości AB i MN zależą od głębokości badania h i wynoszą dla AB około $(4-5) \cdot h$.

2. Układ A_1AMNBB_1 (ryc. 8c) różni się od poprzedniego tym, że pomiar otworu odbywa się od razu na dwóch głębokościach przy jednym położeniu elektrod MN. Taki układ obiera się po to, żeby badanie na małej głębokości lepiej wyjaśniło możliwe wahania w miąższości i składzie górnej warstwy, zaś dłuższy rozstaw dał dane odnośnie do warstw głębszych. Ten sposób badania jest dokładniejszy od poprzedniego AMNB, lecz tok prac jest powolniejszy.

3. Układ AMONB (ryc. 8d) ma zastosowanie w wypadku prac w warstwach powierzchniowych bardzo niejednorodnych. Na każdym stanowisku pomiar wykonuje się przy jednym położeniu elektrod A i B, lecz pomiar różnicy potencjałów odbywa się dwukrotnie: raz między punktami M i O, drugi raz — między O i N. Sposób ten może być z powodzeniem zastosowany do wykrywania lejów krasowych.

4. Układ AMN ($B \rightarrow \infty$) (ryc. 8e) ma jedną elektrodę zasilającą B, oddaloną na dość znaczną odległość od środka układu O. Praktycznie wystarcza, by odległość BN była równa około 10 AO. Sposób ten stosuje się przy wykrywaniu dużych szczelin, stref spękań oraz przestrzeni krasowych.

5. Układ AB (ryc. 8f) różni się tym od poprzednich, że pomiar odbywa się wewnątrz trzeciej części odległości AB. Układ jest w zasadzie podobny do układu AMONB, lecz odległości MN są mniejsze. Ze względu na małe MN i małą różnicę potencjałów pomiar jest dość kłopotliwy. Ma zastosowanie przy badaniu utworów posiadających drobną szczelinowatość i występujących na małej głębokości, przy wykrywaniu żył kwarcu itp.

Nie można podać jakiejś reguły stosowania tego lub innego układu, gdyż wybór metody zależy od wielu lokalnych warunków. Dlatego też często trzeba zastosować kilka metod, by otrzymać zupełnie wyraźne wyniki.

2. METODA POTENCJAŁÓW WŁASNYCH

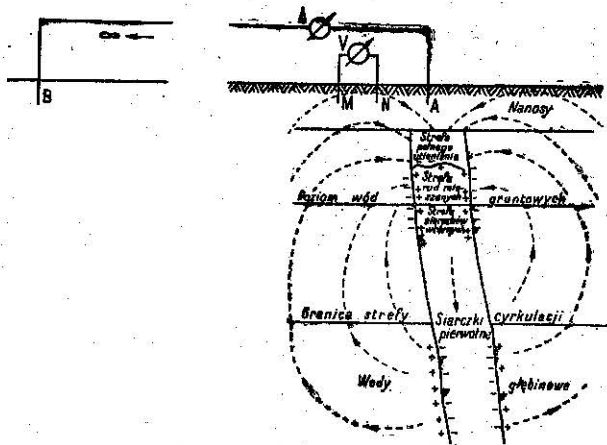
Metoda ta znana jeszcze jako metoda polaryzacji spontanicznej (PS) opiera się o pomiar sił elektromotorycznych powstających w utworach wskutek procesów utleniania i innych oraz filtracji przez ośrodek porowaty. Zjawisko to występuje tym silniej, im szybciej przebiega proces utleniania lub im szybsza jest filtracja. Wielkość siły elektromotorycznej mierzy się za pomocą potencjometru (ryc. 7) i oznaczana w miliwoltach (mV). Ponieważ na kontakcie elektrod z ziemią powstają własne prądy tzw. polaryzacji, przeto przy badaniach muszą być używane specjalne elektrody niepolaryzujące, składające się z naczynia nie porowatego z roztworem siarczku miedzi ($CuSO_4$). Na ryc. 10 został podany przykład, gdy pionowa żyła siarczku jest źródłem powstawania prądów własnych. Rolę elektrolitu odgrywa

tu woda wzdłuż kontaktu. W ten sposób na powierzchni pomiędzy elektrodami M i N można zmierzyć pewną różnicę potencjałów, której wielkość będzie zależna od wielkości „ogniwa“ w ziemi i jego głębokości. W tym wypadku wykonując obserwacje wzdłuż profili, możemy nakreślić linie równych potencjałów.

Metoda potencjałów własnych może być wykorzystana do określania miejsca przyływu wód do otworów, stref znaczniejszych spękań i szczelin, którymi mogą krążyć wody, oraz w wypadku określania wzmożonej filtracji ze zbiorników wodnych na zewnątrz.

3. METODA CIAŁA NAŁADOWANEGO

Metoda ta jest stosowana przy poszukiwaniu złóż rudnych, by określić ich wymiary przestrzenne. W tym celu jedną z elektrod zasilających wbija się do złoża lub w jego pobliżu, drugą zaś oddaje się na znacznie większą odległość, np. 1 km (ryc. 10, góra). Następnie przez elektrody A i B przepuszczamy prąd. Wówczas mierząc różnicę potencjałów za pomocą elektrod MN, wykreśliamy linie równych potencjałów, które wyznaczają kształt złoża.

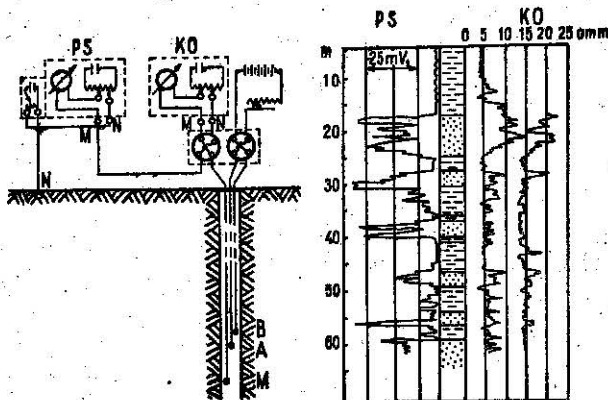


Ryc. 10

W geologii inżynierskiej ta metoda jest stosowana w wypadku określania kierunku i szybkości prądu wody krążącej w złożu i mającej dostęp do otworu wiertniczego.

4. RDZENIOWANIE ELEKTRYCZNE

Metoda ta, zwana inaczej z francuskiego karotażem, jest stosowana dla pomiaru oporów własnych i potencjałów PS w otworach wiertniczych. Na ryc. 11 przedstawiono schemat urządzenia i pomiarów.



Ryc. 11

Zasada pomiaru jest taka sama jak przy metodzie profilowań w układzie AMN ($B \rightarrow \infty$). Elektrody za-

puszcza się do otworu na specjalnym kablu trzyżyłowym. Ponieważ jednocześnie dokonuje się pomiaru PS, dlatego zastosowano tu dodatkowe specjalne urządzenie, tzw. pulsator. Wielkość PS jest tu miarą wielkości zjawiska porowatości, gdyż jak wyżej powiedzieliśmy, zjawisko filtracji przeważnie powoduje występowanie sił elektromotorycznych na kontakcie ściany otworu z warstwą otaczającą.

Rdzeniowanie elektryczne ma olbrzymie zastosowanie przy badaniu geologicznym otworów wiertniczych. W geologii inżynierskiej ta metoda może mieć zastosowanie przy badaniu otworów i ich korelacji, nie ma ona jednak tego znaczenia co np. w przemyśle naftowym z uwagi na to, że korelacja warstw powierzchniowych tą metodą jest o wiele trudniejsza z powodu bardzo wielkich różnic sedimentacji, ponadto sama metoda korelacji nie ma takiego znaczenia jak w geologii głębokich warstw.

IV. CELE I SPOSOBY STOSOWANIA METOD GEOFIZYCZNYCH

Stosowanie tej lub innej metody geofizycznej do rozwiązywania zagadnień z zakresu geologii inżynierskiej oraz hydrogeologii oczywiście zależy od rodzaju zagadnienia i od geologicznych warunków lokalnych. Należy również brać pod uwagę warunki ekonomiczne oraz możliwość zastosowania tej metody w ogóle (użycie metody sejsmicznej).

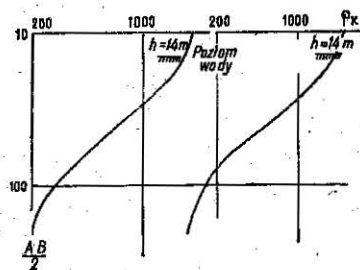
W części dalszej w sposób skrócony podaję sposoby rozwiązywania szeregu najprostszych zagadnień, ilustrując odpowiednimi przykładami graficznymi. Przykłady dotyczą stosowania wyłącznie metody elektrycznej dlatego, że metoda ta jest znacznie prostsza w użyciu, tańsza, zaś swoją dokładnością nie tylko dorównuje, lecz nieraz może przewyższać metodę sejsmiczną. Aparatura do badań elektrycznych wymaga jedynie dokładnego amperomierza i woltomierza, tymczasem aparatura używana przy badaniach sejsmicznych jest bardzo skomplikowana. Dlatego też wszędzie tam, gdzie chodzi o wielką ilość prac, ich pośpiech i taniość, należy stosować metody elektryczne. Jednakże przy zagadnieniach bardzo ważnych i odpowiedzialnych jak: budowa wielkich i ciężkich obiektów, wielkich tam wodnych — należy stosować również i metodę sejsmiczną, chociażby celem częściowego skontrolowania wyników badań elektrycznych.



Ryc. 12

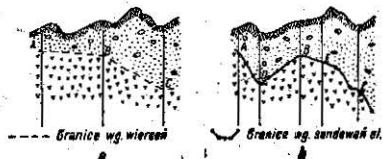
1. Badanie podłoża. Najbardziej ogólnym zagadnieniem w geologii inżynierskiej jest zbadanie stropu podłoża pod młodszymi utworami. Zadanie to może być łatwo rozwiązane za pomocą metody sejsmicznej refrakcyjnej (ryc. 2 — 5) lub też metody sondowań elektrycznych. Stosując szereg profili czy też mierząc w oddzielnych punktach umieszczonych według szachownicy (ten sposób nadaje się tylko do metody sondowań elektrycznych) możemy otrzymać przekroje czy też mapę. Ryc. 12 stanowi taką mapę z wykreślonymi warstwicami podającymi głębokość zalegania podłoża. Głębokości są określone na podstawie sondowań elektrycznych (ryc. 13) interpretowanych za pomocą specjalnych wykresów (paletek). Gęstość sondowań zależy od głębokości zalegania podłoża, stopnia dokładności badań oraz od tego, czy zjawiska krasowe występują silniej lub mniej. Należy się liczyć z tym, że w razie małego zróżnicowania własności fizycznych (oporów elektrycz-

nych lub sprężystości) obliczone wartości głębokości mogą zawierać poważniejsze odchylenia w stosunku do wartości rzeczywistych.



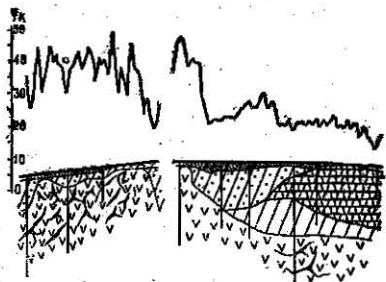
Ryc. 13

2. Określanie miąższości nanosów. W zasadzie to zagadnienie wiąże się z poprzednim, jest tylko inaczej sformułowane. Ryc. 14 stanowi doskonałą ilustrację przykładu, gdy sondowania elektryczne mogą zastąpić wiercenia. Mianowicie wiercenia A, B, C określiły miąższość nanosów jak w lewej części rysunku. Wykonane sondowania elektryczne stwierdziły, że miąższość nanosów w niektórych miejscach np. między A i B ulega większym wahaniom. Celem sprawdzenia wyników metody elektrycznej wykonano dwa dalsze wiercenia D i E, które w całości potwierdziły wyniki sondowań elektrycznych.



Ryc. 14

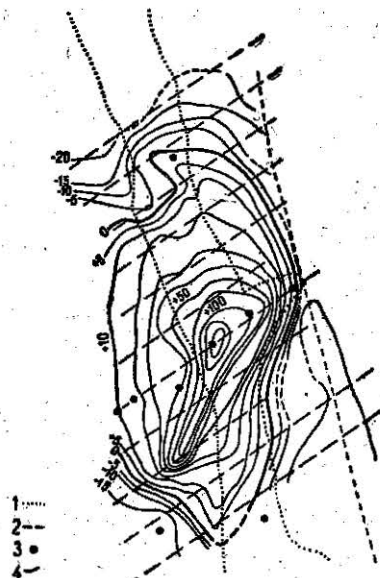
Stosowanie metody refrakcyjnej daje również bardzo dobre wyniki (ryc. 2, 4 — 5). Odstęp geofonów wynosi tu 5 — 10 m przy odległości skrajnego geofonu od otworu strzałowego około (5 — 6) h. metrów, gdzie h oznacza głębokość warstw nienaruszonych. Odległość punktów sondowań elektrycznych czy też otworów strzałowych zależy od miąższości nanosów lub ich niejednorodności i wynosi od 20 — 30 m do 150 — 200 m.



Ryc. 15

3. Określanie stref spekań i szczelin. Stosowanie obu metod sejsmicznej i elektrycznej — pozwala na wydzielenie stref spekań i szczelin wskutek tego, że tak sprężystość, jak i oporność elektryczna będzie tutaj inna niż dla skały, która nie uległa spekaniu. Na ryc. 15 pokazano wyniki stosowania również profilowań. Metoda profilowania nie pozwala określić wartości głębokości, może jednak mieć tu zastosowanie dlatego, że można łatwo na oko stwierdzić istnienie strefy szczelin, opierając się na dużych wahaniami wartości oporu. Te wahania mogą być wywołane przez obniżenie oporu skutkiem wypełnienia szczelin roztworami zmineralizowanymi lub też przez podwyższenie oporów, np. w miejscu żył kalcytu itp. Ogólnie biorąc lewe części obu rysunków ilustrujące wysokie opory wykazują występowanie szczelin w utworach podłoża, w prawych zaś częściach ma się do czynienia z utworami młodszymi z silną domieszką glin i ilów.

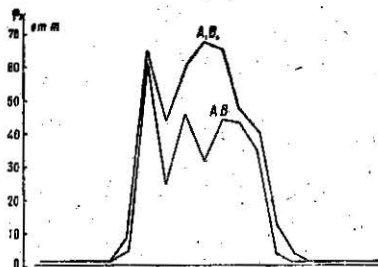
W niektórych wypadkach można otrzymać wyniki przez stosowanie metody potencjałów własnych, np. w razie istnienia silnych przepływów wód przez strefy spekań mogą powstać własne potencjały, które łatwo mogą być pomierzone potencjometrem. Na ryc. 16 jest przedstawiony wynik pomiarów PS w takiej strefie spekań w wapieniach. Ruch wody powstał tu wskutek przepływu do 300 l/godz. Wydłużony kształt izol linii świadczy o przepływie wody wzdłuż osi.



Ryc. 16

1. Izoliny oporów, 2. Profile PS,
3. Otwory wiertnicze, 4. Izoliny PS

4. Badanie koryt starych rzek. Obydwie metody — sejsmiczna i elektryczna — mają tu duże zastosowanie. W niektórych szczególnie łatwych warunkach, gdy stare koryto jest wąskie, z powodzeniem może być zastosowana metoda profilowania, np. w układzie A₁AMNBB₁ (ryc. 17). Wzrost oporów niemal jednocześnie na obu skrzydłach wskazuje na strome brzegi daw-



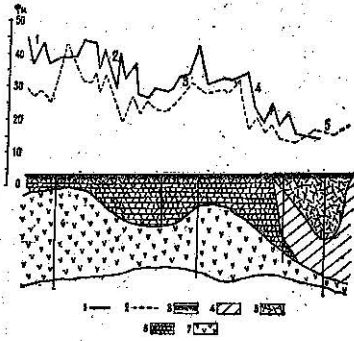
Ryc. 17

nego koryta wypełnionego innymi utworami. Ta metoda daje jednak wyniki jakościowe i może być zalecona jako metoda poszukiwawcza, tzn. do śledzenia kierunku przebiegu tego koryta. W wypadkach gdy koryto jest szerokie i wypełnione utworami o wahających się oporach, ta droga może nie doprowadzić do celu (ryc. 18). Krzywe oporów nie mają tu żadnych charakterystycznych uskoków, aczkolwiek daje się zaobserwować mniejsze szczegóły. Obniżenie oporów na odcinkach 2 — 3 oraz 4 — 5 świadczy o obniżeniu podłoża i wypełnieniu koryta utworami bardziej ilastymi.

Na ryc. 19 widzimy przekrój przez stare koryto rzeczne, wykreślony na podstawie sondowań elektrycznych. Otwór wiertniczy A potwierdził wyniki sondowań.

W wypadku konieczności zbadania koryta rzeki lub dna basenu wodnego w ogóle, stosuje się te same metody co i w wypadku badań naziemnych. Wówczas geofony zapuszcza się na dłuższych kablach na dno rzeki

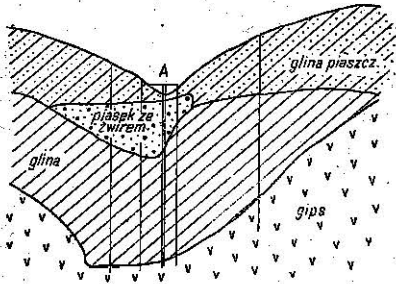
lub basenu i wykonuje się pomiar normalnie. Przy badaniach elektrycznych elektrody tak zasilające, jak i napięciowe, mogą być zawieszone oddzielnie (ryc. 20a),



Ryc. 18

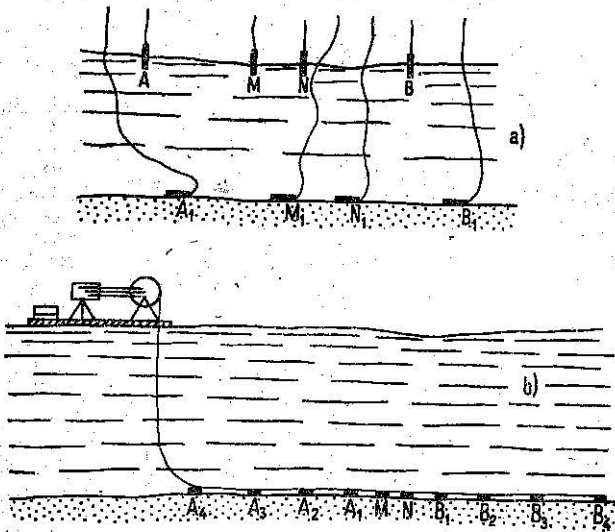
1. $AB = 50$ m, 2. $A^1 B^1 = 30$ m,
3. Nasyp-żwir, 4. Głina, 5. Nasypany grunt, 6. Margiel glin, 7. Gips

albo też umieszczone na dnie na oddzielnych linkach czy też łączone na wspólnym kablu rozwijanym z trawty (ryc. 20b). Jest jasne, że przy takich badaniach za pomocą metody elektrycznej elektrody muszą mieć inny kształt np. płaskich płytek.



Ryc. 19

Badania w środowisku posiadającym nieraz dość duże przewodnictwo, np. w wodzie morskiej, powodują

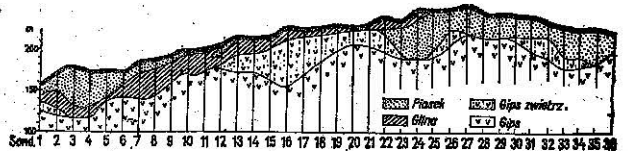


Ryc. 20

konieczność zmiany metody obliczeń. Wówczas przy obliczaniu wyników musi być brana pod uwagę głębokość zanurzenia elektrod i przewodnictwo (oporność) oraz uwzględniona okoliczność, że pomiaru dokonano na granicy dwu ośrodków przewodzących w odróżnieniu od normalnych warunków pomiarów na granicy

z powietrzem, dla których są skonstruowane wykresy (paletki) obliczeniowe.

5. Wytyczanie tras dla kolei lub dróg bitych. W tych wypadkach bardziej racjonalne jest zastosowanie metody elektrycznej z uwagi na długość profilu, aczkolwiek i metoda sejsmiczna refrakcyjna w zasadzie może mieć zastosowanie. Pomiary wykonuje się w pewnych odstępach, np. 0,5 — 1 km, przy czym w miejscach bardziej interesujących pomiary mogą być zagęszczone w miarę potrzeby. Na ryc. 21 podano jeden taki profil wzdłuż trasy projektowanej kolei, gdy sondowanie elektryczne wykonywano w odstępach 1 km. Na dolnym rysunku podano charakter otrzymywanych krzywych z dwóch sondowań. Pomiary parametryczne pozwalają na wykonanie interpretacji sondowań. Wiercenia kontrolne są tu potrzebne celem sprawdzenia poprawności i dokładności interpretacji geofizycznej.



Ryc. 21

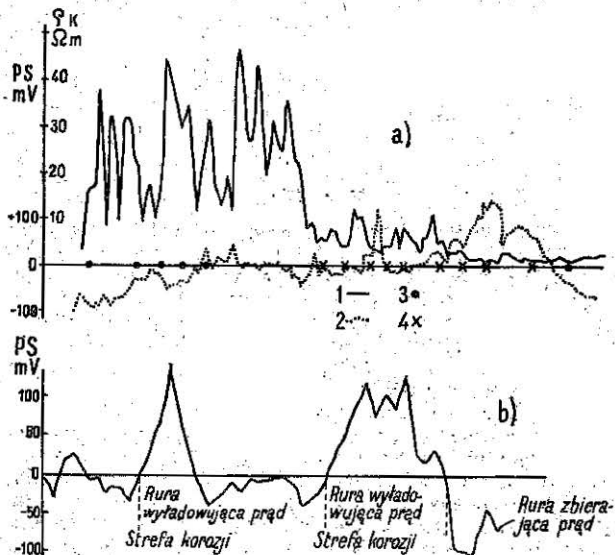
Dość często zachodzą wypadki, gdy należy zbadać grunt wzdłuż kolei już istniejącej. Wówczas jest racjonalne wykonanie sondowań elektrycznych w miejscach zagrożonych. Ten sposób daje możliwość uniknięcia kosztownych wierceń oraz umożliwia ustalenie miejsc, które mogą kryć niebezpieczeństwo dla całości kolei lub drogi w przyszłości, np. w wypadku podejrzenia istnienia osuwisk. Rzadkie wiercenia stanowią kontrole, mogą one ponadto być umieszczone najbardziej racjonalnie z uwagi na przewidywanie jakichś zabiegów technicznych (cementowanie).

6. Wytyczanie tras dla rurociągów. Umieszczenie w ziemi wielkich mas żelaza może spowodować duże straty w metalu wskutek korozji, ponadto zachodzi niebezpieczeństwo powstawania dziur w rurociągach, co może spowodować przerwy w transporcie gazu lub cieczy, przeto jest konieczne zbadanie trasy przyszłego rurociągu. Liczne badania za granicą stwierdziły, że procesy korozji szczególnie intensywnie przebiegają w warstwach posiadających bardzo niskie opory elektryczne wskutek obecności dużej ilości kwasów. Istnieje dużo różnych metod pomiarów oporów, przy czym zasady ich są identyczne.

Dla wytyczania tras mogą być użyte jedynie metody elektryczne. Zwykle robi się to za pomocą układu AMNB przy małych MN równych 0,25 — 0,5 m. Liczni autorzy wskazują różne cyfry oporów właściwych dla warstw, od których zależy stopień intensywności procesu korozji. Można przyjąć, że przy oporze większym do 4—5 om m korozja jest nadzwyczaj intensywna, przy 5 — 10 om m — korozja jest jeszcze bardzo wielka, przy 10 — 20 om m wypadki dziurawienia rur są już znacznie rzadsze, natomiast przy oporze ponad 20 om m prawie nie spotkano wypadków uszkodzenia rurociągów.

Na ryc. 22a podano wyniki pomiarów oporów wzdłuż trasy istniejącego rurociągu oraz kontrolę ich przez roz-

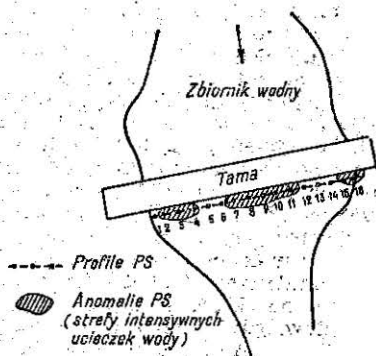
kopywanie i badanie stanu rur. Okazało się, że w strefie dużych oporów nie napotkano ani jednego poważniejszego uszkodzenia, natomiast w strefie niskich oporów przebiecia rurociągów były bardzo częste. Fakt istnienia niemal ścisłej zależności pomiędzy opornością warstw a stopniem intensywności procesów korozji jest wykorzystywany do zbadania stanu rurociągów już istniejących, gdy zachodzi konieczność kontroli i uniknięcia unieruchomienia rurociągu. W tych wypadkach pomiar za pomocą metody profilowania wzdłuż trasy rurociągu może odkryć miejsce, gdzie można się spodziewać ognisk szczególnie silnej korozji rur.



Ryc. 22

1. Krzywa oporów, 2. Krzywa PS,
3. Rurociąg bez dziur, 4. Rurociąg z dziurami

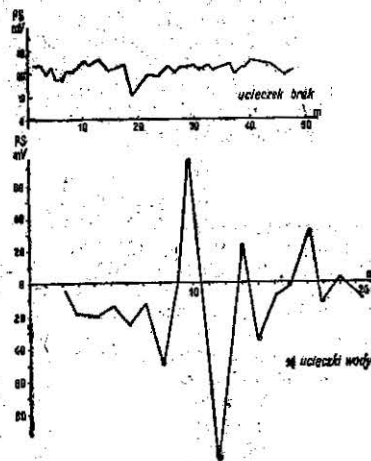
Stwierdzono również, że przez umieszczenie rurociągu w ziemi może powstać źródło prądu elektrycznego i przepływ tego prądu wzdłuż rurociągu, powodujący korozję. Dlatego też w tym wypadku dla badania można zastosować metodę pomiarów powstających własnych potencjałów. Na ryc. 22a linią kropkowaną uwidoczono wyniki pomiaru tych potencjałów (PS), zaś na ryc. 22b w większej skali wykazano strefy, które mogą stanowić niebezpieczeństwo dla całości rurociągu.



Ryc. 23

7. Wyznaczenie miejsc ucieczek wód ze zbiorników. W dużych zbiornikach wody może zachodzić ucieczka wody. Ucieczki wód mogą mieć groźne następstwa, gdyż początkowe małe ilości przesączonej wody stopniowo powodują wypłukiwanie i wynoszenie materiału skalnego zdrowego, co w konsekwencji może grozić nawet katastrofą (przesączanie u tam wodnych). Takie miejsca ucieczek ze zbiorników wodnych (ryc. 23) mogą być wykryte za pomocą badań elektrycznych. Zauważo-

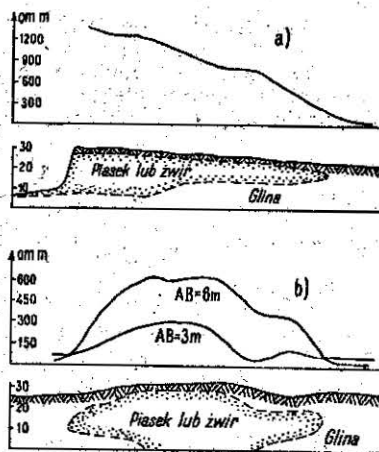
no, że wypływy wody powodują powstawanie własnych potencjałów PS, które w pewnych wypadkach osiągają znaczenie wielkości do kilkudziesięciu miliwolt. Pomiar PS (ryc. 24) może wskazać miejsca takich ucieczek.



Ryc. 24

8. Poszukiwania materiałów budowlanych. Poszukiwania materiałów budowlanych mogą być wykonywane zarówno metodą sejsmiczną jak i elektryczną oporową. Badania prowadzą się do założenia szeregu profili w niewielkim odstępnie od siebie, np. 25 — 100 m, i wykonania pomiarów w dużej ilości punktów.

Na podstawie znajomości danych refrakcyjnych lub oporów właściwych można na profilach wydzielić poszczególne warstwy i zlokalizować występowanie interesujących nas materiałów budowlanych. Różne bowiem materiały posiadają dość różniące się własności fizyczne, co ułatwia poszukiwania. Na ryc. 25 podano dwa przykłady takich poszukiwań za pomocą profilowania w układzie AMNB (ryc. 25a) oraz A_1AMNB_1 (ryc. 25b).



Ryc. 25

9. Zagadnienie poszukiwania wód. Zadanie to rozwiązuje się stosując wyłącznie metody elektryczne, zwykle za pomocą sondowań. Jak wiemy, obecność elektrolitu może bardzo silnie zmienić opór właściwy utworów. Interpretacja krzywych sondowań (ryc. 13) daje możliwość wyróżnienia warstw ze zmniejszonymi oporami, co możemy tłumaczyć obecnością roztworów wodnych. Obecności więc wody nie stwierdza się tu w sposób bezpośredni, lecz wnioskujemy ze zmiany oporów właściwych skał. Stąd też poszukiwania wody na zupełnie świeżym terenie, gdzie nie ma otworów wiertniczych ze stwierdzonymi poziomami wodnymi, mogą początkowo natrafiać na trudności i niepowodzenia. Przed wykonaniem robót geofizycznych za wodą muszą być uprzednio dokładnie przestudiowane warunki geologiczne na danym terenie, by na podstawie stratygrafii i li-

tologii móc poprawnie interpretować poszczególne strefy elektryczne.

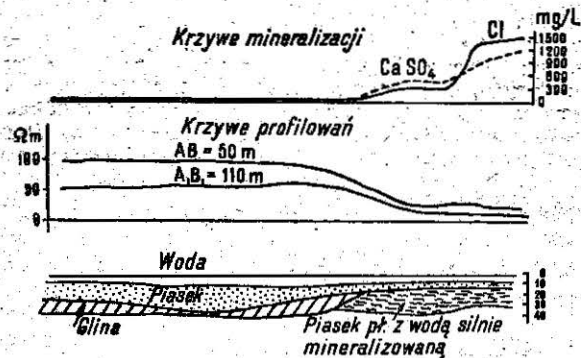
Przy poszukiwaniu wód krążących w szczelinach lub dyslokacjach można się posługiwać metodą potencjałów własnych. Można bowiem oczekiwać, że w razie istnienia potoków wodnych ze szczelin mogą powstać różnice potencjałów w tych miejscach. Anomalie PS (ryc. 16) dają tu pewne wskazówki. Należy dodać, że metoda PS nie pozwala określić głębokości, gdyż jest metodą jakościową w odróżnieniu od metody sondowań, która pozwala określić głębokość i miąższość warstwy zawierającej wodę.

Przed przystąpieniem do badań jest konieczne wykonanie prac doświadczalnych, by zapoznać się z danymi elektrycznymi na otworach, gdzie są zawsze poziomy wodne. Wówczas badanie na terenach nowych jest znacznie skuteczniejsze i prędzej może doprowadzić do pozytywnych wniosków. Odwiercenie kontrolnych otworów wiertniczych jest nieodzowne dla celów poprawnej interpretacji.

10. Określenie ruchu wód wglębnych. Określenie ruchu wód wglębnych odbywa się wyłącznie za pomocą metody elektrycznej. W tym celu wystarczy tylko jeden otwór wiertniczy zamiast kilku, jak tego wymaga metoda barwników. Jeżeli przepuszczać prąd elektryczny przez elektrodę A zapuszczoną do otworu (ryc. 26a) oraz elektrodę B oddaloną około 100 m od otworu, wówczas dokoła otworu wytworzy się pole elektryczne, którego linie ekwipotencjalne będą przebiegały koncentrycznie, mając otwór w środku (ryc. 26b koło 1). Jeżeli jednakże do otworu zapuścić jakiś elektrolit stężony, np. zwykłą sól NaCl, wówczas ta sól spowoduje utworzenie elektrolitu-roztworu w głębi, podwyższając przewodnictwo dla prądu elektrycznego. Ruch podziemny wody spowoduje, że powstający roztwór zostanie najdalej uniesiony w kierunku ruchu wody. Pomiar linii ekwipotencjalnych (ryc. 26c) wykonany po upływie kilku godzin wykaże, że rozkład ich będzie teraz inny i zależny od szybkości ruchu wody (ryc. 26b, koła 2 i 3). W ten sposób można dość łatwo wykonać podziemne obserwacje ruchu wody. Jeżeli zaś jest znana miąższość warstwy nadległej, to łatwo może być w przybliżeniu określony przepływ wody.

11. Określenie mineralizacji wody. Ponieważ przewodnictwo wody zależy od ilości zawartej w niej soli, przeto można dość łatwo wykryć istnienie wód zmineralizowanych przez pomiar oporów elektrycznych. Do tego służy metoda profilowania w układzie A₁AMNB₁ (ryc. 27).

o istnieniu jakiegoś czynnika obniżającego wartości oporów właściwych, którym najprędzej mogą być tylko wody mineralizowane.



Ryc. 27

Wymienione wyżej przykłady są najbardziej typowe. Jednakże bardzo często w toku rozwiązywania zagadnień mogą powstać powikłania w wielkim stopniu utrudniające poprawną interpretację. Rozwiązywanie zagadnień geotechnicznych z natury rzeczy należy odnieść do kategorii trudnych, chociażby dlatego, że badania dotyczą górnych warstw zwykle dotkniętych procesami wietrzenia, rozkładu czy też akumulacji, które nie mają jeszcze stałych parametrów fizycznych i zależą w wysokim stopniu od stanu pogody, ilości opadów itp. Dlatego też nieraz musimy się liczyć z niepowodzeniem, bodaj częściowym. W takich wypadkach szczególnie należy pamiętać, by ilość obserwacji była wystarczająca, ponadto by były one w miarę możliwości różnorodne. Dotyczy to kombinacji metody elektrycznej z sejsmiczną oraz stosowania wierceń. Te same uwagi dotyczą interpretacji wyników. Jeżeli bowiem jest bardzo trudne lub zgoła niemożliwe rozczłonkowanie nadkładu, wówczas musimy się oprzeć na czymś (na jakiejś warstwie) posiadającym swoje stałe parametry. Musimy stworzyć jakąś bazę dla porównania, jakiś poziom odniesienia dla naszych pomiarów i musimy je dokładnie poznać. Co przyjmujemy za tę bazę czy poziom, decyduje doświadczenie i znajomość ogólnych warunków geologicznych.

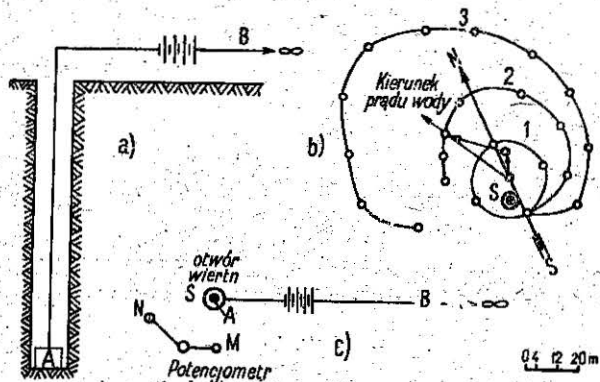
Interpretacja danych sejsmicznych jest stosunkowo łatwa, znacznie trudniejsza jest w odniesieniu do danych elektrycznych. Szczególnie wielkie trudności mogą powstać, gdy otrzymane krzywe profilowań czy sondowań są mało regularne i wykazują szereg różnych powikłań. Takie wypadki są dość częste ze względu na wielką niejednorodność górnych warstw.

Z tymi trudnościami należy się liczyć, bo nie posiadamy jeszcze w tym dziale geofizyki stosowanej doświadczeń. To ujęcie metod geofizycznych jest dla nas zupełnie nowe, aczkolwiek za granicą należy do powszechnie i często używanych. Należy więc i u nas dążyć do stosowania metod geofizycznych do rozwiązywania różnych zagadnień geotechnicznych i hydrogeologicznych z uwagi na kolosalne korzyści, jakie przez zastosowanie tych metod mogą być osiągnięte.

Przed wszystkim dotyczy to znacznego zredukowania robót wiertniczych, które z konieczności będą pozostawione tylko w końcowym stadium dla kontroli wyników. Duże zmniejszenie robót wiertniczych i innych spowoduje znaczne skrócenie czasu badań i obniżenie ogólnych kosztów, gdyż roboty wiertnicze czy inne są znacznie kosztowniejsze niż prace geofizyczne. Szybkość postępu i obniżenie kosztów badań może spowodować dodanie pewnych ilości prac geofizycznych i ich zagęszczenie, czyli może podnieść dokładność tych badań.

Są to momenty, nad którymi trzeba się zastanowić poważnie. Nie należy wątpić, że kalkulacja ekonomiczna oraz względy szybkości i dokładności badań zdecydowanie przeważają szalę na korzyść stosowania metod geofizycznych.

Za granicą istnieją osobne instytucje czy też działy, zajmujące się rozwiązywaniem problemów geotechnicznych. U nas w kraju mamy przedsiębiorstwo geofizyczne, które mogłoby rozwinąć u siebie ten dział prac.



Ryc. 26

Na ryc. tej podano jednocześnie krzywe mineralizacji wykreślone na podstawie laboratoryjnych pomiarów zawartości soli NaCl oraz CaSO₄ w miligramach na litr. Widzimy, że obecność tych soli w wodzie nasycającej piaski powoduje obniżenie oporów elektrycznych z około 60 względnie 100 om m na około 20 — 30 om m.

Należy zwrócić uwagę, że w tej metodzie obniżenie oporów nie zawsze musi być związane wyłącznie z solą, gdyż pojawienie się np. utworów ilastych lub gliniastych również może wywołać ten sam efekt. Tylko znając przekrój geologiczny i opory właściwe w stanie normalnym, tzn. bez solanek, możemy twierdzić