

STOSOWANIE METODY POTENCJAŁÓW WŁASNYCH DLA OKREŚLANIA PARAMETRÓW HYDROGEOLOGICZNYCH PRZY PRÓBNYCH POMPOWANIACH

Metoda potencjałów własnych zwana także metodą pola naturalnego jest już od kilkudziesięciu lat znana i znajduje różnokierunkowe zastosowanie zarówno w badaniach polowych, jak też przy elektrometrii otworów wiertniczych. Jak wiadomo, za pomocą tej metody można wykrywać i rozpoznawać złoża niektórych rud (siarczkowych), antracytu, grafitu, łupków węglowych; przy badaniach hydrogeologicznych kierunek filtracji wód podziemnych, strefy drenażu wód podziemnych, zamaskowane wpływy źródeł a także miejsca ubytków wód w korytach cieków naturalnych i sztucznych. Teoretycznie możliwe jest także określenie kontaktów wód podziemnych o różnych koncentracjach soli mineralnych oraz granic utworów piaszczystych i ilastych.

W geofizyce kopalnianej metoda potencjałów własnych, zwana tu PS, jest obecnie niezbędnym elementem elektrometrii otworów wierconych obrotowo z płuczka. Za pomocą tej metody obok innych parametrów można także wydzielić w profilu otworu warstwy wodonośne i roponośne oraz określić ich porowatość i przepuszczalność.

Tak wielostronne zastosowanie metody potencjałów własnych spowodowane jest różnorodnością zjawisk fizykochemicznych, które warunkują powstawanie naturalnego pola elektrycznego w utworach skalnych.

Wiadomo, że naturalne pole elektryczne powstaje wskutek trzech procesów:

- 1) utleniająco-redukujących w strefie zalegania złóż, np. siarczków metali,
- 2) dyfuzyjno-adsorbcyjnych, tj. dyfuzji jonów na granicy roztworów o różnej koncentracji lub różnym składzie chemicznym, oraz adsorbcji jonów na granicy roztworów o różnej koncentracji lub różnym składzie chemicznym, oraz adsorbcji jonów z roztworów na powierzchni cząstek mineralnych,
- 3) filtracji wód podziemnych w utworach przepuszczalnych (tak zwane potencjały filtracji).

Najbardziej intensywne pola elektryczne wiążą się z pierwszym typem procesów, najsłabsze zaś z filtracją wód podziemnych. Tak więc, mimo powszechności zjawisk filtracyjnych w przyrodzie, obecnie nie zawsze potrafimy rejestrować je za pomocą metody potencjałów własnych.

Sam mechanizm powstawania potencjałów filtracji można krótko scharakteryzować w następujący sposób. W czasie krążenia wód podziemnych na ściankach por i szczelin następuje adsorbcja jonów jednego znaku, np. anionów. Wokół ścianek kanalików powstaje wówczas podwójny pierścień, składający się z nieruchomej warstwy adsorbowanych anionów oraz ruchomej warstwy kationów. Grubość tego pierścienia zależy od koncentracji składu chemicznego roztworu oraz jego temperatury. Adsorbcja jonów jednego znaku powoduje zaburzenie roztworu w naszym przykładzie w aniony, tak więc wzdłuż drogi krążenia wody podziemnej powstaje różnica potencjałów i popłynie prąd elektryczny o kierunku przeciwnym do drogi filtracji. Wykonując pomiary napięcia pola elektrycznego na powierzchni terenu, możemy określić kierunek przepływu wód podziemnych.

Schemat powstawania potencjału filtracji w utworach piaszczystych oraz wapiennych przedstawiono na ryc. 1.

Teoretyczne uzasadnienie charakteru potencjału filtracji po raz pierwszy przeprowadził H. Helmholtz (1879 r.). Z wyprowadzonego przez niego wzoru

$$E_f = \frac{\epsilon \rho \zeta}{4 \pi \mu} P$$

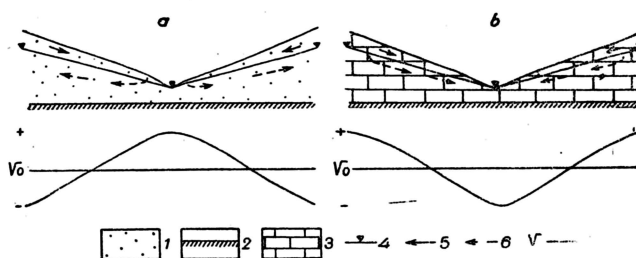
wynika, że potencjał filtracji jest

wprost proporcjonalny do wielkości: spadku hydraulicznego P, do potencjału elektrokinetycznego ζ , do stałej dielektrycznej cieczy ϵ i do oporu elektrycznego cieczy ρ oraz odwrotnie proporcjonalny do lepkości cieczy μ .

Znak potencjału filtracji zależy od dwu parametrów: 1) Spadku hydraulicznego P, 2) Potencjału elektrokinetycznego ζ .

Ten ostatni w przypadku adsorbcji anionów, jak przy filtracji wód podziemnych w ośrodku piaszczystym ma znak ujemny. Tak więc potencjał na początku drogi filtracji będzie niższy od potencjału na dalszych odcinkach filtracji. W danym przypadku oznacza to, że kierunek spływu wód podziemnych będzie się charakteryzował wzrostem potencjału, a więc znakiem + (ryc. 1a).

Przy krążeniu wód w skałach wapiennych najczęściej zachodzi zjawisko odwrotne — adsorbcja kationów, a więc wartość potencjału elektrokinetycznego jest dodatnia, w związku z czym kierunek spływu wód charakteryzuje się spadkiem potencjału ze znakiem — (ryc. 1b).



Ryc. 1. Schemat powstawania potencjałów filtracji: a — w piaskach, b — w wapieniach.

1 — piaski, 2 — gliny, 3 — wapienie, 4 — poziom wody, 5 — kierunek spływu wód podziemnych, 6 — kierunek płynięcia prądu elektrycznego, 7 — wykres potencjału

Fig. 1. Scheme of filtration potentials origin: a — in sands, b — in limestones.

1 — sands, 2 — clays, 3 — limestones, 4 — water level, 5 — direction of underground water flow, 6 — direction of electric current flow, 7 — diagram of potential

W wyniku późniejszych badań prowadzonych między innymi przez O. Sterna, Gany, W. N. Dachnowa okazało się, że mechanizm powstawania potencjału filtracji jest nieco inny, przy czym pewną rolę odgrywają tu procesy dyfuzyjne. Oprócz tego stwierdzono, że E_f zależy także od szeregu innych czynników a przede wszystkim od wodoprzepuszczalności warstw wodonośnych. Ze wzrostem współczynnika przepuszczalności zwiększa się E_f . Zaobserwowano jednak (1), że już przy współczynniku filtracji kilkudziesięciu miliardów dalszy wzrost potencjału filtracji podlega zahamowaniu i następnie zaczyna maleć.

Dachnow przypuszcza, że jest to związane ze zmianą charakteru filtracji z ruchu laminarnego na turbulentny.

Jak wynika z wzoru Helmholtza, E_f zależy od spadku hydraulicznego, to jest między innymi od szybkości filtracji. Im większa szybkość filtracji, tym wyższe potencjały własne. Z tego wynika, że metoda ta daje najlepsze rezultaty wszędzie tam, gdzie obserwujemy wzmożoną filtrację wód podziemnych.

W badaniach polowych metodę potencjałów własnych z reguły stosowano dla określenia kierunku przepływu wód podziemnych w warunkach nie naruszonego reżimu, tj. bez sztucznego oddziaływania na procesy filtracji np. za pomocą próbnego pompowania, zatapiania otworów itp. Większość przykładów z literatury światowej dotyczy właśnie tego rodzaju badań. Analiza mechanizmu procesu powstawania potencjałów filtracji a także dotychczasowe, skąpe co prawda, doświadczenie prac polowych, pozwalają przypuszczać, że zakres stosowalności tej metody można znacznie rozszerzyć z dużym pożytkiem dla hydrogeologii. Perspektywy te wiążą się z możliwością rejestracji zmian kierunku przepływu wód podziemnych w czasie, przez wielokrotne pomiary napięcia pola elektrycznego na określonym odcinku terenu.

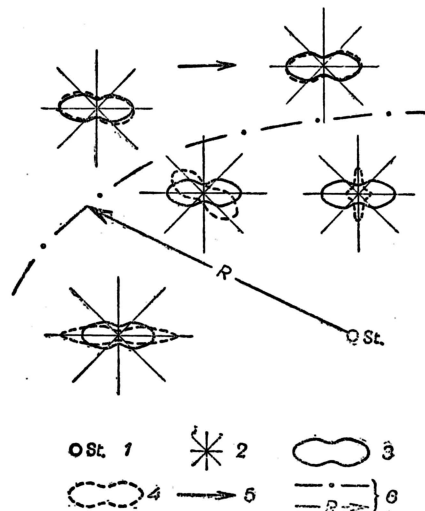
BADAJĄC ZASOBY DYNAMICZNE POTOKU wód gruntowych w utworach aluwialnych, tj. mając do czynienia z potokiem o ograniczonej szerokości, niekiedy stosuje się metodę opartą na próbnym pompowaniu i na obserwacji szerokości strefy alimentacyjnej studni pompowanej (4). Jest to między innymi celowe przy znacznej rozpiętości współczynnika filtracji. Do tego celu niezbędne jest jednak odwiercenie znacznej ilości otworów obserwacyjnych, co rzecz jasna powoduje wysoki koszt badań hydrogeologicznych. Stosując metodę potencjałów własnych, gdzie pomiary przeprowadzono by przed próbnym pompowaniem, w czasie próbnego pompowania — z chwilą ustalenia się równowagi dynamicznej zwierciadła wody oraz po zakończeniu próbnego pompowania — w czasie stabilizacji, można by przy sprzyjających warunkach hydrogeologicznych zrezygnować z pewnej ilości otworów obserwacyjnych, z czym, rzecz jasna, wiąże się skutki ekonomiczne.

Za pomocą metody potencjałów własnych można by także obserwować przesuwanie się podziemnych wododziałów przy pompowaniach grupowych, zaś w przypadku otworów studziennych położonych w strefie wód rzecznych — ustalić moment zasilenia studni wodami powierzchniowymi. Innymi słowy, metodą PS można by w takiej czy innej postaci obserwować formę i w korzystnych przypadkach zasięg leja depresyjnego przy próbnym pompowaniu i odwracając zagadnienie — ustalać zasięg strefy rozciekania przy zatapianiu otworów wiertniczych i studziennych dla celów badawczych.

W Związku Radzieckim pierwsze badania kierunku przepływu wód podziemnych metodą potencjałów własnych w warunkach próbnego pompowania prowadzone były w latach 1934—1947 na terenie niecki magnitogorskiej (3). Celem tych prac wykonywanych pod kierunkiem W. S. Barkowa, K. M. Tkaczenki i J. A. Komissarowa było przede wszystkim wykrycie głównych dróg krążenia wód podziemnych, w związku z budową kopalni i eksploatacją złóż w tym rejonie. Analogiczne badania metodą potencjałów własnych prowadził A. D. Dawydow w latach powojennych na złożach uralskich boksytów (3). W badaniach tych interesująca jest obecność potencjałów filtracji przy głębokości zalegania lustra wody rzędu 100 m a także fakt, że środek depresji zwierciadła wody w szczelinowatych i skrasowanych wapieniach oznaczał się strefą dodatnich potencjałów. Wyniki wymienionych badań nie zostały opublikowane. Z istniejących źródeł wynika, że metoda potencjałów własnych stosowana była w obydwu przypadkach jednocześnie z innymi metodami geofizycznymi. Przypuszczać należy, że we wspomnianych badaniach autorzy nie traktowali metody potencjałów własnych jako metody samodzielnej i tym bardziej nie próbowali okre-

ślać za jej pomocą formy i zasięgu leja depresyjnego.

Po raz pierwszy udana próba określenia metodą potencjałów własnych zasięgu leja depresyjnego przy próbnym pompowaniu była przeprowadzona dopiero w roku 1956 przez A.M. Gorelika i I.P. Nesterenko (2). Obiektem badań był pierwszy poziom wodonośny w piaskach aluwialnych o miąższości około 10 m, zalegających na glinach przy głębokości zwierciadła wody kilku metrów. Pomiary potencjałów filtracji prowadzono w kilku punktach wokół studni metodą wektorów, przy czym w każdym punkcie pomiary wykonywano w czterech kierunkach na krótkich (5—10 m) profilach przecinających się pod kątem 45°. Porównanie wyników badań geofizycznych przeprowadzonych przed próbnym pompowaniem i w czasie próbnego pompowania (stabilizacja leja) pozwoliło automatycznie określić zasięg leja depresyjnego (ryc. 2).



Ryc. 2. Przykład określenia zasięgu leja depresyjnego metodą potencjałów filtracji wg A. M. Gorelika i I. P. Nesterenko

1 — studnia pompowana, 2 — punkty pomiarów geofizycznych, 3 — izolinie potencjałów filtracji przed próbnym pompowaniem, 4 — izolinie pot. wł. w czasie próbnego pompowania, 5 — kierunek spływu wód podziemnych, 6 — zasięg leja depresyjnego na podstawie danych potencjałów filtracji

Fig. 2. Definition example of depression cone extension by means of filtration potentials method, after A. M. Gorelik and I. P. Nesterenko.

1 — pumped well, 2 — points of geophysical measurements, 3 — isolines of filtration potentials before test pumping, 4 — self-potential isolines during test pumping, 5 — direction of underground-water flow, 6 — extension of depression cone on the basis of filtration potentials data

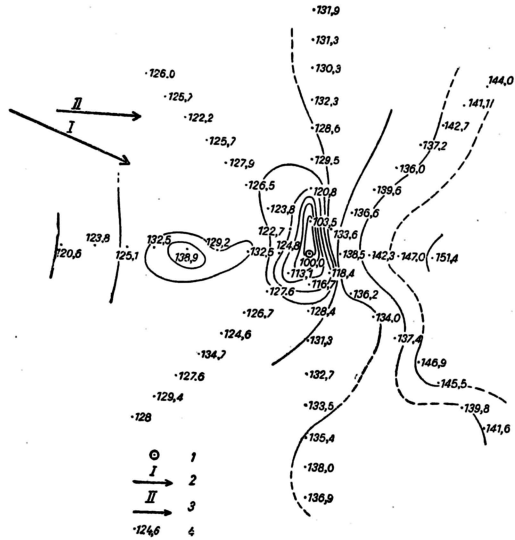
Przedstawione przykłady stosowania metody potencjałów własnych przy próbnym pompowaniu w zasadzie wyczerpują źródła publikowane.

Prace, które prowadziłem w tej dziedzinie latem 1958 r., zostały wykonane na terenie Zagorska pod Moskwą oraz w różnych rejonach środkowego Kazachstanu.

W Zagorsku celem badań było określenie zasięgu leja depresyjnego przy próbnym pompowaniu i porównanie wyników z danymi obserwacji hydrogeologicznych. Studnią wierconą o głębokości około 20 m ujęty tu został potężny horyzont wodonośny w drobnoziarnistych piaskach kredowych oraz we fluwioglacjalnych, izolowanych od powierzchni terenu warstwach glin zwałowych o miąższości około 8 m. Lustro wody zalegało na głębokości 12,5 m, depresja przy pompowaniu studni wynosiła około 1 m, a zasięg leja około 10—11 m. Zwierciadło miało charakter swobodny, ponieważ wody tego poziomu drenowane były w strefie doliny rzecznej odległej około 500 m od ujęcia, nachylenie powierzchni terenu ku

SE było mniej więcej zgodne z kierunkiem spływu wód podziemnych. Pomiaru pola elektrycznego filtracji prowadzono na wytyczonych w ośmiu kierunkach profilach, zamykając je za każdym cyklem w punkcie położonym obok studni pompowanej; odległość rozstawu elektrod przyjęto 5 m. Badania wykonano metodą gradientów z zamianą elektrod, używając potencjometru polowego EP-1 oraz kamionkowych elektrod niepolaryzujących konstrukcji Logońskiego.

W pierwszym etapie pomiary wykonano przed próbnym pompowaniem w warunkach nie zakłóconego spływu wód podziemnych. Wyniki pomiarów przedstawiono graficznie na ryc. 3.



Ryc. 3. Izolinie potencjałów filtracji przed próbnym pompowaniem (9.VI.58 r.)

1 — studnia pompowana, 2 — kierunek przepływu wód wg danych hydrogeologicznych, 3 — wg danych potencjałów własnych, 4 — punkty pomiarów geofizycznych

Fig. 3. Isolines of filtration potentials before test pumping (June 9, 1958).

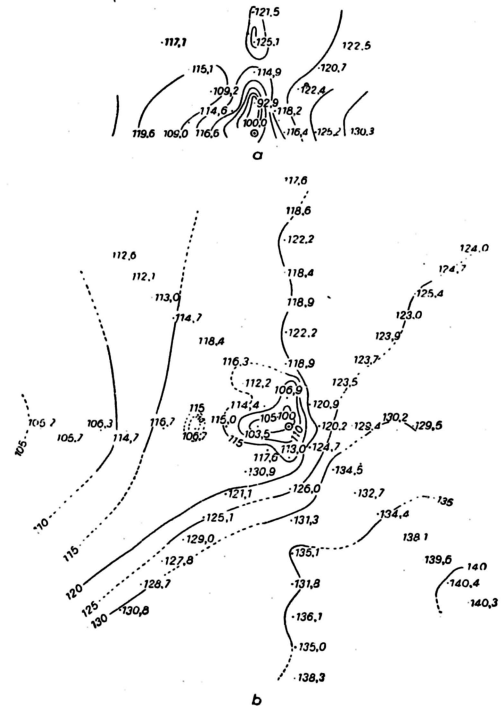
1 — pumped well, 2 — direction of water flow after hydrogeological data, 3 — after data of self-potentials, 4 — points of geophysical measurements

Od razu rzuca się w oczy, na tle wyraźnego wzrostu potencjału w kierunku zachodnim rzędu 30 mV (co zgadza się z kierunkiem spływu wód), obecność dwu ujemnych anomalii pola elektrycznego. Z kształtu i rozmieszczenia tych anomalii można wnioskować, że nie są one związane z filtracją wody, lecz z procesami korozyjnymi zachodzącymi wokół rur płaszczowych oraz filtrów studni głównej a także otworów obserwacyjnych.

Powyższy wywód potwierdza po pierwsze: zróżnicowanie tych anomalii pod względem intensywności, np. najwyższa z nich wynosząca 25 mV (na odcinku około 5 m) wiąże się ze studnią pompowaną — najbliższą, posiadającą największą średnicę, długość filtrów itd., po drugie: ujemne wartości potencjałów tych anomalii, co zwykle charakteryzuje naturalne pole elektryczne obserwowane nad złożem rud w obecności procesów utleniająco-redukcyjnych, w tym przypadku procesu korozji rur metalowych i siatek miedzianych.

Być może, zakłócenie w obrazie linii ekwipotencjalnych wywołane jest także zniekształcającym oddziaływaniem studni wierconych na charakter linii filtracyjnych. Jak wiadomo, w obrębie przekroju filtru w płaszczyźnie przyjmowanej zazwyczaj jako 4r następuje zagęszczenie lub rozrzedzenie linii filtracji potoku wskutek różnicy oporów między warstwą przewodzącą a siatką filtru. Powyższy aspekt ma istotne znaczenie między innymi przy wszelkiego rodzaju pomiarach kierunku i szybkości

przepływu potoku wód gruntowych dokonywanych przy użyciu otworów badawczych; chodzi zarówno o badania za pomocą indykatorów, jak i metod geofizycznych, np. ciała naładowane, czy też pomiarów oporów elektrycznych. Przypuszczać należy, że anomalie pola naturalnego powstałe na granicy filtr — warstwa przewodząca nie stoją jednak w żadnej skali porównawczej pod względem intensywności z potencjałami pochodzenia korozyjnego. Dlatego też w dalszych rozważaniach nie będę uwzględniał ich ewentualnego wpływu na rozpatrywane pole elektryczne.



Ryc. 4. Izolinie potencjałów filtracji w czasie próbnego pompowania.

a — pomiar w dniu 13.VI.58 r., b — pomiar w dniu 15.VI.58 r.

Fig. 4. Isolines of filtration potentials during test pumping

a — measurement on June 13, 1958 b — measurement on June 15, 1958

Następny cykl pomiarów przeprowadzono dwukrotnie w czasie próbnego pompowania stosując identyczną metodykę badań, wyniki przedstawiono na ryc. 4.

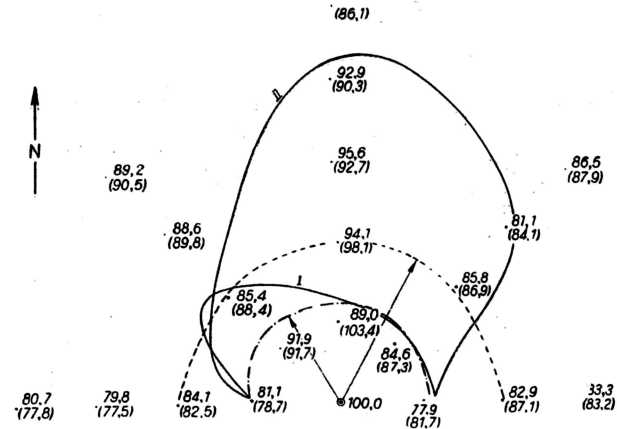
Zgodnie z przewidywaniami ujemna anomalia pola elektrycznego strefy utlenienia wokół otworu głównego pozostała nadal; wzrost potencjału filtracji o znaku przeciwnym wywołany zwiększoną szybkością przepływu wody w zasięgu leja depresyjnego nie mógł jej zrównoważyć. Jednakże amplituda tej anomalii uległa znacznemu zmniejszeniu do minus 15—20 mV.

Ponieważ bezpośrednia interpretacja wyników, mająca na celu określenie zasięgu leja, byłaby bardzo kłopotliwa, dokonano pewnego uproszczenia dla wyeliminowania z otrzymanego obrazu pola naturalnego potencjałów związanych z korozją, zakładając, że wartości te nie ulegają istotnym wahaniom w czasie. Tak więc przyjmując potencjał punktu obok studni centralnej umownie równy 100 mV, z różnicy potencjałów własnych otrzymanych w czasie próbnego pompowania i przed próbnym pompowaniem, określono potencjały względne na obszarze badanym. Obraz pola elektrycznego filtracji po tych przekształceniach został graficznie przedstawiony na ryc. 5.

Wpływ próbnego pompowania wg danych PS wyniósł na linii W i E około 5—6 m, zaś na linii NW

10–12 m, na pozostałych liniach profilowych wartości potencjałów pierwszego i drugiego cyklu pomiarów różniła się znacznie między sobą. Zwiększenie ΔV , które można interpretować jako powstałe w wyniku pompowania, waha się w granicach 11–22 mV.

Z przedstawionych na ryc. 5 izolinii ΔV wynikałoby, że zasięg leja depresyjnego wynosi 5–12 m; wg danych hydrogeologicznych parametr ten mieści się w granicach 10–12 m. Tak więc wartości uzyskane w wyniku badań geofizycznych, jakkolwiek zbyt niskie, mogą być przyjęte jako orientacyjne i ich praktyczne znaczenie nie może być kwestionowane.



Ryc. 5. Interpretacja wyników badań geofizycznych w Zagorsku (potencjały względne)

100 — studnia pompowana, 88,6 — wartość potencjałów względnych I cyklu pomiarów (13.VI); (89,8) — II cyklu pomiarów (15.VI). $\frac{I}{II}$ — wpływ próbnego pompowania I i II cyklu pomiarów; - - - - - zasięg leja depresyjnego wg danych PS; — — — — — zasięg leja depresyjnego wg danych hydrogeologicznych

Fig. 5. Interpretation of results of geological investigations carried out at Zagorsk (relative potentials). 100 — pumped well, 88,6 — value of relative potentials of the I cycle of measurements (June 13), 89,8 — II cycle measurements (June 15), $\frac{I}{II}$ — influence of test pumpings of I and II cycles of measurements — — — — — depression cone extension after PS data, — — — — — depression cone extension after hydrogeological data

Dalsze badania metodą potencjałów własnych były prowadzone na terenie środkowego Kazachstanu w szczelinowatych i skrasowiałych wapieniach karbońskich. Celem pierwszego doświadczenia było prześledzenie charakteru i zmian intensywności potencjałów filtracji w czasie a) próbnego pompowania, b) stabilizacji zwierciadła wody po zakończeniu pompowania.

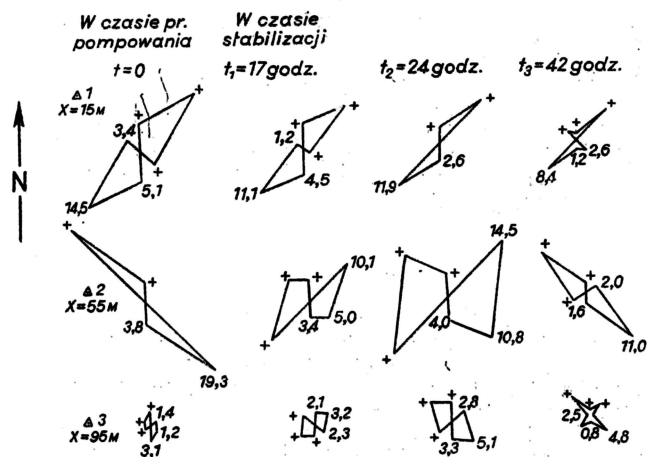
Pomiary prowadzono w środkowej części dużego leja depresyjnego w pobliżu studni, z której prowadzono długotrwałe pompowanie o wydajności około 25 l/sek przy depresji 3 m. Zwierciadło statyczne utrzymywało się na głębokości około 15 m. Badania przeprowadzono na N od studni pompowanej w odległości 15 m (punkt pierwszy), 55 m (punkt drugi) i 95 m (punkt trzeci). W punktach tych prowadzono okresowe pomiary potencjałów własnych i wyniki tych badań przedstawiono na ryc. 6.

Pierwszą serię pomiarów wykonano w czasie próbnego pompowania, pozostałe w okresie stabilizacji zwierciadła przy $T_1 = 17$ godz., $T_2 = 24$ godz. i $T_3 = 42$ godz. Dość wyraźnie można zaobserwować znaczny spadek potencjału, np. w punkcie pierwszym z 14,5 mV do 8,4 mV. Podobny spadek potencjału zachodzi w punkcie drugim bardziej oddalonym od studni pompowanej — z 19,3 mV do 11 mV, a także w punkcie trzecim — z 3,1 mV do 0,8 mV.

Doświadczenie potwierdza teoretyczne przypuszczenia o znacznych zmianach ΔV w strefie leja depresyjnego a tym samym zwiększenie skuteczno-

ści metody potencjałów własnych w warunkach wzmoczonej filtracji wód podziemnych. Na uwagę zasługuje także fakt spadku potencjału w kierunku środka leja depresyjnego, co wskazywałoby na to, że znak potencjału elektrokinetycznego jest tu dodatni. Jak już wspomnieliśmy, przy badaniach Dawydowa w wapieniach krasowych miało miejsce zjawisko odwrotne — wzrost potencjału w kierunku wpływu wód podziemnych. Rozbieżności te, być może, spowodowane są różnicą mineralizacji wód lub odmiennym charakterem filtracji (ruch laminarny — ruch turbulentny).

Następne badania prowadzono także w wapieniach karbońskich na linii profilowej łączącej dwie



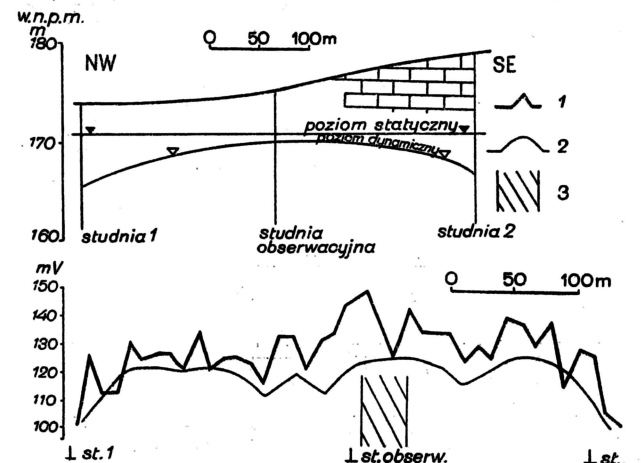
Ryc. 6. Zmiany napięcia pola elektrycznego podczas stabilizacji zwierciadła wód podziemnych

x — odległość punktu pomiaru od studni pompowanej, t — ilość godzin od zakończenia próbnego pompowania

Fig. 6. Changes electric field tension during the stabilization of underground-water level.

x — distance of measurement point from pumped well, t — number of hours from time of test pumping

studnie badawcze, z których prowadzono jednocześnie próbnego pompowanie. Odległość między nimi wynosiła 400 m. Badania prowadzono metodą gradientów z zamianą elektrod. Przy pierwszym cyklu pomiarowym rozstaw elektrod wynosił 10 m, zaś przy drugim (kilka dni później) 20 m. Z ryc. 7 wy-



Ryc. 7. Ustalenie podziemnego wododziału między studniami pompowanymi wg danych PS.

1 — wykres potencjału przy rozstawie elektrod = 10 m, 2 — wykres potencjału przy rozstawie elektrod = 20 m, 3 — podziemny wododział wg danych PS

Fig. 7. Determination of underground water-head among pumped wells by means of PS data.

1 — diagram of potential with 10 space interval of electrodes, 2 — diagram of potential with 20 m space interval of electrodes, 3 — underground watershead after PS data

nika, że maksimum potencjału wyraźnie odpowiada wododziałowemu grzbietowi w obrębie leja depresyjnego, skąd daje się zauważyć stopniowy ich spadek w kierunku studzien. Badania kierunku przepływu wody metodą PS pozwoliły w danym przypadku zupełnie jednoznacznie określić położenie podziemnego wododziału, z dokładnością do około 10 m. Wyniki badań geofizycznych zostają potwierdzone przez obserwacje hydrogeologiczne.

Dość ciekawym zjawiskiem jest łamany kształt linii wykresu potencjału, szczególnie przy mniejszym rozstawie elektrod. Przypuszczalnie ma to związek z nierównomierną szczelinowatością wapieni i zjawiskami krasowymi.

Przedstawione wyniki badań a także analiza materiału publikowanego dają podstawę do następujących wniosków:

1. Metoda potencjałów własnych powinna znaleźć zastosowanie przy badaniach hydrogeologicznych opartych na próbnym pompowaniu. Badanie tą metodą charakteru i zasięgu lejów depresyjnych ma między innymi znaczenie przy studniach bez otworów obserwacyjnych.

SUMMARY

During the hydrogeological and geological-engineering investigations, the use of self-potential method is commonly limited to the establishment of ground-water flow direction, exclusively in the natural, undisturbed circulation system.

On the basis of theoretical premises and scanty experiences of the field works, there are possibilities of using the self-potential method also for investigations of artificially made dynamic forms of ground-water level, such as depression cone appearing while test pumpings or exploitation of underground watersheds in the system of grouped pumping, extension of flowing away during the water-flooding of wells, feed zones in the system ground water — surface water a. s. o.

The effectiveness of self-potential method used in the time of above mentioned investigations alike as the optimum hydrogeological conditions were hitherto not cleared up.

The paper deals also with examples of geophysical investigations in the conditions of disturbed ground-water regime, carried out for the hydrogeological requirements, taking into consideration the data from the special literature as well as the results of works performed by the author in USSR.

2. Przy badaniach krzywej depresji należy się liczyć z ewentualnym занижением wyników a także z tym, że znak potencjału filtracji może niekiedy odbiegać od schematów podanych na ryc. 1.

3. Najbardziej godne wiary wyniki otrzymuje się stosując ciągi zamknięte. Metody punktowej (wektorów) należy unikać przy obserwacji krzywej depresji w skałach silnie szczelinowatych i skrasowanych.

LITERATURA

1. Dachnow W. N. — Promysłowa geofizika. Moskwa 1959.
2. Gorelik A. M., Nesterenko I. P. — Метод электрического поля фильтрации для определения радиуса депрессионной воронки при откачках из скважин. „Изв. АН СССР” ser, geofiz. 1956, nr 11.
3. Ogilwi A. A. — Геоэлектрические методы изучения карста. Moskwa 1957.
4. Paczyński B. — О некоторых методах геоэлектрических в гидрогеологии. „Прегляд Geol.” 1959, nr 4.

РЕЗЮМЕ

Применение метода естественного электрического поля в гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях ограничивается обычно определением направления движения подземных вод, исключительно в условиях естественного ненарушенного режима подземных вод.

Из теоретических предположений и некоторого опыта полевых работ вырисовывается возможность использования метода естественного электрического поля также для исследования искусственно вызванных динамических форм зеркала подземных вод, как: депрессионной воронки при опытной откачке или подземных водоразделов в системе групповой откачки, границ распространения раствора при заливке скважин, зон питания в системе подземная вода — поверхностная вода и т. д. Успешность применения метода естественного эл. поля для перечисленных целей до сих пор не определена надлежащим образом, подобно оптимальным гидрогеологическим условиям.

В статье приводятся примеры геофизических исследований для гидрогеологических целей в условиях нарушенного режима подземных вод, учитывая литературные данные и работы, проведенные автором на территории СССР.