

Jan MALINOWSKI, Elżbieta PRZYTUŁA

## Metodyczne zasady interpretacji wahań zwierciadła wód podziemnych niecki lubelsko-radomskiej

Przedstawiono metodę opracowania wyników stacjonarnych obserwacji zwierciadła wód podziemnych prowadzonych na obszarze niecki lubelsko-radomskiej przez dziesięć lat. Zaproponowano wyznaczanie średniej z wielolecia oraz przedziału ufności, który określa granicę możliwych zmian zwierciadła przy prawdopodobieństwie 95%. Uśredniona krzywa stanów zwierciadła pozwala wyznaczać okresy wezbrań, czyli stany maksymalne i czas ich trwania oraz depresje spowodowane regresją. Zaproponowano też sposób wyznaczania współczynnika zasilania i regresji zwierciadła, który pozwala prognozować stany krótkoterminowe na okres 2–3 miesięcy dla wzniosów i regresji.

### WSTĘP

Stacjonarne obserwacje zwierciadła wód podziemnych, prowadzone w systemie ogólnokrajowej sieci obserwacyjnej od 1974 r., są już na tyle długotrwałe, że można przystąpić do analizy wyników, chociaż okresy obserwacji nie są dla wszystkich punktów jednakowe, gdyż czas ich instalacji był różny. Pierwszym regionem, w którym zainstalowano najwcześniej programową liczbę punktów, jest niecka lubelsko-radomska, na obszarze której znajduje się 36 punktów obserwacyjnych w utworach wodonośnych kredy, trzeciorzędu i czwartorzędu. Ponadto są studnie IMiGW (14), z których wyniki pomiarowe nadają się do interpretacji hydrogeologicznej.

Na wstępie należy przypomnieć (J. Malinowski, Z. Duchnowski, 1987) podstawowe założenia systemu obserwacyjnego zwierciadła wód podziemnych. W programie zatwierdzonym przez byłą Centralny Urząd Geologii przyjęto, że głównym celem systemu będzie ciągła analiza zmian zwierciadła wód podziemnych i ich ocena w

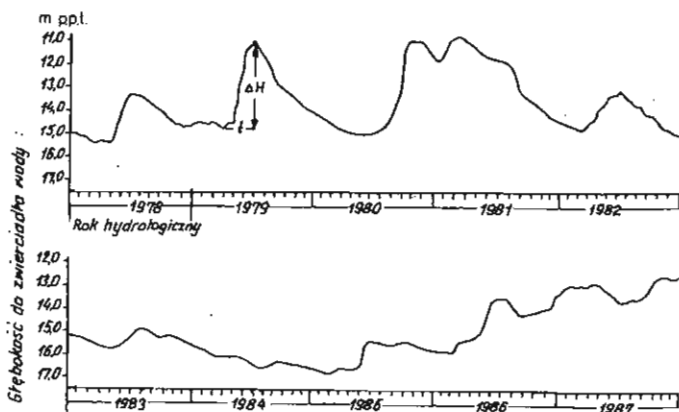


Fig. 1. Wykres wahań zwierciadła wody w studni nr 331 w latach 1978–1987

$\Delta H$  — przyrost słupa wody w studni;  $t$  — czas trwania regresji zwierciadła

The diagram of the fluctuations of water level in the well No 331 in the years 1978–1987

$\Delta H$  — increase of the water column in the well;  $t$  — time of regression in the water level

aspekcie możliwych wpływów na zasobność wód podziemnych zarówno od strony ilościowej, jak i jakościowej. W programie nie określono metod analizowania wyników i ich oceny. Miało to nastąpić po pierwszych pomiarach obejmujących co najmniej 10-letni okres. W takim właśnie czasie prowadzono pomiary na obszarze niecki lubelsko-radomskiej. Wyniki ich są obecnie analizowane, a założenia metodyczne analizy i opracowania końcowego przedstawiono w niniejszym opracowaniu.

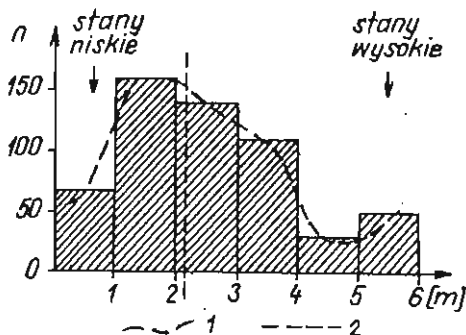
Mówiąc o interpretacji wyników pomiarowych trzeba zdawać sobie sprawę, że temat ten jest od wielu lat omawiany w literaturze i można tu zauważyć różne próby interpretacji i oceny wahań. A. A. Konoplancew, S. N. Siemionow (1979), J. Lambor (1962), J. Miecznicki i in. (1979) starają się wiązać wahania z wpływem różnych czynników: geologicznych, hydrogeologicznych, klimatycznych, termicznych. Czynniki te mają wpływ na zmiany dobowe, tygodniowe, miesięczne, roczne i wieloletnie. Cotygodniowy system pomiarów, stosowany w omawianej sieci, nie pozwala na pełną ocenę charakteru zmian dobowych i tygodniowych, w niewielkim także stopniu miesięcznych (tylko cztery, ewentualnie pięć pomiarów; jedynie w stacjach I-go rzędu prowadzi się pomiary codzienne). Możliwa jest więc tylko analiza zmian w cyklu rocznym i wieloletnim. W literaturze spotyka się propozycje różnych rozwiązań metodycznych zarówno w ustalaniu współzależności między stanami zwierciadła a wpływem wybranych czynników przyrodniczych, jak i metod prognozowania zwierciadła. Dąży się zwykle do określenia powtarzalności stanów. Niektórzy badacze nazywają to rytmem wahań (rytm roczny, sezonowy itp.). Istotne jest też określenie typu wahań, przez co należy rozumieć czas trwania stanów zwierciadła. Jak wiadomo, W. Koehne (*vide* Z. Pazdro, 1985) wydzieliła dwa stany wahań wód gruntowych: oceaniczny z maksimum stanu w styczniu, powolną regresją do końca lipca i ponownym

Fig. 2. Histogram zbiorczy częstotliwości wahań zwierciadła wody w studni nr 331, z okresu 1978–1987, w porównaniu ze stanem minimalnym (liczba w punkcie zerowym)

1 — krzywa rozkładu; 2 — średnia amplituda wahań z wielolecia;  $n$  — liczba obserwacji

The cumulative histogram of the frequency of the fluctuations of the water level in the well No 331 in the years 1978–1987 in comparison with the minimal level (the figure at point zero)

1 — curve of distribution; 2 — mean amplitude computed for many years;  $n$  — number of observations



wzniosem oraz kontynentalny — z długotrwałym stanem wysokim od marca do końca maja i powolną regresją do ponownego, powolnego wzniosu na początku listopada. Z różnych publikacji na te tematy wynika, że przeważają typy mieszane. Z wykresów, jakie podają J. Miecznicki i in. (1979) dla kilkunastu studni, wynika maksimum wiosenne od marca do lipca, przy czym większość krzywych wahań jest podobna do krzywej kontynentalnej W. Koehnego, ale w kilku przypadkach można znaleźć podobieństwo do krzywej oceanicznej. Wybrane przez tych autorów przykłady z kilku różnych regionów potwierdzają koncepcję mieszanego typu wahań zwierciadła. Wahania typu kontynentalnego są charakterystyczne dla mroźnych zim z pokrywą śnieżną, a wahania typu oceanicznego występują w okresach zim bezmroźnych i bezśnieżnych. Należy zwrócić uwagę, że przesunięcie czasowe maksimum w obu krzywych wynosi około dwóch miesięcy.

Analizując przebieg zmian głębokości zwierciadła wód podziemnych (fig. 1) można zauważyć wyraźne sezonowe wahania. Zmiany te zachodzą w ciągu jednego roku i związane są niewątpliwie z sezonowymi zmianami klimatycznymi powodującymi kulminację wzniosu bądź regresję zwierciadła wód podziemnych. Charakterystyczne są wysokie stany w okresie wiosennym i regresja trwająca do końca roku hydrologicznego. Obserwacje z lat 1980–1981 mają nieco odmienny charakter, ponieważ wiosenny cykl wzniosu — jesienno-zimowa regresja — są rozciągnięte na dwa lata. Stany wysokie najdłużej utrzymywały się od stycznia 1986 do końca 1988 r. (regresja rozpoczęła się w styczniu 1989 r., czego już na rysunku nie uwzględniono). Jest tu więc widoczny cykl wieloletni trwający trzy lata, z wahaniami sezonowymi nie przekraczającymi 1 m, przy czym najwyższe stany przypadają na okresy wiosenne z różnymi przesunięciami czasowymi. Z rozkładu stanów z wielolecia (fig. 2 i 3) widać, że największa frekwencja (73,8%) przypada na stany średnie i nieco niższe od średnich, o wahaniami w przedziale 1–4 m, w odniesieniu do stanu minimalnego w wieloleciu (średnia z wielolecia głębokość do zwierciadła wody wynosi 14,36 m p.p.t., średnia roczna amplituda — 2,16 m). Stany niskie — o wahaniami do 1 m oraz stany wysokie o dużych wahaniami (4–6 m) — w odniesieniu do stanu minimalnego wykazują bardzo małą frekwencję (odpowiednio 12,2 i 14,0%).

Jest oczywiście trudno prognozować stany i ich częstotliwość, czyli powtarzalność przy tak zmiennej ich cykliczności. Dlatego wahania przedstawione na fig. 1

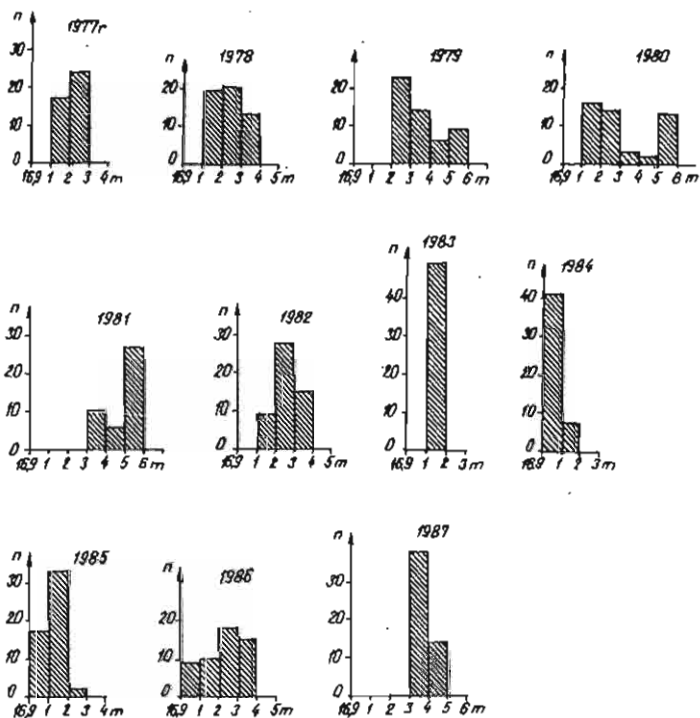


Fig. 3. Histogramy częstotliwości wahań zwierciadła wody w studni nr 331, w latach 1978–1987, w porównaniu ze stanem minimalnym (liczba w punkcie zerowym)

The histograms of the frequency of the fluctuations of the water level in the well No 331 in the years 1978–1987 in comparison with the minimal level (the figure at point zero)

sprowadzono do formy zgeneralizowanej dla rocznego cyklu hydrologicznego przez uśrednienie danych pomiarowych (fig. 4). Wyliczone średnie miesięczne stany z dziesięciolecia wykazują, że w każdym roku hydrologicznym stan maksymalny występuje w okresie wiosennym i trwa stosunkowo długo, po czym występują pewne nieistotne wahania krótkotrwałe i rozpoczyna się stopniowa regresja do ponownego wzniosu. Jeżeli otrzymaną średnią (fig. 4) porówna się z wykresem na fig. 1, to łatwo zauważyć, że stany wysokie są przeważnie związane z okresem wiosennym lub wczesnowiosennym bez względu na ich wartość. W ten sposób średnia stanów jest jakby cechą charakterystyczną studni w cyklu rocznym. Znaczenie jej polega na tym, że jest ona podstawą, do której można przyrównać wszelkie przewidywane zmiany i ich trendy. W miarę wydłużania cyklu obserwacyjnego o dalsze dziesięć lat, średnia z dwudziestu lat może mieć inny kształt.

Inną cechą studni może być amplituda wahań. Zjawisko to zależy od wielu czynników: opadów, warunków zasilania powierzchniowego i bocznego, czasu trwania pokrywy śnieżnej i głębokości przemarzania. Brak danych nie pozwala analizować zależności między amplitudą wahań a wpływem tych czynników, dlatego wartość amplitudy należy traktować jako wartość wypadkową. Oczywiście zmiennymi czynni-

Przykładowe zastawienie wyznaczania stanu średniego i przedziałów ufnosci dla poszczególnych miesięcy w latach 1978–1987  
(punkt 331 — Gietczew Dolny)

Miesiąc	Rok hydrologiczny		Liczba obserwacji	Średni stan miesięczny dla wielolecia	Odchylenie standardowe dla m-ca	Przedział ufnosci dla miesiąca	
	1978	1987				górnny	dolny
Listopad	15,00	13,20	42	14,49	1,38	14,27	15,11
	15,00	13,10					
	15,05	13,10					
	15,10	13,00					
Grudzień	15,10	12,90	45	14,65	1,68	14,16	15,14
	15,10	12,90					
	15,10	13,05					
	15,20	13,00					
	15,40	13,00					
Styczeń	15,40	13,00	46	14,83	1,48	14,40	15,26
	15,45	12,95					
	15,45	12,90					
	15,40	12,90					
	15,30						
Luty	15,30	12,85	44	14,77	1,48	14,33	15,21
	15,40	12,90					
	15,50	12,90					
	15,50	12,90					
	—	—					
Październik	14,80	12,70	49	14,53	1,31	14,16	14,90
	14,70	12,65					
	14,70	12,60					
	14,70	12,60					
	14,65						

Tabela 2

Zestawienie charakterystycznych stanów wód podziemnych oraz przedziały ufności stanu średniego w latach 1977–1987  
(punkt 331 — Gielczew Dolny)

Cecha	Miesiące											
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Średni miesięczny stan z wielolecia ( $X_m$ )	14,69	14,65	14,83	14,77	14,23	14,02	13,93	14,04	14,25	14,17	14,29	14,53
Odchylenie standardowe ( $S_n$ )	1,38	1,68	1,48	1,48	1,42	1,56	1,39	1,21	1,21	1,34	1,42	1,31
Górny przedział ufności stanu średniego	14,27	14,16	14,40	14,33	13,82	13,57	13,52	13,68	13,91	13,91	13,89	14,16
Dolny przedział ufności stanu średniego	15,11	15,14	15,26	15,21	14,65	14,46	14,34	14,39	14,59	14,55	14,70	14,90
Liczba obserwacji ( $n$ )	42	45	46	44	45	47	44	44	48	49	47	49
$X_m - 3S_n$	10,55	9,61	10,39	10,33	9,97	9,34	9,76	10,41	10,62	10,15	10,03	10,06
$X_m + 3S_n$	18,83	19,69	10,27	19,27	18,49	18,7	18,1	17,67	17,88	18,19	18,55	18,46
Maksymalny stan absolutny (m p.p.t.)	11,20	10,90	11,00	11,10	11,60	11,10	11,50	12,10	11,15	11,05	11,00	11,80
Minimalny stan absolutny (m p.p.t.)	16,70	16,90	16,80	16,60	16,70	16,30	16,60	16,70	16,50	16,50	16,55	16,60

kami będą opady, głębokość przemarzania, czas trwania pokrywy śnieżnej, do stałych należą właściwości filtracyjne warstw wodonośnych i warunki ich zasilania, a także pojemność retencyjna.

Przyjmując więc, że wahanie stanów zwierciadła jest funkcją wielu tych czynników zmieniających się w różnych latach, to obraz przeciętny z wielolecia można uzyskać przez generalizację danych pomiarowych. Ta zasada została przyjęta przy opracowywaniu wyników wahań zwierciadła na obszarze niecki lubelsko-radomskiej.

## ZASADY OPRACOWANIA WYNIKÓW POMIAROWYCH

Charakterystykę wahań zwierciadła przedstawiono na przykładzie danych pomiarowych studni obserwacyjnej nr 331 (fig. 6), wykonanej w utworach kredowych. Głębokość studni wynosi 30 m, głębokość nawierconego zwierciadła wody 15,4 m p.p.t., a poziomu ustalonego 14,68 m p.p.t. Rzędna punktu 220 m n.p.m., odległość od cieku w linii prostej 700 m. Obliczenia przeprowadzono na komputerze IBM XT, według programu, który opracowała J. Ambroziak-Pelka w Zakładzie Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej PiG.

Opracowanie wyników obserwacji zwierciadła wód podziemnych oparto na metodzie reprezentacyjnej (A. Krawczyk, T. Słomka, 1986 i inni), jednej z form badania częściowego, w której na podstawie fragmentu zbiorowości można wnioskować o całym zbiorze. Założono, że częścią zbiorowości są poniedziałkowe pomiary głębokości zwierciadła wody, natomiast stan zwierciadła w całym cyklu obserwacyjnym jest całą zbiorowością. Oznacza to, że dane, którymi dysponujemy, traktujemy jako próbę. Metoda ta polega na wyznaczeniu średnich miesięcznych stanów zwierciadła z wielolecia, odchyień standardowych oraz przedziałów ufności dla tych stanów. Sposób obliczania średniego miesięcznego stanu z wielolecia, odchylenia standardowego oraz granic przedziału ufności stanu średniego dla każdego miesiąca zestawiono w tab. 1.

Pierwszym etapem analizy statystycznej było obliczenie średnich stanów miesięcznych z wielolecia. Uzyskano w ten sposób 12 wartości (tab. 2), na podstawie których wykonano wykres przedstawiający średni stan zwierciadła w okresie obserwacyjnym, który można przyjąć jako cechę charakterystyczną danej studni (fig. 4).

Dla poznania, w jakim stopniu stany w poszczególnych miesiącach koncentrują się wokół wartości średniej z wielolecia, obliczono odchylenie standardowe według następującego wzoru:

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2}{n-1} - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n(n-1)}}$$

gdzie:  $S_n$  — odchylenie standardowe;  $X_i$  — stan zwierciadła w każdym  $i$ -tym elemencie (w każdy poniedziałek miesiąca);  $n$  — liczba obserwacji w danym miesiącu w latach 1977–1987.

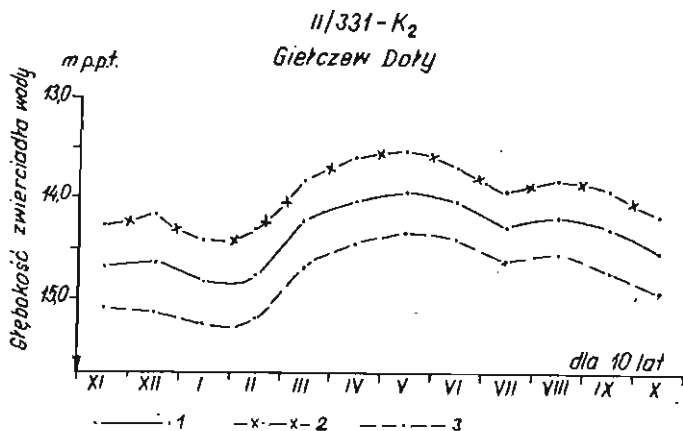


Fig. 4. Wykres uśrednionych wahań zwierciadła wody w studni nr 331 i granice przedziału ufności  
1 — średnia z wielolecia; 2 — górna granica przedziału ufności; 3 — dolna granica przedziału ufności

The diagram of the averaged fluctuations of the water level in the well No 331 and the limits of confidence interval

1 — mean counted for many years; 2 — upper limit of the confidence interval; 3 — lower limit of the confidence interval

Posługując się metodą reprezentacyjną nie jesteśmy w stanie na podstawie jednej próby (poniedziałkowe pomiary rozpatrywane w cyklu miesięcznym) określić ściśle, jaki jest rzeczywisty średni miesięczny stan zwierciadła wody w wieloleciu. Można natomiast określić, w jakich granicach (przedziale ufności) mieści się z zadanim prawdopodobieństwem, wyrażonym przez współczynnik ufności, średni miesięczny stan zwierciadła wody w wieloleciu. Prawdopodobieństwo może być dowolnie dobierane (tu obliczenia zostały przeprowadzone dla wartości 95%), nosi nazwę współczynnika ufności, jest wyrażone w procentach i oznaczane jako  $100(1-\alpha)$ . Dla wartości średniej  $100(1-\alpha)$  procentowy przedział ufności określony został wzorem:

$$\bar{X}_m \pm \frac{u_\alpha S_n}{n}$$

gdzie:  $\bar{X}_m$  — średni miesięczny stan zwierciadła w wieloleciu;  $S_n$  — odchylenie standardowe;  $n$  — liczba obserwacji w danym miesiącu w latach 1977–1987;  $u_\alpha$  — wartość zmiennej losowej  $u$  o rozkładzie normalnym  $N(0,1)$  wyznaczona tak, aby:  $P\{-u_\alpha < u < u_\alpha\} = 1-\alpha$ , dla  $(1-\alpha)100\% = 95\%$ ,  $u_\alpha = 1,96$  (przyjęto za A. Krawczykiem i T. Słomką, 1986).

Wykonane obliczenia stały się podstawą sporządzenia wykresu, na którym przedstawiono średni miesięczny stan zwierciadła w wieloleciu oraz przedziałową estymację stanu średniego (fig. 4). Wyznaczenie przedziału ufności pozwala określić możliwe zmiany w położeniu średnich stanów zwierciadła wód podziemnych, a górna i dolna granica określają możliwe prognostyczne, graniczne wartości, poza które przesunięcie średniego stanu wynosi 5% prawdopodobieństwa.



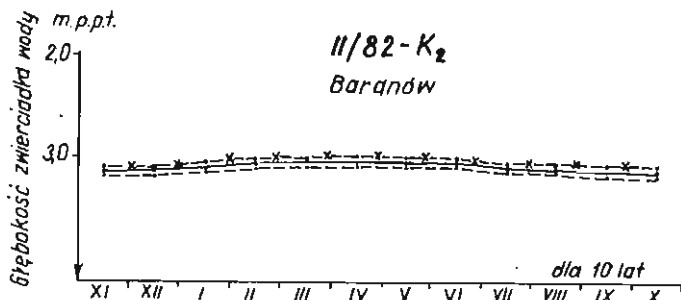


Fig. 5. Wykres uśrednionych wahań zwierciadła wody w studni nr 82 i granice przedziału ufności

Objaśnienia jak na fig. 4

The diagram of the averaged fluctuations of the water level in the well No 82 and the limits of the confidence intervall

Explanations as in Fig. 4

Przedstawiona wyżej metoda, którą w uproszczeniu można nazwać analizą stanów średnich, znajduje zastosowanie niezależnie od tego czy w zbiorowości ogólnej, z której dokonujemy losowania, wartości badanej cechy dają krzywą normalną czy nie. Wychodząc z założenia statystyki przyjęto, że średnie z próby, jeżeli ona charakteryzuje dużą częstotliwość pomiarów, układają się według krzywej normalnej.

Przed przystąpieniem do obliczeń powinno się sprawdzić dokładność i wiarygodność danych wyjściowych. Dla wyeliminowania ewentualnych błędów (tzw. błędów grubych) zastosowano metodę trzech odchyleń standardowych, polegającą na sprawdzeniu czy wielkość jakiejś obserwacji nie różni się od wielkości średniej o więcej niż trzy odchylenia standardowe ( $3S_n$ ). W przypadku studni nr 331 żadna z wartości ekstremalnych nie wychodziła poza przedział ( $X \pm 3S_n$ , czyli 10,07–18,65 przy średniej z wielolecia wynoszącej 14,36 m i odchyleniu standardowym 1,43). Może się jednak to zdarzyć, szczególnie przy niewielkiej ilości danych. Trzeba wówczas sprawdzić czy ta ekstremalna wartość nie jest wynikiem popełnienia błędu przy zapisie, odczytaniu lub kodowaniu obserwacji.

W świetle analizy wszystkich studni obserwacyjnych na obszarze niecki lubelsko-radomskiej omówioną wyżej metodę można uznać za właściwą.

Przykład uśrednienia wahań poniżej 0,5 m przedstawia fig. 5 (studnia nr 82, głębokość do nawierconego zwierciadła wody wynosi 53 m p.p.t.). Jest to zatem poziom występujący przypuszczalnie poniżej bazy drenażu, a więc w strefie wód stagnujących, zasilanych strumieniami tranzytowymi (H. Pajnowska, 1984). Z punktu widzenia oceny zmian w zasobach odnawialnych studnia ta wskazuje na bardzo małe wahania.

## PROBLEMY PROGNOZOWANIA STANÓW ZWIERCIADŁA WÓD PODZIEMNYCH

Wyznaczenie średnich miesięcznych z wielolecia oraz przedziału ufności ułatwia ustalanie prognoz stanów średnich w granicach tego przedziału. Na temat prognozowania istnieje dość obszerna literatura (rosyjska), w której można spotkać różne koncepcje opracowywania wyników pomiarów. A. Konoplancew i S. Siemionow (1979) podają kilka metod prognozowania stanów zwierciadła wód podziemnych, a ich dobór zależy od zakresu prowadzonych obserwacji uwzględniających również inne czynniki, od których mogą zależeć zmiany w położeniu zwierciadła.

W omawianym przypadku zakres obserwacji jest mały i ogranicza się w zasadzie do pomiarów zwierciadła wody, temperatury i badań chemizmu wód. Dlatego przy doborze metod prognozowania kierowano się wyborem metod najmniej skomplikowanych. Autorzy ci spośród kilku metod hydrodynamicznych rekomendują metodę Boussinesq-Maillleta, wychodząc ze znanego wzoru:

$$Q = Q_0 e^{-\alpha t} \text{ dla wydajności}$$

$$H = H_0 e^{-\alpha t} \text{ dla położenia zwierciadła}$$

gdzie:  $H$  — prognozowana wartość słupa wody w otworze wyliczona dla dowolnego, zakładanego czasu  $t$ .

Współczynnik regresji zalecają obliczać według wzoru:

$$\alpha = \frac{\pi^2 k h_{sr}}{4 \mu L^2}$$

gdzie:  $k$  — współczynnik filtracji;  $h_{sr}$  — średnia miąższość warstwy wodonośnej;  $\mu$  — współczynnik odsączalności;  $L$  — odległość od źródła, lub miejsca drenażu, do wododziału wód gruntowych;  $t$  — czas obserwacji.

Posługiwanie się powyższym wzorem jest w pewnym stopniu kłopotliwe, gdyż na omawianym obszarze miąższość warstwy wodonośnej nie jest ściśle ustalona, chociaż istnieją na ten temat określone poglądy (S. Krajewski, 1972 *vide* F. Knyszyński, 1983). Są też trudności z wyznaczeniem wartości  $\mu$ , a nawet  $L$ , jeśli studnię traktować jako element rejestrujący przepływ drenażowy. Dlatego też autorzy przyjmują nieco odmienny sposób obliczania współczynnika regresji. Jeżeli istnieje podobieństwo matematyczne zjawisk opisanych wzorem Boussinesq-Maillleta, to prościej jest obliczyć współczynnik regresji ze wzoru:

$$H = H_0 e^{-\alpha t}$$

Przez zlogarytmowanie obu stron równania otrzymuje się:

$$\lg H = \lg H_0 - (\alpha t \lg e)$$

a po odpowiednim dalszym przekształceniu:

$$\alpha = \frac{\lg H_0 - \lg H}{0,4343t}$$

Stosując ten wzór dla dowolnego czasu  $t$  w okresie regresji, można łatwo wyznaczyć wysokość słupa wody  $H$  w studni. W ten sposób sporządza się mapy prognostyczne (synoptyczne) przy regresjach długotrwałych, a szczególnie w okresach długotrwałej suszy, kiedy ustaje zasilanie i odpływają tylko zapasy zretencjonowane.

Inaczej przedstawia się prognoza wzniosu zwierciadła, który wynika z dopływu przez zasilanie. W. M. Szestakow (1965) zastosował dla prognozowania wzniosu zasadę dodawania przepływów, którym odpowiada wznios, i otrzymał prognostyczne stany zwierciadła jako "skokowe", posługując się analitycznymi rozwiązaniami różniczkowymi. Z uwagi na to, że w omawianym przypadku nie dysponujemy odpowiednio częstymi danymi pomiarowymi, nie można tej metody zastosować. W związku z tym przyjęto zasadę sumowania cząstkowych przepływów i zmodyfikowano metodę hydrodynamiczną w następujący sposób:

$$\frac{\Delta H}{t} = w_d$$

gdzie:  $\Delta H$  — przyrost wysokości słupa wody w studni w okresie  $t$  w m;  $t$  — całkowity czas wzniosu;  $w_d$  — dobowy przyrost wzniosu zwierciadła w m.

Wzór ten wskazuje, że wartość  $w_d$  jest tangensem kąta, jaki wyznacza prosta biegnąca przez punkty  $\Delta H$  i  $t$  (fig. 1). Tym samym wartość ta może być traktowana jako pewien współczynnik — tu współczynnik zasilania — uwidaczniający się w dobowych przyrostach słupa wody i odzwierciedlający warunki zasilania i przepływu. W rozważaniach przyjęto wartość  $w_d$  jako średnią z wielolecia, którą można uznać za charakterystyczną w strefie danej studni.

Wzór powyższy pozwala wyznaczyć wartość  $t$  z relacji  $\Delta H:w_d$ , natomiast prognostyczna wartość  $\Delta H = t \cdot w_d$ . Jeżeli na przykład wznios  $\Delta H = 1,5$  m nastąpił w czasie  $t = 90$  dni, to  $w_d = 0,01666$ . Prognozując stan, np. dla 60 dni, otrzymuje się wartość 0,90, co oznacza, że poczynając od stanu początkowego  $H_p$  przyrost zwierciadła  $\Delta H$  wyniesie 0,90 m. Przyjmując, że wysokość słupa wody w studni z rozpoczęciem wzniosu wynosi 5 m, po 60 dniach osiągnie wysokość  $5 + 0,90 = 5,90$  m. Można więc napisać, że całkowita wysokość słupa wody w studni wynosi:

$$H_e = H_p + \Delta H$$

gdzie:  $H_e$  — całkowita wysokość słupa wody w studni w prognozowanym okresie  $t$ ;  $H_p$  — początkowa wysokość słupa wody w studni z chwilą rozpoczęcia wzniosu zwierciadła;  $\Delta H$  — przyrost wysokości słupa wody w studni w prognozowanym czasie  $t$ .

Tabela 3

Wskaźniki zasilania, odpływu i retencji  
obliczone dla studni nr 331 różnymi metodami

Metoda	Wskaźniki w mm		
	zasilania	odpływu	retencji
Bilansowa (sumowanie przyrostów i ubytków)	196,2	74,5	121,7
Obliczona z amplitudy wahań	192,3	69,4	122,9

Jakkolwiek metoda ta ma cechy pewnego uogólnienia (nie uwzględnia bowiem wpływu innych czynników na wznios lub spadek zwierciadła, głównie przepuszczalności warstwy wodonośnej), to w aspekcie oceny wzniosu w odnawialności zasobów jest wystarczająca przy obecnym, zawężonym zakresie obserwacji.

Za pomocą metody wzniosu i regresji można wykreślić mapy prognoz (mapy synoptyczne), ilustrujące roczne zmiany w odnawialności zasobów. Istotne jest tu szczególnie wykorzystanie mapy prognoz regresji, nawet w przedziałach kilkudniowych, które pozwolą określić ubytek zasobów i osiągnięcie stanu niżówkowego.

## WPLYW WAHAŃ NA ZMIANY ZASOBÓW WÓD PODZIEMNYCH

Jak wyżej powiedziano, celem obserwacji jest również wykazanie, w jakim stopniu wahania mogą wpływać na zmiany zasobów wód podziemnych. Ocenę tych zjawisk można przeprowadzić w dwojaki sposób: przez bilansowanie przyrostów rejestrowanych w otworach i strat związanych z odpływem podziemnym w okresach, kiedy nie ma zasilania, oraz drogą odpowiednich przeliczeń na podstawie wartości amplitudy wahań zwierciadła. Obydwa sposoby rozpatrzmy na przykładzie studni obserwacyjnej nr 331. Przez sumowanie przyrostów w zasilaniu każdego miesiąca w ciągu 10 lat, co wyraża podnoszenie się zwierciadła w studni, otrzymano wartość 196,2 mm, natomiast z sumowania ubytków uzyskano 74,5 mm. Różnica wynosi więc 121,7 mm, co odpowiada zapasowi retencji. Przeliczając otrzymane wartości na powierzchnię 1 km<sup>2</sup> otrzymuje się następujące wartości:

- przyrost zasilania — 6,2 dm<sup>3</sup>/s,
- drenaż — 2,3 dm<sup>3</sup>/s.
- zretencjonowana rezerwa, jako zapas na okres następny — 3,9 dm<sup>3</sup>/s.

Dane powyższe wskazują, że w strefie studni nr 331 zasilanie dominowało nad drenażem, a znaczny zapas retencji uwidacznia się w stopniowym podnoszeniu się zwierciadła wody (fig. 1).

Druga metoda oceny zmian zasobów polega na obliczeniu przepływu według znanego wzoru:  $Q = \Delta h \mu F$ , który pozwala przejść na wyznaczenia wskaźników zasila-

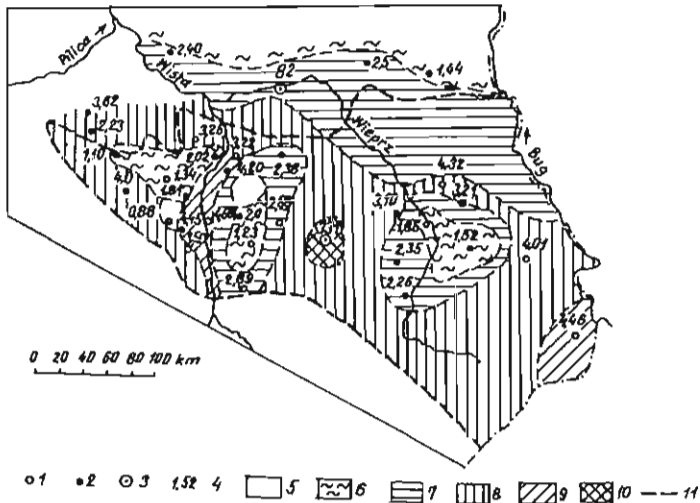


Fig. 6. Mapa amplitud wahań absolutnych zwierciadła wód podziemnych w niecce radomsko-lubelskiej

1, 2 — studnie obserwacyjne: 1 — IMGW, 2 — PIG; 3 — studnie PIG omówione w tekście; 4 — wartość amplitudy wahań; 5–10 — wahania zwierciadła wody: 5 — mniejsze od 1 m, 6 — 1–2 m, 7 — 2–3 m, 8 — 3–4 m, 9 — 4–5 m, 10 — większe od 5 m; 11 — granica niecki radomsko-lubelskiej

The map of the absolute fluctuations of ground water table in Lublin-Radom Basin

1, 2 — observation wells: 1 — IMGW, 2 — PIG; 3 — wells PIG discussed in the text; 4 — value of the amplitude of fluctuations; 5–10 — fluctuations of the water table: 5 — less than 1 m, 6 — 1–2 m, 7 — 2–3 m, 8 — 3–4 m, 9 — 4–5 m, 10 — more than 5 m; 11 — boundary of Lublin-Radom Basin

nia i przepływu. Najwyższa absolutna wartość amplitudy  $\Delta h$  w ciągu 10 lat w studni nr 331 wynosiła 6 m. W obliczeniach nie uwzględniono wartości  $\Delta z$ , gdyż jest to interpretacja a nie pomiar. Przyjmując  $\mu = 0,032$  w utworach kredowych, wyliczoną wzorem Biecińskiego, uzyskuje się  $q = 6,1 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{km}^2$ , jako maksymalny moduł zasilania. Natomiast średnia wartość amplitudy wahań wynosi 2,16 m, co odpowiada odpływowi podziemnemu. Po dokonaniu przeliczenia otrzymuje się  $q = 2,2 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{km}^2$ , jako moduł odpływu podziemnego. Różnica obu wartości jest zretencjonowanym zapasem  $q = 3,9 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{km}^2$ . Porównując wartości otrzymane obydwoma metodami dostrzega się podobieństwo wyników (tab. 3).

Wykonując obliczenia podanych wyżej zasad, dla każdej studni w dowolnym regionie można wykreślić mapy obszarów zasilania i drenażu, na podstawie których możliwe będzie wydzielanie bardziej jednolitych jednostek zasobowych.

Rozkład amplitud wahań na obszarze niecki lubelsko-radomskiej (fig. 6) wskazuje, że dla dużego regionu nie można posługiwać się wartością uśrednioną wahań. Z rozkładu tego wynika bowiem, że na obszarze niecki występuje kilka stref o różnych amplitudach, co świadczy o zmieniających się warunkach hydrogeologicznych i dlatego przyjmowanie średniej amplitudy dla charakterystyki zmian zwierciadła dla całego obszaru byłoby dużym uproszczeniem. Z tego względu średnie amplitudy należy

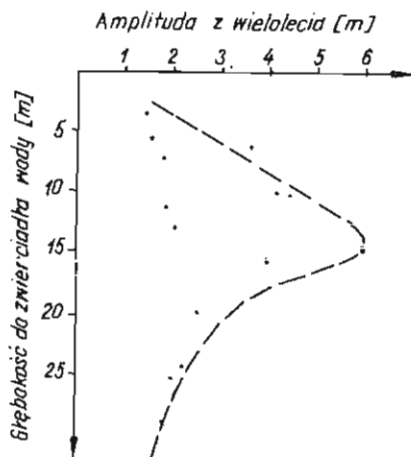


Fig. 7. Zależność amplitudy wahań zwierciadła wód podziemnych w wieloleciu od głębokości występowania zwierciadła

The dependence of the amplitude of fluctuations of the ground water table, counted for many years, on the depth of the water table

ustalać dla powierzchni mniejszych, charakteryzujących się niewielkimi różnicami wahań.

Przytoczony przykład studni nr 331 oraz analiza wahań w innych studniach świadczą, że zmiany w zasobach wód podziemnych, wynikające z warunków naturalnych, nie wykazują trendów malejących.

Na fig. 7 przedstawiono zależność między amplitudą wahań a głębokością studni. Z wykresu tego wynika, że od głębokości 14 m amplitudy wyraźnie maleją. Jest to zjawisko powszechnie zauważalne w innych regionach hydrogeologicznych o szczelinowym systemie krążenia wód podziemnych, które może być wytłumaczone bezpośrednim wpływem opadów, jak również obecnością warstwy rumoszewej w stropie utworów kredowych, gdzie istnieją korzystne warunki przepływu wód. Zależność układu zwierciadła od innych czynników nie może być obecnie w pełni wyjaśniona.

Należy jednak wyraźnie zaznaczyć, że dane pomiarowe sieci pozwalają już jednoznacznie określić skalę zmian ilościowych w zasobach wód podziemnych i opracować prognozy tych zmian. Przedstawione wyżej zasady metodyczne stanowią dla tych potrzeb właściwą drogę.

W zakończeniu autorzy pragną podkreślić, że przedstawione problemy były dyskutowane z drem inż. Zenonem Duchnowskim, który przez kilka lat kierował organizacją sieci obserwacji stacjonarnych i nadzorował jej funkcjonowanie. Nagła śmierć naszego Kolegi przerwała Jego działalność, której poświęcił dużo pracy i zainteresowania.

Państwowy Instytut Geologiczny  
Warszawa, ul. Rakowiecka 4

Nadesłano dnia 10 kwietnia 1990 r.

## PIŚMIENNICTWO

- KONOPLANCEW A. A., SIEMIONOW S. N. (1979) — Prognozowanie i kartograficzne odwzorowanie reżimu wód gruntowych. Wyd. Geol. Warszawa.
- KNYSZYŃSKI F. (1983) — Rola wód podziemnych kredy lubelskiej w kształtowaniu warunków hydrogeologicznych południowej strefy zasilania niecki mazowieckiej. Arch. IHiGI UW. Warszawa.
- KRAWCZYK A., SŁOMKA T. (1986) — Podstawowe metody matematyczne w geologii. Skrypty uczelniane, nr 1026. Kraków.
- LAMBOR J. (1962) — Metody prognoz hydrologicznych. Wyd. Kom. i Łącz. Warszawa.
- MALINOWSKI J., DUCHNOWSKI Z. (1987) — Wstępna ocena wyników wahań zwierciadła wód podziemnych w utworach kredowych niecki lubelsko-radomskiej w świetle danych podstawowej sieci obserwacyjnej. Tech. Poszuk. Geol., 26, p. 27–31, z. 2.
- MIECZNICKI J., PICH J., PŁOCHNIEWSKI Z. (1979) — Metodyka prognozowania reżimu wód gruntowych w Polsce. Arch. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- PAJNOWSKA H. (1984) — Zasilanie podziemne dolin rzecznych w warunkach przepływu wód szczelinowych. Arch. SGGW-AR. Warszawa.
- PAZDRO Z. (1985) — Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol. Warszawa.
- SZESTAKOW W. M. (1965) — Teoreticheskiye osnovy ocenki podpora, wodopoznienija i drenaža. Moskwa.

Jan MALINOWSKI, Elżbieta PRZYTUŁA

THE METODICAL RULES OF INTERPRETATION OF THE FLUCTUATIONS  
OF GROUND WATER TABLE IN THE LUBLIN-RADOM BASIN

S u m m a r y

In the present paper the methodical rules of working-out of the data concerning the fluctuations of ground water table in the area of Lublin-Radom Basin were presented. It is the first trial of the working-out the data taken during the observations in ten-year period.

It was found, that different types of fluctuations existed. In the shallow wells the fluctuations are frequent with small amplitudes, which shows the immediate influence of the atmospheric precipitates. In the deeper wells (30–50 m) the fluctuations are greater, even to 6 m, but not very frequent. The water level in these wells is characterized by slow rises and long regressions. The water level in deep wells (80–100 m) is characterized by very small fluctuations, amounting to about 20–30 cm, without distinct rises and regressions. In this analysis the measurements made in the years 1979–1989 were taken into account. The water level in each well was measured four times in every month, on Mondays, which makes 52 measurements yearly and 520 measurements in the period analysed. Each observation opening was analysed separately. The openings in which the fluctuations were less than 0.5 m were not taken into consideration.

The gathered data were analysed using the statistical methods. From among many possible methods the determination of the arithmetic mean and the confidence intervall with the lower and upper limit. The arithmetic mean determined and its confidence intervall with the probability 95% indicates, that in the further observation cycle the position of middle the water level will change in these limits. The probability of exceeding the limits of the confidence intervall is only 5%. The results of such computation are shown as an example for the observation opening No 331. The distribution of fluctuation is shown at Figs 1–3.

The index of rise, called the index of intake, and the index of regression of the water level were determined. Using these indices, on the assumption that they are the permanent features during the intake and regression of the aquifer, it is possible to compute the foreseen time of the supposed regression or rise

of the water table. In this way it is possible to draw the synoptic maps of the high and low levels, for the short period of time, using the formulas given in the text.

The influence of various geological, geographical, hydrogeological and hydrographical factors on the water levels has not been analysed because the suitable data have not been gathered during present investigations. The existence of some dependance on the depth (Fig. 7) was found; it was however not confirmed for all wells.