

ZADANIA I EFEKTY ZASTOSOWANIA GEOFIZYKI W GEOLOGII INŻYNIERSKIEJ

ARTYKUŁ NINIEJSZY został opracowany na podstawie referatu wygłoszonego na posiedzeniu Rady Naukowej CUG. W referacie jak i w artykule chodziło mi o naświetlenie problemu zastosowania geofizyki od strony tak zwanego opiekuna geologicznego.

Geolog inicjuje badania geofizyczne, włączając do łańcucha stosowanych metod badawczych mierzących do wyjaśnienia pewnych problemów. Geolog formuluje w tym łańcuchu metod zadania geologiczne. Korzysta on również bezpośrednio z wyników badań geofizycznych. Z tych to względów postaram się podać konfrontację zadań i efektów badań geofizycznych stosowanych dla geologii inżynierskiej. Omówione zostaną więc również prace poprzedzające właściwe badania geofizyczne w terenie oraz po nich następujące.

Jest rzeczą oczywistą, że największą efektywność w stosowaniu badań geofizycznych uzyskuje się na terenach zupełnie nierozpoznanych. Niezmiernie ważną sprawą jest więc problem stopnia rozpoznania terenu. Istnieje dla każdego terenu pewna granica rozpoznania, której metody geofizyczne nie mogą przekroczyć. Granica ta zależy nie tylko od stopnia skomplikowania budowy geologicznej na danym obszarze, lecz również od zastosowanej metody geofizycznej. Przez jednoczesne zastosowanie różnych metod geofizycznych można granicę rozpoznania przesunąć. Do naszych rozważań wkracza tu natychmiast czynnik dodatkowy, jakim jest koszt tych badań. Istnieje znów pewna granica ekonomicznej opłacalności stosowania badań geofizycznych w stosunku do badań bezpośrednich za pomocą otworów wiertniczych. Na niektórych obszarach stopień obecnego rozpoznania geologicznego przekracza granicę zdolności rozpoznania niektórymi metodami geofizycznymi, a na niektórych z góry można być pewnym, że zastosowanie metod geofizycznych w najlepszym przypadku może potwierdzić obecną znajomość budowy geologicznej. Oczywiście, istnieją konkretne przypadki, w których o takie właśnie potwierdzenie nam chodzi. Na problemy te wskazuje dlatego, że nieuwzględnienie ich często prowadzi do rozczarowań i nieporozumień.

Wynika stąd, że podstawowym warunkiem powodzenia badań geofizycznych jest projekt tych prac uwzględniający specyfikę budowy geologicznej, stopień jej obecnego rozpoznania, skalę problemu, etap projektowania i ściśle z tym ostatnim związaną stronę ekonomiczną.

W geologii inżynierskiej znajdują zastosowanie wszystkie metody rozpoznawania geofizycznego w różnym jednak stopniu.

Stosunkowo najrzadziej stosuje się w geologicznych badaniach inżynierskich w Polsce metody grawimetryczne i magnetyczne.

Metody grawimetryczne i magnetyczne były wykorzystane przy pracach o charakterze specjalnym, na przykład przy opracowaniu projektu robót geologicznych dla naturalnych zbiorników gazu. Dla następnego etapu rozpoznania dla założeń inwestycyjnych zaprojektowano już jednak badania sejsmiczne, które miały na celu przesiedlenie zamknięcia struktury brachyantyklinalnej wzdłuż wychodni wapieni górno-jurajskich.

Pomiary grawimetryczne i magnetyczne zostały obecnie zaprojektowane przez „Hydrogeo” w związku z badaniami podłoża budowlanego na trasach tuneli derywacyjnych w kaskadzie Dunajca. Po przeanalizowaniu wszystkich dostępnych materiałów geologicznych okazało się, że w konkretnych warunkach, jakie występują na trasach sztolni, tylko te dwie metody geofizyczne mogą znaleźć uzasadnione zastosowanie.

Celem tych prac jest określenie miejsc i charakteru występowania intruzji andezytowych i pośrednio zlokalizowanie ewentualnych miejsc występowania dwutlenku węgla, co ma istotne znaczenie dla zaprojektowania robót górniczych. Zastosowanie innych metod geofizycznych, ze względu na duże tektoniczne skomplikowanie i litologiczną zmienność serii podmagurskiej, zostało zaniechane.

Na tych przykładach widzimy, że zastosowanie odpowiednich metod należy poprzedzić wnikliwą analizą materiałów geologicznych z uwzględnieniem celu badań, skali problemu, stadium projektowania i zagadnienia opłacalności.

Najbardziej wszechstronne zastosowanie w pracach inżynierskich w Polsce znajdują metody sejsmiczne i elektrooporowe.

Pierwsze badania geofizyczne w Instytucie Geologicznym dla celów budowlanych zostały przeprowadzone w latach 1948 i 1949 w związku z rozbudową kombinatu metalurgicznego w Częstochowie. W latach tych inż. Sobieski wykonał badania elektrooporowe, a inż. Uchman badania sejsmiczne.

Celem badań elektrooporowych było przesiedlenie morfologii stropu wapienia jurajskiego, stwierdzenie przebiegu kuesty jurajskiej oraz uzyskanie ogólnych wniosków dotyczących budowy geologicznej skrasowiałego podłoża budowlanego.

Należy stwierdzić, że badania elektrooporowe wykonane w latach 1948 i 1949 nie mogły być wszechstronnie zinterpretowane geologicznie, gdyż w pracach polowych zastosowano niezupełnie właściwy rozstaw elektrod. W praktyce okazało się, że pierwszy rozstaw elektrod $AB = 20$ m jest zbyt duży, co nie pozwoliło na właściwą interpretację wyników pomiarów i odtworzenie rzeźby stropu wapienia. W ten sposób główny cel, jaki stawiano badaniom elektrooporowym, nie został osiągnięty. Uzyskanie danych dotyczących głębszych partii podłoża budowlanego pochodzących z interpretacji wyników badań elektrooporowych również natrafiło na poważne trudności spowodowane z jednej strony zbyt małą ilością pomiarów w jednym punkcie, z drugiej — wyjątkowo skomplikowaną budową geologiczną podłoża budowlanego. Na wartość oporu na terenie krasowym wpływa duża ilość czynników, m. in.: miąższość piasków pokrywowych i ich wilgotność, miąższość glin zwałowych i zwietrzelinowych ich konsystencja, ukształtowanie stropu wapienia, stopień spękania wapienia, stopień zawilgocenia wapienia, rozwój form krasowych wewnątrz wapienia oraz dyslokacje.

Należy wspomnieć, że badania elektrooporowe wykonane na terenie huty w Częstochowie nie były dostatecznie uzupełniane otworami wiertniczymi, a geofizyka stawała wówczas dopiero pierwsze kroki w tego rodzaju badaniach. Mimo wspomnianych usterek badania te spełniły bardzo ważną rolę metodyczną i były niezbędne jako pierwszy etap wdrażania metody elektrooporowej do inżynierskich badań obszarów krasowych. Wyniki badań elektrooporowych zostały wykorzystane przy ogólnej, geologicznej interpretacji terenu huty i wykazały, że na terenie tym budowa podłoża budowlanego jest wyjątkowo skomplikowana.

Jednocześnie z badaniami elektrooporowymi prowadzono prace sejsmiczne. Ich celem było określenie stropu wapienia.

Już wstępne prace wykazały duże trudności w stosowaniu metody sejsmicznej. Na powierzchni występują suche piaski pokrywowe. W niektórych partiach terenu huty, szczególnie w okolicy koksowni i siłowni, powierzchnia przykryta jest piaskami wydmywnymi. Wymienione warstwy powodowały znaczne tłu-

mienie fal sejsmicznych, tak że zmuszało to wykonawcę do stosowania dużych ładunków wybuchowych. co jednak doprowadziło do zniszczenia struktury górnej warstwy gruntu. Przy powtórzeniu strzału uzyskiwano zupełnie inne wyniki. W otworach strzałowych nie można było ze względu na bardzo silnie rozwinięte procesy krasowe uzyskać przybitki wodnej, wobec czego zrezygnowano ze strzałów w otworach, a wprowadzono strzelanie na powierzchni, stosując przybitki z piasku. Strop wapienia na omawianym terenie występuje na głębokości od 1 do 40 m. Głębokość ta jest bardzo mała w stosunku do strefy zaburzenia struktury podczas powierzchniowego strzelania w tym samym punkcie. Znaczne zagęszczenie punktów strzałowych i geofonów dyktowała bogata rzeźba wapienia w organach krasowych.

Należy podkreślić, że przekroje wykonane na podstawie badań sejsmicznych dają najbardziej dokładny obraz przebiegu stropu wapienia, co jest szczególnie ważne dla geologii inżynierskiej.

Porównując wyniki badań elektrooporowych i sejsmicznych — abstrahując od nieco wadliwego przeprowadzenia tych pierwszych — należy stwierdzić, że metoda refrakcyjna jest bardziej dokładna, przez co dostarcza znacznie więcej materiałów analitycznych. Metoda elektrooporowa jest jednak tańsza i bardziej prosta w wykonaniu. Przeciwwstawiając wady i zalety obu metod, można ustalić, że metoda elektrooporowa jest przedysponowana do badań terenu we wstępnej fazie dokumentowania geologiczno - inżynierskiego, sejsmiczna natomiast powinna być stosowana przy szczegółowym rozpoznaniu terenu. Z wyników badań geofizycznych wykonanych na terenie huty w latach 1948—1951 widać również, że zbyt wielka oszczędność otworów wiertniczych jest oszczędnością fałszywą. Otwory wiertnicze powinny wyjaśnić ośrodki zaburzające, stwierdzone geofizycznie i bieżąco kontrolować stopień dokładności wyników. Przy takim ustaleniu można wyeliminować 50—80% wierceń; większa ich oszczędność odbija się niekorzystnie na wynikach badań.

O ile wyniki badań sejsmicznych były jednoznaczne i zezwalały na stosowanie tej metody na skalę przemysłową na obszarach krasowych, o tyle badania elektrooporowe pozostawiały szereg zagadnień otwartych. Z literatury obcej wynikało, że badania elektrooporowe znajdują szerokie zastosowanie w inżynierskich badaniach obszarów krasowych. W tej sytuacji Zakład Geologii Inżynierskiej IG wystąpił w 1955 r. z pomowną inicjatywą zbadania możliwości zastosowania badań elektrooporowych w konkretnych warunkach krasu polskiego. Ekonomicznie badania te były uzasadnione planowaną rozbudową kombinatu hutniczego w Częstochowie, rozbudową huty w Ostrowcu oraz budową innych obiektów na obszarach krasowych. Chodziło nam o to, aby opracować metody badań geologicznych na obszarach krasowych dla poszczególnych etapów projektowania na użytek służb resortowych.

Opracowania tych zagadnień podjął się w 1955 r. W. Bachan. Celem badań, poza wspomnianymi względami było:

- 1) określenie charakteru występowania zjawisk krasu wewnętrznego i zewnętrznego ze szczególnym uwzględnieniem organów krasowych;
- 2) określenie budowy tektonicznej w związku z intensywnością występowania zjawisk krasowych;
- 3) ustalenie wzajemnego stosunku hydrogeologicznego między źródłami Mirów I i Mirów II;
- 4) określenie perspektyw surowcowych w zakresie piasków formierskich.

Wykonano 8 ciągów sondowań elektrooporowych oraz w szeregu punktów profilowania. Celem badań na ciągach sondowań było stwierdzenie ogólnej budowy geologicznej i tektonicznej obszaru. Powierzchniowe badania geologiczne prowadziły do wniosku, że najintensywniejsze procesy krasowe działały w kredzie i paleogene, a formy krasowe tych cykli występują w górnych poziomach ponad ówczesnym poziomem wód stagnacyjnych, który był o przeszło 100 m wyższy niż obecny poziom wód krasowych.

Należało się spodziewać, że duże formy krasowe cykli starszych będą występować na tych obszarach, na których występuje duża miąższość wapieni. Badania geofizyczne wniosły ten, kapitalny z budowlanego punktu widzenia, potwierdziły przez wskazanie w rejonie Zielonej Góry (8 km na SSE od Częstochowy) strefy uskokuów zrzucających w kierunku południowym kompleks wapieni o kilkaset metrów. Począwszy od Zielonej Góry w kierunku południowym stwierdzono występowanie jaskiń. Wspomnę tu tylko o jaskiniach w Górach Towarnych, Górze Zamkowej w Olstynie (koło Częstochowy), Górach Sokolich i dalej w rejonie Złotego Potoku.

W okolicach huty miąższość wapieni nie przekracza 100 m, występują tu drobne formy krasowe rozwinięte w dobrze tektonicznie przygotowanym wapieniu po ruchach tortońskich. Na terenie tym wykonano 2000 otworów i nie stwierdzono formy krasu wewnętrznego przekraczającej 2 m średnicy. Badania geofizyczne na ciągach sondowań rozwiązały również zagadnienie wzajemnego stosunku margli do wapieni. Wyniki badań geofizycznych zostały potwierdzone wierceniami.

Badaniami na innym ciągu chcieliśmy sprawdzić możliwość zastosowania badań geofizycznych w strefie kuesty i doliny Warty w związku z planowanymi dwoma wariantami budowy zbiorników wodnych w rejonie Olstyna i Poraja. Zachęcające pozytywne wyniki tych badań stały się podstawą do zaplanowania podobnych prac w dolinie Wisły.

Zupełnie odrębny cel został postawiony badaniom elektrooporowym na ciągu nr 8. Hipoteza hydrogeologiczna lokalizowała w tym rejonie horst tektoniczny odgraniczający obszary zasilania źródeł Mirów I eksploatowanych przez miejskie wodociągi od źródeł Mirów II czerpanych przez hutę. Zagadnienie to było istotne na tle sporu obu użytkowników. Wyniki badań na ciągu nr 8 w jednoznaczny sposób wykazały, że w rejonie tym nie ma tak znacznego wyniesienia środkowej jury, która rozgraniczałaby oba obszary zasilania. Nieco później otwór wiertniczy wykonany w tym obszarze potwierdził interpretację geofizyczną.

Z badań geofizycznych wynikało, że utwory zwierzelinowe wypełniające leje krasowe mają niskie oporności z czego można było wnosić, że zwierzelina jest silnie ilasta. Wniosek ten potwierdzony wierceniami wskazywał na brak perspektyw znalezienia na tym obszarze piasków formierskich, które w nomenklaturze geotechnicznej są piaskami gliniastymi lub glinami piaszczystymi. W świetle stwierdzonej budowy geologicznej sprawa jest jasna. W bliskim sąsiedztwie występują margle, które w procesie wietrzenia dostarczają dużej ilości zwierzeliny ilastej.

Wykonane w różnych punktach terenu profilowania elektrooporowe miały informować o intensywności rzeźby stropu wapienia w organach krasowych. Wszystkie wyniki uzyskane tą metodą są pozytywne. Najciekawsze wyniki uzyskano w rejonie Siedlec Mirowskich. Wykonano tu pięć profili elektrooporowych równoległych do głównego ciągu sondowań. Uzyskana dokładność rozpoznania geologicznego odpowiada założeniom inwestycyjnym, co zostało potwierdzone 3 otworami wiertniczymi. Stanowi to przykład najtańszego wariantu rozpoznania na obszarze krasowym.

Wyniki badań elektrooporowych wykonanych w rejonie Częstochowy w 1955 r. pod kierunkiem W. Bachana należy ocenić pozytywnie. W ten sposób Instytut Geologiczny opracował metodę rozpoznania geologicznego na obszarach krasowych na użytek służb resortowych.

Następnym etapem badań nad możliwością i celowością zastosowania badań geofizycznych w pracach inżynierskich i hydrogeologicznych jest zastosowanie tych metod w rejonach projektowanych stopni wodnych na Wiśle. Zagadnienia geologiczne w projektowaniu obiektów hydrogeologicznych są niesłychanie ważne. Rzutują one w bezpośredni sposób nie tylko na ekonomię rozwiązań technicznych ale również na bezpieczeństwo i koszty eksploatacji tych obiektów. Mając powyższe na względzie Instytut Geologiczny

podjął inicjatywę opracowania najbardziej celowych i najbardziej racjonalnych metod badawczych w zależności od warunków geologicznych. Należy w tym miejscu zaznaczyć, że nie stawiano sobie za cel redukcji i tak zbyt niskich funduszy przeznaczonych na geologiczne badania inżynierskie, lecz znaczne rozszerzenie badań tymi samymi kosztami. Cel swój chcieliśmy osiągnąć przez wprowadzenie kompleksowych badań terenowych. Jedną z podstawowych metod badań kompleksowych jest metoda rozpoznania geofizycznego. Chodziło o to, aby zorientować się w możliwościach zastosowania klasycznych metod geofizycznych dla rozpoznania budowy przyszłego podłoża zbiornika wodnego w konkretnych przekrojach dolin.

Zagadnienia te są o tyle jeszcze ważne, że prawie wszystkie dotychczas zrealizowane zbiorniki wodne w Polsce wykazują usterki, które powstały wskutek braku dostatecznego rozpoznania geologicznego. Na przykład na stopniu wodnym w Łęczanach występują trudności eksploatacyjne wynikłe z pośpiechu i braku dostatecznego rozpoznania hydrogeologicznego. Zbiornik wodny w Brzegu powoduje zakłócenia w gospodarce rolnej wskutek podtopienia obszarów z nim sąsiadujących.

Przy rozpatrywaniu zagadnień hydrotechnicznych należy również pamiętać, że decyzje dotyczące ogólnych kierunków rozwiązania zapadają na etapie planowania, kiedy rozpoznanie geologiczne jest dotychczas niedostateczne. Tymczasem dla podjęcia decyzji o przystąpieniu do realizacji projektu inwestycji wodnej na etapie założeń inwestycyjnych powinno się wymagać przedłożenia koncepcji zagospodarowania opartej na dostatecznym rozpoznaniu geologicznym. Musi to być warunek wstępny do podjęcia właściwej i prawidłowej decyzji.

Biorąc powyższe za podstawę przy metodycznych i podstawowych badaniach dla budownictwa wodnego, jako punkt wyjściowy przyjęto następujące zasady:

1. Badania metodyczne zostaną skoncentrowane w strefach projektowanych stopni wodnych, tak aby wyniki badań mogły być bezpośrednio wykorzystane przez jednostki projektujące budowle.
2. Badania podstawowe zostaną zlokalizowane w rejonach, w których projektowanie inwestycji przewiduje się nie wcześniej niż za lat 5 (chodzi o swobodne w czasie eksperymentowanie metodami).
3. Badania podstawowe zostaną zlokalizowane na terenach pozbawionych opracowań geologiczno-inżynierskich.
4. Do badań zostaną zastosowane wszystkie nowoczesne metody tak badań terenowych, laboratoryjnych, kameralnych, jak i dotyczące graficznego zestawienia załączników.

Na marginesie wyjaśniam, że IG wykonał już dwa wzorowe opracowania dla stopni wodnych w Tczewie i Kwidzynie, dwa są w ostatecznym opracowaniu i dwa dalsze realizowane w 1962 r.

O ekonomicznym znaczeniu badań geologicznych informuje fakt, że na dolną Wisłę przypada 30% zasobów energetycznych całej Polski. (Zainstalowana moc 890 MW, średnia roczna produkcja milionów KWh 3978).

W świetle powyższego, krótkiego omówienia aspektu gospodarczego zagadnienia, staje się jasne, że szczególnie duża rola przypada, obok metod bazujących na zdjęciach lotniczych, badaniom geofizycznym.

Badania geofizyczne zostały zastosowane w pierwszej kolejności w rejonach stopni wodnych Tczew i Kwidzyna. W celu określenia optymalnych warunków wykorzystania metod geofizycznych zastosowano równolegle metodę elektrooporową i sejsmiczną refrakcyjną. Obie te metody śledzą w podłożu budowlanym inne zjawiska fizyczne i przeciwstawienie wyników uzyskanych z zastosowania różnych metod zezwala na bardziej precyzyjną interpretację. Dążenie do kompleksowego zastosowania badań geofizycznych obserwuje się coraz częściej w literaturze obcej.

Podstawowym problemem geologiczno-inżynierskim budownictwa wodnego jest zagadnienie ewentualnej

ucieczki wody i związane z tym zagadnieniem występowanie pierwszego poziomu gruntów nieprzepuszczalnych a w szczególności głębokich dolin wypełnionych żwirami. Dla właściwego zlokalizowania osi stopnia i racjonalnego zagospodarowania doliny rozmieszczenie dolin kopalnych musi być rozeznane. Prześledzenie głębokich zagłębień w sposób ciągły przy pomocy wierceń jest niezwykle kosztowne. Strona ekonomiczna jest więc podstawowym uzasadnieniem celowości zastosowania metod geofizycznych.

Nawiązując do budowy geologicznej badaniom geofizycznym postawiono do rozwiązania następujące zadania:

— określenie charakteru i sposobu występowania osadów rzecznych ze szczególnym uwzględnieniem występowania głębokich dolin, a więc:

— określenie miąższości namulów oraz podścielających je piasków ze żwirami; określenie głębokości występowania pierwszego poziomu nieprzepuszczalnego; określenie głębokości występowania stropu kredy.

W ten sposób sformułowane zadania są bardzo duże. W literaturze spotykamy się z rozwiązaniami na ogół znacznie prostszymi. Na przykład wg „Geologii inżynierskiej” I. W. Popowa badania geofizyczne mają na celu określenie wyłącznie kształtu łóżyska skalnego doliny. Szczegóły natomiast dotyczące sposobu i charakteru występowania osadów dolinnych zostają rozwiązane w wierceniach.

Należy wyjaśnić, że tak wysokie wymagania stawialiśmy celowo. Chcieliśmy się zorientować w granicach możliwości stosowania poszczególnych metod w konkretnym zastosowaniu.

Badania geofizyczne stosowane były na omawianych terenach w dwu etapach. Pozytywne wyniki zwiadu dokonano jesienią 1958 r. uzasadniały celowość zastosowania badań geofizycznych na większą skalę. Badaniami sejsmicznymi kierował mgr A. Pepel a elektrooporowymi mgr K. Miśradzka i mgr R. Białostocki z PPG. Kompleksowej analizy sprawozdań podjął się mgr P. Puczek z PPG.

Na podstawie wyników badań geofizycznych były lokalizowane wiercenia. Stwierdzono występowanie szeregu głębokich dolin. Należy wyjaśnić, że bez zastosowania prac geofizycznych zagłębienia te uszłyby uwadze. Stosując badania geofizyczne jesteśmy przekonani, że między otworami wiertniczymi nie występują głębsze wcięcia erozyjne.

W obecnej chwili nie jest znany bieg tych zagłębień i nie jest znana wielkość wpływu tych form na kształtowanie się reżimu hydrogeologicznego po spiętrzeniu. Dla wyjaśnienia omawianych zagadnień planujemy w 1962 r. wykonanie badań geofizycznych dla zlokalizowania przebiegu rynien oraz założenie piezometrów dla stwierdzenia wielkości i szybkości zmian w zwierciadle wody gruntowej w stosunku do zmian w Wiśle.

Wyniki badań geofizycznych informują nas dodatkowo o kształtowaniu się parametrów geotechnicznych. Na wielkość oporności poszczególnych warstw wpływa wilgotność gruntów, od której bezpośrednio zależy konsystencja. Z oporności możemy więc pośrednio wnosić o wielkości stopnia plastyczności, a ze zmienności oporności w ramach jednej warstwy o zmienności konsystencji. Również na podstawie badań sejsmicznych możemy wyciągnąć wnioski dotyczące cech sprężystych środowiska. Czasem możemy określić moduł sprężystości i ścisłości. Dane te są szczególnie cenne w pierwszych etapach projektowania, na które nie powinniśmy angażować większych kwot pieniężnych ze względu na możliwość przesunięcia osi, z drugiej jednak strony wyniki badań powinny usprawiedliwiać i limitować wybór optymalnych warunków lokalizacji szczegółowej.

Metoda sejsmiczna zastosowana w dolinie Wisły wykazuje tę wadę, że wymaga dość gęstych punktów strzałowych przy użyciu stosunkowo dużych ładunków wybuchowych. W pracach sejsmicznych ulega zniszczeniu gleba, której rekonstrukcja szczególnie na terenie Żuław może trwać kilkanaście lat.

Nie we wszystkich jednak rejonach efektywność badań geofizycznych jest jednakowa. Dobre wyniki wykazały badania w rejonie Tczewa. W okolicach Kwidzyna wyniki były już słabe. Negatywne wyniki zanotowano w rejonie projektowanego stopnia wodnego w Chełmnie. Ze względu na przewidywane małe kontrasty zaplanowano w pierwszym etapie nieznaną ilość prac geofizycznych. Przewidywania zostały w terenie potwierdzone. Dalszych prac nie podjęto. Mała kontrastowość wynikała z budowy geologicznej. W okolicach Chełmna pod piaszczysto-zwirowymi aluwiami występuje piaszczysto-pyłasty miocen. W trakcie badań okazało się dodatkowo, że w aluwkach znajduje się kilka drobnych wkładek gliniastych. W tej sytuacji średnia oporność aluwów była zbliżona do oporności utworów mioceńskich.

Podsumowując, należy stwierdzić, że zastosowane badania geofizyczne dają przybliżone informacje o głębokości występowania głównych z geotechnicznego punktu widzenia poziomów gruntów i umożliwiają wychwycenie głębokich dolin i przerw w występowaniu poziomu glin zwałowych. Zezwalają również wnieść o zmienności cech geotechnicznych. Wyniki są ogólnie pozytywne. Stwierdzono celowość zastosowania badań geofizycznych dla fazy założeń projektowych. Bardziej szczegółowe badania poparte większą ilością wierceń są uzasadnione również przy rozpoznaniu podłoża budowlanego dla projektu wstępnego. Główny nacisk na tym etapie należy położyć jednak na wierceniach.

W następnych latach projektuje się opracowanie metody geofizycznej, której zastosowanie zezwoliłoby na prognozowanie ucieczki wody pod zaporami bocznymi. Dotychczas zagadnienie to było rozwiązywane wierceniami w rozstawie do 5 lub nawet 10 km. Odległości te nie zezwalają nawet na przybliżoną interpretację geologiczną. Opracowanie taniej i szybkiej metody miałyby duże znaczenie. Badania wstępne zostały przeprowadzone metodą potencjałów własnych w rejonie Solca Kujawskiego. Pierwsze wyniki nie zezwoliły jednak na jednoznaczna interpretację. Badania nad tym zagadnieniem będą kontynuowane w rejonie Dębego przed i bezpośrednio po napełnieniu zbiornika.

Wróćmy jeszcze raz do ekonomicznej strony zagadnienia. Dla uzyskania identycznego stopnia rozpoznania w rejonach Tczewa i Kwidzyna wyłącznie za pomocą wierceń należałoby zwiercić przekroje w odległościach 50 m. Dla odcinka przebadanego geofizycznie w 1959 r. o długości 25 km wynosi to 500 wierceń. Przyjmując, że po szczegółowej analizie wyników kolejno wykonanych wierceń uda się wyeliminować 20% otworów, do wykonania pozostanie 400. Jako średnią wymaganą głębokość dla Tczewa i Kwidzyna należy przyjąć 40 m. Ogółem należałoby odwiercić 400 otworów po 40 m. Daje to ogólną sumę

16 000 m. Z praktyki wynika, że średni koszt jednego metra wynosi 800 zł. Ogólny koszt tych wierceń wynosiłby: $16\ 000\ m \times 800\ zł = 12\ 800\ 000\ zł$.

Z drugiej strony faktyczne koszty badań i wierceń kontrolnych wykonanych na tym terenie kształtowały się następująco. Koszt badań sejsmicznych na odcinku 25 km długości wynosił 791 000 zł, a badań elektrooporowych 559 000 zł (obecnie są już znacznie tańsze). Na przekrojach w Kwidzynie i Tczewie wykonano łącznie 22 otwory kontrolne o 996 m, co kosztuje 796 000 zł. Tak więc łączny koszt rozpoznania geologicznego na obu problemach wynosił 2 146 800 zł. Wynika stąd, że ogólne oszczędności dla tych dwu problemów wynoszą: $12\ 800\ 000 - 2\ 146\ 800 = 10\ 653\ 200\ zł$.

Należy dodatkowo wyjaśnić, że:

1) faktyczna dokładność, wykonanych w 1959 r. w rejonie Tczewa i Kwidzyna badań jest większa, niż to przyjęto do obliczeń.

2) koszt badań geofizycznych wykonanych przez PPG jest bardzo wysoki. Obecnie koszty tych badań są o 40% niższe, choć jeszcze bardzo wysokie. Koszt pierwszych, doświadczalnych badań jest zawsze wyższy od badań następnych.

3) oszczędności obliczono tylko dla pierwszego etapu rozpoznania geologicznego. Dla następnych etapów rozpoznania geologiczno-inżynierskiego oszczędności powinny być znacznie większe.

4) do obliczeń nie włączono otworów głębokich dochodzących do kredy, która została przesiedzona badaniami geofizycznymi.

5) wobec wykazanej badaniami geofizycznymi dużej jednorodności podłoża budowlanego koszt badań laboratoryjnych z zakresu mechaniki gruntów zostanie w przyszłości wydatnie ograniczony.

6) ze względu na orientacyjny charakter do obliczeń nie włączono przekroju pod wałami przeciwpowodziowymi, na których wykonano badania elektrooporowe.

W rozważaniach tego rodzaju bardzo ważny jest stosunek kosztów badań geologicznych do kosztów inwestycji. Koszt badań geologiczno-inżynierskich dla budownictwa wodnego kształtuje się w ZSRR w granicach 5%. w USA 10%. Znane są przypadki (Algier), gdzie koszt ten sięgał 50% kosztów inwestycji. Koszt jednego stopnia wodnego na Wiśle wynosi ok. 1,5 mld zł. Tak więc koszt badań geofizycznych łącznie z otworami kontrolnymi w rejonie Tczewa i Kwidzyna wynosi ok. 0,07%. Uważam, że cyfry powyższe komentarzy nie wymagają.

Tak wygląda w zarysie strona ekonomiczna zagadnienia. Rozpatrując ten problem odnośnie do Wisły należy mieć na uwadze fakt, że pojęte uprzednio korzyści finansowe mnożą się przez 35 stopni kaskady Wisły i Bugu. Celowość badań metodycznych jest więc szczególnie uzasadniona.