

JACEK SZYMANKO

Uniwersytet Warszawski

W SPRAWIE METOD PROJEKTOWANIA I REALIZACJI BADAŃ HYDROGEOLOGICZNYCH PRZY USTALANIU ZASOBÓW WÓD PODZIEMNYCH

UKD 556.332.2/.4.02/.04:556.332.042(438)''1960/1970''

METODY GEOFIZYCZNE W BADANIACH HYDROGEOLOGICZNYCH

W latach 60-tych dokonano w Polsce znacznego postępu w metodyce badań hydrogeologicznych stosowanych przy poszukiwaniu i ustalaniu zasobów wód podziemnych. Jednym z przejawów tego postępu było masowe wykorzystanie metod geofizycznych przy poszukiwaniu wód podziemnych oraz rozpoczęcie akcji wprowadzania bardziej skutecznych metod obliczeń zasobów wód podziemnych opartych o teorię Theisa-Jacoba, tzw. filtracji nieustalonej. W artykule dokonano krótkiego przeglądu tych metod oraz przedstawiono ogólne wnioski, dotyczące organizacji hydrogeologicznych prac poszukiwawczych i rozpoznawczych, jakie nasuwają się w związku z ich stosowaniem.

Metody te w latach 60-tych stosowano masowo, co wyraziło się liczbą ponad 550 rozwiązanych problemów hydrogeologicznych z zastosowaniem metod geofizycznych. Największa ilość (ok. 450) problemów związana była z wyznaczaniem lokalizacji ujęć wód podziemnych. W przeważającej większości przypadków stosowano do rozwiązania tego zadania **metodę elektrooporową**. Największe doświadczenia zebrano z zakresu metodyki poszukiwań prowadzonych w utworach czwartorzędowych, zalegających na nieprzepuszczalnym podłożu niskooporowym. Nieco mniej do-

świadczeń zebrano dla przypadków poszukiwań wód podziemnych w utworach szczelinowych. Z przeanalizowanych wyników badań metodą elektrooporową wynika (9), że skuteczność tej metody w zakresie prawidłowej lokalizacji ujęcia punktowego w utworach czwartorzędowych zalegających na podłożu niekooporowym mieści się w granicach 86—92%, a średni błąd określenia miąższości utworów czwartorzędowych nie jest większy niż $\pm 15,7\%$. Średni koszt wykonania badań dla lokalizacji ujęcia punktowego wynosił ok. 40—70 tys. zł; średni koszt wykonania badań dla lokalizacji dużego ujęcia wód podziemnych wynosił ok. 150—400 tys. zł.

Drugim ważnym zastosowaniem metod geofizycznych w badaniach hydrogeologicznych były badania prowadzone w otworach wiertniczych. Na pierwszy plan wysuwają się tu geofizyczne metody określenia kierunku przepływu wód podziemnych oraz badania karotażowe. Pomiar kierunku przepływu wód podziemnych w pojedynczym otworze hydrogeologicznym wykonuje się obecnie dwoma metodami geofizycznymi: **metodą ciała naładowanego** przy pomiarach płytkich nieprzekraczających ok. 30 m oraz **metodą radiometryczną**, którą stosowano najczęściej do głębokości 60—80 m ppt. Obie te metody były stosowane w praktyce i wyniki ich nie budzą wątpliwości. Pomiar metody ciała naładowanego są tanie i wykonywać je mogą wszystkie te zespoły, które są wyposażone w sprzęt elektrooporowy. Pomiar metody radiometryczną wymagają specjalnego sprzętu i przeszkolonego personelu, a pewnym ich niedostatkiem są kłopoty z dystrybucją izotopu promieniotwórczego oraz względnie wysoki koszt badań. Obecnie czynione są próby zmodernizowania tej metody przez stosowanie innych niż promieniotwórcze znaczników wód podziemnych.

Metody karotażowe znalazły zastosowanie przede wszystkim w badaniu otworów hydrogeologicznych wierconych systemem obrotowym, jako metody pozwalające na rozpoziomowanie przewierconego profilu oraz lokalizację w nich warstw wodonośnych. W latach 60-tych wykonywano wielokrotnie próby stosowania tych metod do badań otworów hydrogeologicznych, także przewiercających profil utworów czwartorzędowych. Próby te wykazały pełną ich przydatność, a dodatkowym jeszcze uzupełnieniem zakresu prospekcji metod karotażowych są wyprodukowane w ostatnich latach próbki stosowane do bocznego opróbowania ścian otworu. Niestety do chwili obecnej metody karotażowe nie są stosowane we wszystkich otworach hydrogeologicznych wierconych systemem obrotowym. Kończy się to najczęściej przewiercaniem płytko zalegających poziomów wodonośnych i zbędnym głębieniem otworów.

Obok wymienionych metod geofizycznych, które w prospekcji hydrogeologicznej posiadają znaczenie podstawowe i których technologią jest obecnie w pełni opanowana, stosowano w Polsce także inne rodzaje metod geofizycznych takie, jak: z metod geoelektrycznych — metoda potencjałów naturalnych (PS), polaryzacji wzbudzonej (PW), indukcyjna, ponadto metoda sejsmiczna (refrakcja), magnetyczna, metody termiczne oraz metody geofizyki jądrowej (izotopowe znaczniki wód podziemnych, metody określania wieku wód podziemnych oraz zdjęcia emancyjne). Jak wykazały doświadczenia metody te przynoszą rozpoznanie ograniczone i znajdują zastosowanie w szczególnych przypadkach prowadzenia prospekcji hydrogeologicznej jako jeden ze składników kompleksu badawczego metod geofizycznych.

Sumując można stwierdzić, że przy obecnym stanie doświadczeń, zwłaszcza przy badaniach hydrogeologicznych prowadzonych w utworach czwartorzędowych, stosowanie metod geofizycznych przynosi:

- a — rozwiązanie, w większości przypadków, problemu wyboru najkorzystniejszej lokalizacji przyszłego ujęcia wód podziemnych;
- b — rozwiązanie problemu określenia kierunku przepływu wód podziemnych bez konieczności ucie-

kania się do wykonywania kosztownych węzłów hydrogeologicznych;

- c — racjonalne wykorzystanie efektów ekonomicznych, jakie stwarza stosowanie techniki obrotowej przy wykonywaniu wierceń hydrogeologicznych.

Te możliwości prospekcyjne rzutują w poważnym stopniu na sposób organizacji hydrogeologicznych badań poszukiwawczych i rozpoznawczych, o czym będzie mowa we wnioskach.

METODY OBLICZANIA ZASOBÓW WÓD PODZIEMNYCH NA PODSTAWIE WYNIKÓW PRÓBNYCH POMPOWAŃ HYDROGEOLOGICZNYCH OTWORÓW ROZPOZNAWCZYCH

W Polsce przez długie lata obliczanie zasobów wód podziemnych wykonywano metodami wywodzącymi się z klasycznej teorii hydrodynamicznej Darcy-Dupuita-Forchheimera, w których podstawowym kryterium oceny zasobów ujętej warstwy wodonośnej jest ustabilizowanie się depresji przy pompowaniu ze stałym wydatkiem. Wady i zalety tych metod są powszechnie znane. Celowe jest jednak wskazanie najważniejszych wad. I tak:

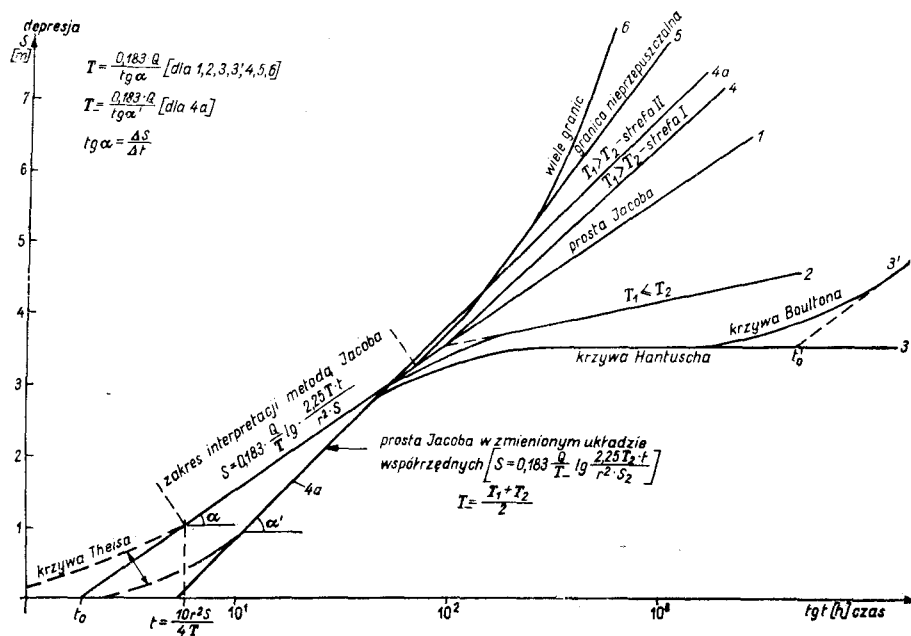
— pompowanie węzłów hydrogeologicznych — nie mówiąc już o pompowaniu pojedynczych otworów — w warunkach stabilizacji depresji, w zasadzie nie pozwala wnioskować dalej o zasobności ujmowanej warstwy, niż to, że gdy depresja stabilizuje się, to warstwa jest zasobna co najmniej w wielkości używanego wydatku pompowania lub, gdy depresja nie stabilizuje się to przekroczono eksploatacyjne zasoby warstwy;

— przy stosowaniu metod klasycznych istnieje w zasadzie nierozwiązywalny problem relacji pomiędzy tzw. zasobami dynamicznymi i eksploatacyjnymi, który w praktyce podważa sensowność ustalania tych pierwszych;

— założenia fizyczne i uproszczenia metod klasycznych co do charakteru warstwy wodonośnej i przebiegu procesu filtracji przy próbnym pompowaniu, zwykle odległe od warunków rzeczywistych powodują znaczne rozbieżności oceny wielkości parametrów hydrogeologicznych przy stosowaniu różnych metod obliczeń, co podważa niekiedy wiarygodność tych ocen.

Te oraz inne nie wymienione wady metod klasycznych wpływają na organizację hydrogeologicznych prac badawczych, której cechą podstawową — przy prowadzeniu prospekcji szczególnie skomplikowanych przestrzennie utworów czwartorzędowych — jest dążenie do możliwie najdokładniejszego rozwiercenia badanego terenu oraz wydłużania czasów próbnych pompoowań, głównie zespołowych.

Opracowana w latach 30-tych przez Theisa i rozwinięta w latach 40 i 50-tych przez Jacoba, Hantuschę, Boultona, Waltona, de Więsta i innych teoria tzw. filtracji nieustalanej daje możliwości znacznie szerszego analizowania wyników próbných pompoowań i przyczynia się do znacznej racjonalizacji i uproszczenia hydrogeologicznych prac rozpoznawczych. W Polsce teoria ta była anonsowana w 1962 r. przez Z. Wilka (10), a następnie wielokrotnie przez różnych autorów i referentów. Niestety długo nie znajdowała ona zastosowania w praktycznej działalności naszych przedsiębiorstw hydrogeologicznych. W połowie lat 60-tych Przedsiębiorstwo Hydrogeologiczne w Poznaniu podjęło wysiłek adaptacji do praktycznej działalności metod analizy próbných pompoowań, wywodzących się z teorii Theisa-Jacoba. Przedsiębiorstwo to wykonało szereg pompoowań w warunkach filtracji nieustalanej i swoje doświadczenia przekazało w kilku publikacjach (6, 8). T. Macioszczyk (7) przedstawił metody wykonywania obliczeń hydrogeologicznych na podstawie wyników próbných pompoowań z uwzględnieniem także metod wywodzących się z teorii Theisa-Jacoba. Prace te, niezmiernie cenne i wytyczające kierunki zmian dotychczasowej



Wykresy zmian depresji w piezometrze w układzie współrzędnych pojedynczo logarytmicznym.

praktyki obliczania zasobów przez nasze przedsiębiorstwa hydrogeologiczne stanowią jednak tylko początek wdrażania tych metod i wymagają dalszych uzupełnień.

W najogólniejszym ujęciu głównymi zaletami metod analizy wyników próbnych pompowań wywodzących się z teorii Theisa-Jacoba są:

- znaczne przybliżenie założeń fizycznych tych metod do warunków rzeczywistych, w jakich prowadzone jest próbnie pompowanie; konsekwencją jest zwiększenie dokładności określania głównego parametru hydrogeologicznego warstwy wodonośnej, jakim jest przewodnictwo wodne T i możliwość określenia dodatkowego jej parametru, jakim jest współczynnik zasobności sprężystej S lub odsączalności oraz określenie współczynnika przesączania B ;

- uzyskanie możliwości wnioskowania o warunkach i sposobie zasilania oraz zmienności ujmowanej jednostki hydrogeologicznej;

- uzyskanie możliwości prognozowania przebiegu eksploatacji danego ujęcia, która stanowi podstawę do określenia jego rzeczywistych zasobów eksploatacyjnych.

Większość obecnie stosowanych w praktyce metod analizy wyników pompowań prowadzonych w reżimie nieustalonym polega na porównywaniu otrzymanych wykresów $s = f(t)$, gdzie: s — depresja obserwowana w otworze odległym o r od otworu pompowanego; t — czas, z wykresami wzorcowymi, tzw. funkcji charakterystycznej W zależnej od parametru $u' = \frac{4T \cdot t}{r^2 S}$

i innych uwzględniających geometrię układu pomiarowego oraz sposób zasilania i zmienność budowy jednostki hydrogeologicznej.

We wzorze przyjęto następujące oznaczenia:

- r — odległość otworu obserwacyjnego od pompowanego;
- t — czas;
- T — współczynnik przewodnictwa wodnego;
- S — współczynnik zasobności sprężystej.

O warunkach zasilania i zmienności ujętej jednostki hydrogeologicznej wnioskuje się przeprowadzając analizę zgodności wykresów empirycznych z wzorcowymi, określonymi metodami analitycznymi dla różnych modeli jednostki hydrogeologicznej. Parametry: T , S i inne określa się albo metodą punktu arbitralnego, która daje wyniki najdokładniejsze, albo

innymi metodami graficznymi lub analitycznymi, dającymi przeważnie wyniki przybliżone. Wykresy wzorcowe opracowane zostały dotychczas dla trzech podstawowych modeli jednostki hydrogeologicznej i różnią się one postacią funkcji charakterystycznej. Są to następujące modele:

A. Model Theisa. Warstwa wodonośna izotropowa, o zwierciadle napiętym, nie zasilana, nieskończenie rozprzestrzeniona i o stałej miąższości. Modelowi temu odpowiada wykres wzorcowy Theisa, krzywa Theisa — $W(u')$.

B. Model Hantuscha. Warstwa wodonośna izotropowa o zwierciadle napiętym, zasilana od góry lub dołu poprzez warstwę półprzepuszczalną, nieskończenie rozprzestrzeniona, o stałej miąższości; zasoby warstwy zasilającej nieskończenie duże. Modelowi temu odpowiada zbiór wykresów wzorcowych Hantuscha, przedstawiających rodzinę funkcji $W[u'; r/B]$ dla różnych wartości r/B ; gdzie: r — odległość otworu obserwacyjnego od pompowanego; B — współczynnik przesączania określony następującą zależnością:

$$B = \sqrt{\frac{T \cdot b'}{K}}$$

gdzie:

- b' — miąższość warstwy półprzepuszczalnej;
- k' — współczynnik filtracji warstwy półprzepuszczalnej;
- T — przewodnictwo wodne warstwy wodonośnej.

C. Model Boultona. Założenia są identyczne jak w przypadku modelu Hantuscha. Różnica polega na tym, że zakłada się istnienie ograniczenia zasobów warstwy zasilającej, które wyczerpują się po pewnym czasie. Krzywe wzorcowe są podobne do krzywych Hantuscha, z tym że po pewnym czasie depresja w otworach obserwacyjnych przestaje się stabilizować i prawa gałąź krzywej przechodzi w krzywą Theisa (5).

Podane wyżej 3 podstawowe modele odzwierciedlają w zasadzie tylko warunki, z jakimi spotykamy się przy analizowaniu rozległych jednostek hydrogeologicznych typu „basenów wód podziemnych”. W Polsce najczęściej ustala się zasoby jednostek mniejszych, które najogólniej rzecz ujmując charakteryzuje duża zmienność przestrzenna parametru T oraz skomplikowane warunki zasilania. W czasie np. pompowań wód podziemnych z utworów czwartorzędowych na ogół przechwytyje się zarówno część wód tworzących

tw. zasoby sprężyste, część wód z naturalnego ich strumienia, wody przesączające się z sąsiednich jednostek hydrogeologicznych, a niekiedy także wody powierzchniowe. Ta właśnie złożoność warunków zasilania jest główną przyczyną praktycznego ograniczenia znaczenia tzw. zasobów dynamicznych, które zgodnie z definicją uwzględniają tylko naturalny strumień wód podziemnych. Rozbieżności pomiędzy warunkami rzeczywistymi a założeniami modeli prostych determinują konieczność dalszego opracowania metod wywodzących się z teorii Theisa-Jacoba i zestawienia albumu krzywych wzorcowych, uwzględniającego najczęściej spotykane w Polsce warunki zasilania i komplikacje jednostek hydrogeologicznych. Tylko bowiem odpowiednio duży zbiór krzywych wzorcowych zapewni dokładną interpretację wykresów $s = f(t)$ niewspółkształtnych z krzywą Theisa, jakie najczęściej otrzymuje się prowadząc prospekcje w skomplikowanych układach hydrogeologicznych.

Dotychczas czynione były próby opracowania krzywych wzorcowych przy założeniu komplikacji modelu Theisa. Podstawą do opracowania tych krzywych jest znana zasada odbić zwierciadlanych. J. Forkasiewicz (5) opracowała krzywe wzorcowe dla przypadku istnienia jednej granicy zaburzającej — nieprzepuszczalnej i zasilającej, znajdującej się w różnych odległościach od otworu pompowanego. F. M. Boczewer (1) i T. Macioszczyk (7) podali wzory, pozwalające na obliczenie takich krzywych dla przypadków istnienia wielu granic. Niestety nie podali oni samych krzywych. W instrukcji PH Poznań (8) przedstawiono szereg empirycznych krzywych $s = \lg f(t)$, odzwierciedlających różne modele jednostki hydrogeologicznej. Krzywe te nie zostały jednak tam podbudowane metodami analitycznymi i tym samym posiadają one tylko znaczenie orientacyjne.

Na ryc. przedstawiono szereg krzywych $s = \lg f(t)$ obliczonych teoretycznie dla stałych wartości T , S i r przy założeniu różnych modeli jednostki hydrogeologicznej i różnych warunków jej zasilania. Punktem odniesienia interpretacji przedstawionych wykresów na ryc. jest model Theisa, który odzwierciedla krzywa (1) — krzywa Theisa aproksymowana prosta Jacoba. Poniżej tej krzywej przebiegają krzywe odzwierciedlające modele i warunki charakteryzujące „większą zasobność”. Krzywa (2) ilustruje pojawianie się granicy, poza którą znajdują się twory wodonośne o podwyższonym przewodnictwie wodnym $T_1 < T_2$. Krzywa (3) odzwierciedla warunki modelu Hantuscha — depresja stabilizuje się.

Podobny, ale nie identyczny przebieg posiadają krzywe odzwierciedlające istnienie granicy zasilania oraz istnienie naturalnego strumienia wód podziemnych. Krzywa (3') odzwierciedla warunki modelu Boultona — zasilenie zakończyło się po pewnym czasie. Powyżej krzywej Theisa-Jacoba przebiegają krzywe odzwierciedlające modele i warunki charakteryzujące się mniejszą „zasobnością”. Krzywa (4) odzwierciedla pojawienie się granicy, poza którą znajdują się twory o mniejszym przewodnictwie wodnym $T_1 > T_2$ w przypadku, gdy piezometr umieszczony jest przed tą granicą. Krzywa (4a) przedstawia te same warunki w przypadku, gdy piezometr umieszczony jest poza granicą — w strefie o mniejszym przewodnictwie wodnym; krzywa (5) ilustruje pojawienie się granicy nieprzepuszczalnej; krzywa (6) odzwierciedla model ograniczony wieloma granicami nieprzepuszczalnymi.

Jak z tego wynika poszczególne krzywe różnią się w sposób istotny zależnie od przyjętego modelu i stąd dysponując odpowiednim zbiorem krzywych wzorcowych oraz dodatkowymi danymi takimi np. jakie przyniosą wyniki badań geofizycznych można przez porównanie krzywej empirycznej z krzywymi wzorcowymi wstępnie zidentyfikować rodzaj komplikacji modelu prostego, z jakim mamy w konkretnym przypadku do czynienia, a więc uzyskać informacje o rodzaju i przestrzennej zmienności ujmowanej jednostki hydrogeologicznej i o sposobie jej zasilania.

Osobnym zagadnieniem jest ilościowe ujęcie problemu komplikacji „tektonicznej” modelu prostego. Najogólniej rzecz ujmując można stwierdzić, że w pierwszej fazie pompowania, gdy piezometr znajduje się przed przeszkodą krzywa empiryczna $s = f(t)$ jest współkształtna z krzywą Theisa, a pojawienie się danej komplikacji modelu prostego Theisa (granicy) rejestrowane jest po pewnym czasie w postaci „odejścia” krzywej empirycznej od krzywej Theisa. To zjawisko jest powodowane stopniowym rozwojem lejka depresyjnego, który dopiero po pewnym czasie „osiąga” daną przeszkodę. Dysponując odpowiednimi krzywymi wzorcowymi można określić czas, po jakim nastąpi reakcja na krzywej empirycznej danego elementu zaburzającego — jeśli znamy jego odległość od otworu pompowanego. Można też określić tę odległość, gdy pompowanie jest prowadzone w dostatecznie długim czasie. Jest oczywiste, że ten sposób analizy nie pozwala jednak na dokładną lokalizację miejsca danego zaburzenia, której można dokonać wykonywując dane dodatkowe, np. wyniki badań geofizycznych lub prowadząc obserwacje w kilku piezometrach.

Metody analizowania wyników próbnych pompowań, wywodzące się z teorii Theisa-Jacoba usprawniają także sposoby określania zasięgu lejka depresyjnego. Zgodnie z definicją, pod pojęciem zasięgu lejka depresyjnego rozumiemy taką odległość od pompowanej studni, na której depresja w czasie pompowania osiąga wartości zbliżone do zera, albo jest to taka odległość, która wyznacza objętość warstwy wodonośnej, z jakiej ubytek wody jest równy ilości wody wypompowanej ze studni. Jak wykazał F. M. Boczewer (1) obydwie te kryteria nie są jednoznaczne, a sam problem nie jest możliwy do dokładnego rozwiązania analitycznego. Stąd w praktyce są stosowane wzory empiryczne (np. Sicharta, Kusakina i in.), których wartość jest jednak niewielka.

Opierając się o teorie Theisa-Jacoba zasięg oddziaływania studni można wyznaczać na podstawie kryteriów praktycznych, stosując jednak ściśle metody analityczne. Podstawą tu jest założenie, że na konturze zasilania wielkość depresji S_R osiąga wartości bardzo małe, ale liczbowo określone. W przypadku modelu Theisa dodatkowym kryterium jest gradient zmian depresji w czasie, który na konturze zasilania powinien dążyć do zera. W przypadku modelu Hantuscha na konturze zasilania po czasie $t \rightarrow \infty$ gradient $\Delta S_R / \Delta t$ jest równy zeru.

WNIOSKI

Głównym wnioskiem nasuwającym się po przeanalizowaniu możliwości poznawczych, jakie przynosi stosowanie metod geofizycznych oraz próbnych pompowań prowadzonych w warunkach tzw. reżimu nieustalonego do badań hydrogeologicznych prowadzonych szczególnie w utworach czwartorzędowych, jest **celowość wykonywania wierceń rozpoznawczych, szerokokolumnowych już we wczesnej fazie rozpoznania**, a nie jak to się dotychczas najczęściej praktykuje dopiero po wykonaniu całej serii wąskokolumnowych wierceń badawczych. Ten system prowadzenia prospekcji przy budowie dużych ujęć wód podziemnych przynieść może znaczne oszczędności w metrażu odwiercanych otworów, choćby przez ten fakt, że uzyskuje się bardzo szybko odpowiedź, czy dany „rejon perspektywiczny” jest nim istotnie i czy w ogóle opłaca się kontynuować na nim dalsze badania. Przy budowie dużych ujęć zespołowych ogólny schemat racjonalnego przeprowadzania prac badawczych można wyobrazić sobie w sposób następujący:

Faza I — projektu wstępnego. Opracowywana jest w tej fazie ogólna dokumentacja aktualnego stanu rozpoznania hydrogeologicznego badanego terenu (dokumentacja zasobów w kat. C₁?) wraz z projektem wstępnych badań hydrogeologicznych i innych dla ustalenia zasobów w kat. B. W zasadzie projekt ten powinien przewidywać wykonanie po zakończeniu

prac inwentaryzacyjnych i ewentualnie kartograficznych; w pierwszej kolejności badań geofizycznych (powierzchniowych) w dwu etapach: I — zwiadowczym, w rzadkiej siatce ciągów rozrzuconych na dużym terenie (w projekcie ciągi te powinny być szczegółowo zlokalizowane); II — szczegółowym, traktowanym jako zagęszczenie prac na terenach najbardziej perspektywicznych.

Projekt powinien przewidywać, że decyzje co do lokalizacji badań II etapu będzie podejmował ich wykonawca, po uwzględnieniu wyników badań I etapu. Projekt powinien przewidywać także wykonanie bezpośrednio po zakończeniu prac geofizycznych pewnej liczby wierceń badawczych (wąskodymensyjnych piezometrów) oraz rozpoznawczych, bez określania jednak ścisłej lokalizacji tych wierceń, którą należy uzależnić od wyników badań geofizycznych. Projekt techniczny tych wierceń powinien być opracowany z założeniem istnienia przeciętnych warunków geologicznych na badanym terenie, z dużą jednak tolerancją wprowadzenia zmian głębokości docelowej (cel wierceń — osiągnięcie np. spągu osadów czwartorzędowych lub stropu podłoża nieprzepuszczalnego). W wierceniach należy przewidywać wykonanie pomiarów kierunku przepływu wód podziemnych metodą jednootworową, a w wierceniach rozpoznawczych także próbnym pompowań. W zasadzie powinno się przewidywać wykonanie na tym etapie rozpoznania nie więcej wierceń niż 1+1 (rezerwowo) otwór badawczy (piezometr) oraz 1 otwór rozpoznawczy, na 1 obszar perspektywiczny zlokalizowany metodami geofizycznymi.

Faza II — badań poszukiwawczych i wstępnych badań rozpoznawczych. Obejmuje ona realizację projektu wstępnych badań hydrogeologicznych i innych. Są to w kolejności:

- 1) prace inwentaryzacyjne i kartograficzne;
 - 2) badania geofizyczne I etapu — zwiadowczego; wynik tych badań powinien uzależnić przystąpienie do realizacji II etapu — badań szczegółowych;
 - 3) badania geofizyczne II etapu — szczegółowego; efektem realizacji badań II etapu powinno być **wstępne sprawozdanie z przeprowadzonych badań geofizycznych**, a wynikiem tegoż wyznaczenie obszarów perspektywicznych dla lokalizacji ujęcia i sugestie, co do ich rozwiercania;
 - 4) odwiercenie na obszarze najbardziej perspektywicznym otworu badawczego (piezometru) i pomiar w nim kierunku przepływu wód podziemnych;
 - 5) przeprowadzenie reinterpretacji materiałów geofizycznych i opracowanie sugestii, co do lokalizacji, albo następnego otworu badawczego, gdy prognoza geofizyczna nie potwierdziła się, albo otworu rozpoznawczego w dużej dymensji, gdy wyniki badań geofizycznych nie budzą wątpliwości;
 - 6) przeprowadzenie próbnego pompowania w otworze rozpoznawczym z obserwacjami w piezometrze.
- Zależnie od uzyskiwanych wyników próbnym pompowań czynności objęte punktami 4—6 mogą być wykonane także na innych „obszarach” perspektywicznych z zachowaniem jednak kolejności rozwiercania tych obszarów według zasady, że badania rozpoczyna się od obszaru najlepszego, a kończy w momencie uzyskania realnej szansy rozwiązania problemu udokumentowania zasobów w wysokości zapotrzebowania.

Wynikiem prac objętych fazą II powinno być sprawozdanie z przeprowadzonych badań (dokumentacja zasobów w kat. C₂ ?) wraz z **projektem badań szczegółowych dla ustalenia zasobów wód podziemnych w kat. B**. Częścią sprawozdania powinna być dokumentacja badań geofizycznych oparta na zreinterpretowanym materiale.

Faza III — badań szczegółowych. Obejmuje ona realizację założeń projektu badań szczegółowych. Trudno jest tu postulować jakąś ściśle określoną kolejność tych badań, która powinna być w każdym przypadku uzależniona lokalnymi warunkami. Ogólnie jednak można stwierdzić, że najbardziej racjonalne na

tym etapie badań jest preferowanie wykonywania przede wszystkim otworów rozpoznawczych, szerokokodymensyjnych odwiercanych kolejno i pompowanych zespołowo, kilkakrotnie w miarę dowiercania nowych otworów. Takie pompowania zespołowe powinny być prowadzone w krótkim czasie tylko dla uzyskania informacji o reakcji warstwy wodonośnej na pompowanie dużą wydajnością. Zespołowe pompowanie długotrwałe powinno być wykonane po zakończeniu odwiercania wszystkich otworów. Wynikiem realizacji badań objętych fazą III powinna być **dokumentacja zasobów w kat. B**.

Przedstawiony powyżej schemat realizacji hydrogeologicznych prac poszukiwawczych i rozpoznawczych nawiązuje do starej koncepcji rozdzielania tzw. zasobów w kat. C₁ i zasobów w C₂. Zdaniem autora obecna technika prowadzenia prac hydrogeologicznych wymaga wprowadzenia takiej właśnie modyfikacji do istniejących przepisów, szczególnie przy ustalaniu zasobów wód podziemnych dla dużych ujęć. Ponadto zdaniem autora konieczne jest wprowadzenie dalszych zmian do istniejących przepisów modyfikujących kryteria ustalania zasobów wód podziemnych w kat. B i A. Należałoby tu zrezygnować z ustalenia tzw. zasobów dynamicznych, jako praktycznie nie realnych do ustalenia (można je ustalać co najwyżej jako wskaźnik zasobności warstwy) oraz wprowadzić definicję zasobów eksploatacyjnych rozumianych jako **prognoza ilości wody, jaką można uzyskać z danej jednostki hydrogeologicznej przez dane ujęcie w określonym czasie**.

L I T E R A T U R A

1. Boczewer F. M. — Rączoty eksploatacyjnych zasobów podziemnych wod. Niedra, 1968.
2. Davis, De Wiest R. J. M. — Hydrogeology. John Wiley and Sons Inc., 1966.
3. De Wiest R. J. M. — Geohydrology. Ibidem, 1965.
4. Forkasiewicz J., Margat J. — La drainance et les communications entre couches aquiferes. Wyd. BRGM, Paryż, 1966.
5. Forkasiewicz J. — Interpretation des donnes des pompages d'essai pour l'evaluation des parametres des aquiferes. Ibidem, 1969.
6. Kłyza T., Przybyłek J. — Przykłady zastosowania wzorów równowagi niustalonej do prognozowania eksploatacji ujęć wód podziemnych. Materiały II Naukowo-Technicznej Konferencji. Wyd. Geol. 1968.
7. Macioszczyk T. — Obliczenia hydrogeologiczne ujęć wód podziemnych. Wyd. Prasa ZSL, 1969.
8. Przybyłek J., Kłyza T. — Instrukcja stosowania metody Theisa. Przeds. Hydrogeol. Poznań, 1970.
9. Szymanko J. — Aktualny stan wykorzystania metod geofizycznych w badaniach hydrogeologicznych wykonywanych w Polsce i ocena uzyskanych wyników; referat wygłoszony na Plenum KDH w dniu 7 stycznia 1971 r.
10. Wilk Z. — O określeniu parametrów hydrogeologicznych złoża wody podziemnej w warunkach nie ustalonego przepływu. Prz. geol. 1962, nr 9.

S U M M A R Y

Remarkable progress in hydrogeological procedure applied in exploring and evaluating groundwater resources was made in Poland in the sixties. This is shown by the mass application of geophysical methods in searching for groundwaters as well as by the introduction of more effective methods of calculating their resources, e.g. those based on the Theis-Jacob theory of so-called undefined filtration. The paper presents a brief review of these methods as well as some general conclusions concerning current organization of hydrogeological exploration and reconnaissance studies.

РЕЗЮМЕ

В 60-тых годах в Польше был достигнут значительный прогресс в методике гидрогеологических исследований при поисках и разведке подземных вод. Одна из сторон этого прогресса состоит в массовом применении геофизических методов в поисках подземных вод и мероприятия по внедрению

более эффективных методов подсчета запасов подземных вод, основывающихся на теории так наз. неустановленной фильтрации Тейса-Джекоба. В статье дается краткий обзор этих методов и рассматриваются общие заключения относительно организации гидрогеологических поисковых и разведочных работ, возникающие в связи с применением этих методов.