

**Stanisław Dubiel\***

**DOBÓR SPOSOBU OKREŚLANIA  
PARAMETRÓW HYDROGEOLOGICZNYCH  
NIEOGRANICZONEJ WARSTWY WODONOŚNEJ,  
W ZALEŻNOŚCI OD TECHNOLOGII JEJ OPRÓBOWANIA\*\***

**1. WSTĘP**

Studniami wierconymi udostępnia się zwykle warstwy wodonośne zalegające w warunkach naporowych, tj. o zwierciadle napiętym. Opróbowanie tych warstw realizuje się, stosując różne technologie np. w postaci próbnego pompowania jednej lub kilku studni ze stałym lub zmiennym wydatkiem oraz obserwacji opadania lub wzniosu zwierciadła wody w jednym lub kilku otworach obserwacyjnych [1, 4, 6, 7]. Stosuje się także coraz częściej technologie opróbowania warstw wodonośnych z zastosowaniem rurowych próbników złoża, realizując testy chłonności tych warstw, testy przyływu wody do otworu wiertniczego (studni wierconej) oraz testy odbudowy ciśnienia dennego, a także testy interferencyjne [2, 3, 5].

Jednym z głównych celów opróbowania warstw wodonośnych, realizowanego najczęściej w postaci obserwacji opadania lub wzniosu zwierciadła wody w jednym otworze obserwacyjnym, jest określenie parametrów hydrogeologicznych tych warstw, służących do oceny wartości złoża wody. Przy ocenie wartości złoża wody, oprócz współczynnika przewodności hydraulicznej, bardzo istotna jest znajomość współczynnika piezoprzewodności, a także współczynnika odsączalności sprężystej warstwy wodonośnej [1, 4, 8].

Na szczególną uwagę zasługuje znajomość wartości współczynnika piezoprzewodności, który w sposób kompleksowy charakteryzuje właściwości filtracyjne i zbiornikowe badanej warstwy wodonośnej. W ogólnym przypadku charakteryzuje on prędkość rozprzestrzeniania się leja depresyjnego w warstwie wodonośnej. Wyniki obserwacji tego rozprzestrzeniania mogą być wykorzystane do dokładniejszego określania wspomnianych współczynników.

---

\* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

\*\* Praca wykonana została w ramach badań statutowych Zakładu Ochrony Środowiska w Gospodarce WWiNiG

W warstwach wodonośnych o zwierciadle swobodnym współczynnik piezoprzewodności wyraża się wzorem

$$a = \frac{k_f \cdot M}{\mu} = T/\mu \quad (1)$$

gdzie:

- $k_f$  – współczynnik filtracji skał wodonośnych [m/s],
- $M$  – miąższość warstwy wodonośnej [m],
- $T$  – współczynnik przewodności hydraulicznej [ $m^2/s$ ],
- $\mu$  – współczynnik odsączalności grawitacyjnej [bezwymiarowy]

$$\mu = n_a \frac{\gamma_{sz}}{\gamma_w} S_{zw} \quad (2)$$

gdzie:

- $n_a$  – współczynnik porowatości absolutnej [ułamek dziesiętny],
- $\gamma_{sz}$  – ciężar właściwy szkieletu skały wodonośnej [ $N/m^3$ ],
- $\gamma_w$  – ciężar właściwy wody złożowej [ $N/m^3$ ],
- $S$  – nasycenie (nasiąkliwość) skały zbiornikowej wodą związaną [ułamek dziesiętny].

W przypadku warstw o zwierciadle napiętym wzór na współczynnik piezoprzewodności ma postać

$$a = \frac{k_f \cdot M}{\mu^*} = T/\mu^* \quad (3)$$

gdzie  $\mu$  – współczynnik odsączalności sprężystej [bezwymiarowy]

$$\mu^* = \gamma_w \cdot c^* \cdot M \quad (4)$$

gdzie  $c^*$  – ściśliwość skały nasyconej wodą (wg W.N. Szczałkaczewa [1]) wyraża się wzorem

$$c^* = n_a \cdot c_w + c_s \quad (5)$$

gdzie:  $c_w$  i  $c_s$  – współczynnik ściśliwości, odpowiednio, wody i skały.

Współczynnik ściśliwości wody waha się w granicach  $(3,7 \div 5) \cdot 10^{-10} Pa^{-1}$ , a współczynnik ściśliwości skał wodonośnych można przyjmować w granicach  $(0,3 \div 2) \cdot 10^{-10} Pa^{-1}$  [2, 3].

W ogólnym przypadku, przy doborze metody określania parametrów hydrogeologicznych opróbowanej warstwy wodonośnej należy uwzględnić następujące grupy czynników [1–6]:

- warunki geologiczne (np. rodzaj skał zbiornikowych, zmiany litologiczne i pojemnościowe skał wodonośnych w płaszczyźnie nie poziomej i pionowej – wielowarstwowość złoża, oraz występowanie i budowa granic warstwy wodonośnej, a także warunki panujące na tych granicach);
- warunki hydrogeologiczne (np. warstwy o zwierciadle swobodnym lub napiętym, dodatkowo zasilane z naturalnych zbiorników powierzchniowych lub o ograniczonym zasilaniu);
- parametry technologiczne procesu obniżania lub wzniosu zwierciadła wody (np. wielkość depresji i sposób jej wytworzenia, stosowanie stałego lub zmiennego wydatku pompowania, projektowany czas opróbowania, budowa hydrowęzła, w tym liczba otworów obserwacyjnych oraz liczba studni pompowanych).

## **2. PODSTAWY OKREŚLANIA PARAMETRÓW HYDROGEOLOGICZNYCH WARSTWY WODONOŚNEJ NA PODSTAWIE WYNIKÓW OBSERWACJI OPADANIA ZWIERCIADŁA WODY W FUNKCJI CZASU**

W przypadku opróbowania nieograniczonej warstwy wodonośnej zbudowanej z okruchowych, jednorodnych skał zbiornikowych, zalegającej w warunkach naporowych, przy stałym wydatku pompowania wody z jednej studni, interpretację wyników obserwacji obniżania zwierciadła wody w jednym otworze piezometrycznym w funkcji czasu pompowania można realizować z dużym powodzeniem przy zastosowaniu graficznej interpretacji wzoru przybliżenia logarytmicznego Theisa–Jacoba [1, 4, 7].

Metoda ta oparta jest na aproksymacji logarytmicznej równania Theisa i nazywana metodą przybliżenia logarytmicznego.

W warstwie wodonośnej o zwierciadle napiętym (izolowanej w stropie i spągu) obniżanie zwierciadła wody w skale zbiornikowej kształtuje się pod wpływem sprężystego naporu wód. Zależność między obniżeniem zwierciadła (depresją) i czasem jego obserwacji opisana jest równaniem Theisa [1]

$$s = -\frac{Q}{4\pi k_f \cdot M} \cdot Ei\left(-\frac{x^2}{4at}\right) \quad (6)$$

gdzie:

- $s$  – obniżenie zwierciadła wody (depresja) w odległości  $x$  od studni, w której realizuje się pompowanie, w czasie  $t$  liczonym od rozpoczęcia pompowania,
- $Q$  – wydatek pompowania,
- $x$  – odległość otworu obserwacyjnego od studni,
- $Ei$  – całkowita funkcja wykładnicza,
- $a$  – współczynnik piezoprzewodności warstwy wodonośnej,
- $t$  – czas liczony od początku pompowania.

Pozostałe oznaczenia jak poprzednio.

Po określonym czasie (tym większym, im większa jest odległość od otworu piezometrycznego, w którym obserwuje się zwierciadło, do studni pompowanej) całkowita funkcja wykładnicza  $Ei$  staje się praktycznie równa funkcji logarytmicznej, toteż obniżenie zwierciadła w czasie można wyrazić zależnością logarytmiczną podaną przez Theisa i Jacoba [1, 4, 6]

$$s = \frac{0,183 \cdot Q}{4\pi k_f \cdot M} \cdot \log \frac{2,25 \cdot a \cdot t}{x^2} \quad \text{dla} \quad \frac{x^2}{4 \cdot a \cdot t} \leq 0,1 \quad (7)$$

Czas, po którego upływie dopuszczalna jest zamiana funkcji całkowitej na logarytmiczną, nazywa się czasem wystąpienia przepływu pseudoustalonego, a strefa, w której obowiązuje logarytmiczna zależność, nazywa się strefą przepływu pseudoustalonego [1]. Szczególną osobliwością tej strefy jest jednakowe tempo obniżania się zwierciadła we wszystkich punktach rozmieszczonych w jej granicach. Inaczej mówiąc, w strefie tej krzywe rozprzeszczenia się depresji w czasie są równoległe do siebie.

Czas nastąpienia ( $t_o$ ) i promień strefy ( $R_o$ ) przepływu pseudoustalonego mogą być określone wzorami:

$$t_o \geq \frac{2,5x^2}{a} \quad (8)$$

$$R_o = 0,63\sqrt{at} \quad (9)$$

W taki sposób w izolowanych, naporowych warstwach wodonośnych obniżenie zwierciadła po określonym upływie czasu od rozpoczęcia pompowania związane jest zależnością prostoliniową logarytmu z czasu. Stwierdzenie to stało się podstawą graficznej metody określania parametrów hydrogeologicznych warstwy wodonośnej drogą analizowania wykresu w układzie  $s = f(\log t)$ . Jeśli uwzględni się wzór (3) we wzorze (7), zależność obniżania zwierciadła wody w funkcji logarytmu czasu pompowania przyjmuje postać

$$s = \frac{0,183 \cdot Q}{T} \cdot \log \frac{2,25 \cdot T \cdot t}{x^2 \cdot \mu^*} \quad (10)$$

Wzór przybliżenia logarytmicznego (10) (który nie wymaga sporządzania wykresów funkcji wzorcowych) można stosować wówczas, gdy  $\mu^* < 0,1$ , co jest spełnione od momentu, gdy kształt wykresu  $s = f(\log t)$  przybiera postać prostej jak na rysunku 1. Odpowiada to przepływowi pseudoustalonemu, który zgodnie ze wzorami (8) i (9) następuje po czasie  $t_o$  w strefie o promieniu drenażu  $R_o$ .

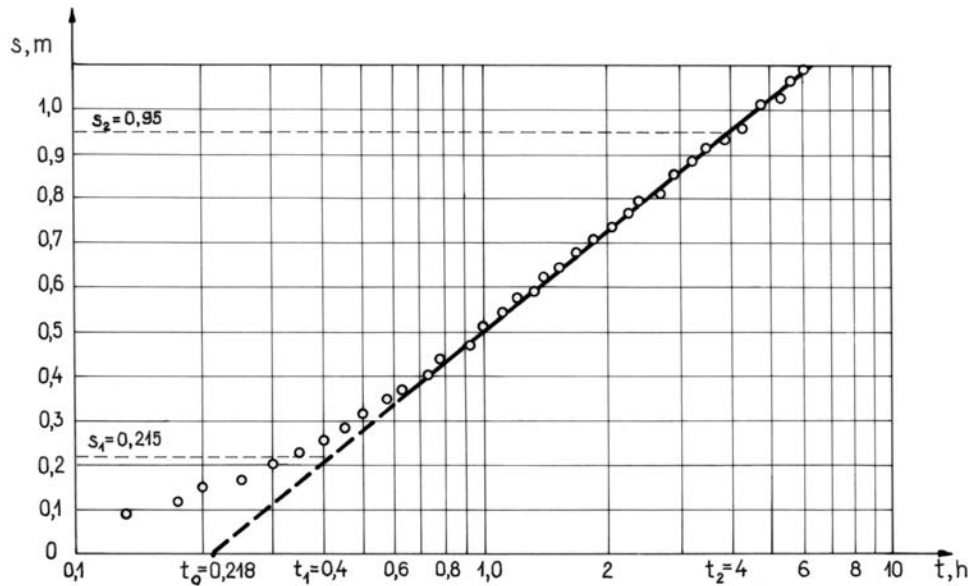
Przedstawiając wzór (10) w postaci

$$s = \frac{0,183 \cdot Q}{T} \cdot \left( \log \frac{2,25 \cdot T \cdot t}{x^2 \cdot \mu^*} + \log t \right) \quad (11)$$

łatwo zauważyć, że jest on funkcją o stałych wartościach:

$$\frac{0,183 \cdot Q}{T}; \quad \log \frac{2,25 \cdot T}{x^2 \cdot \mu^*} \quad (12)$$

i zmiennych wartościach  $\log t, s$ .



**Rys. 1.** Przykładowy wykres zależności  $s = f(\log t)$  sporządzony w skali półlogarytmicznej. Dane:  $M = 50$  m;  $Q = 60$  m<sup>3</sup>/h;  $x = 100$  m. Wyniki interpretacji:  $t_0 = 0,218$  h;  $C = 0,735$  m/cykl log;  $T = 14,94$  m<sup>2</sup>/h;  $k_f = 0,3$  m/h;  $\mu^* = 7,32 \times 10^{-4}$ ;  $a = 20\,410$  m<sup>2</sup>/h

Pozwala to na rozwiązanie graficzne wzoru przybliżenia logarytmicznego na papierze półlogarytmicznym, przez wykreślenie na nim wykresu  $s = f(\log t)$  i wyznaczenie prostej przedstawionej na rysunku 1.

Następnie oblicza się nachylenie tej prostej do osi czasu

$$C = \frac{\Delta s}{\Delta(\log t)} \quad (13)$$

W tym celu najwygodniej jest odczytywać wielkość przyrostu obniżania zwierciadła (depresji) w przedziale dziesiętnym. Wówczas wartość mianownika w tym ilorazie jest równa jedności, bo różnica między kolejnymi wartościami przedziałów logarytmicznych  $t$  równa jest jedności (przykładowo:  $\Delta(\log t) = \log 100 - \log 10 = 1$  lub  $\Delta(\log t) = \log 1,5 - \log 0,15 = 1$ ).

Można więc zapisać

$$\frac{0,183 \cdot Q}{T} = \frac{\Delta s}{\Delta(\log t)} = \frac{\Delta s}{1} = C \quad (14)$$

a stąd po przekształceniu obliczyć współczynnik przewodności hydraulicznej według wzoru

$$T = \frac{0,183 \cdot Q}{C} \quad (15)$$

W celu określenia współczynnika odsączalności sprężystej  $\mu^*$  wykres prostej prowadzi się do przecięcia z osią  $\log t$ , wówczas  $s = 0$ . Odciętą wartość  $t$  oznacza się wówczas jako  $t_0$ . Na podstawie wzoru (10) można wówczas zapisać

$$0 = \frac{0,183 \cdot Q}{T} \log \frac{2,25 \cdot T \cdot t_0}{x^2 \cdot \mu^*} \quad (16)$$

Jeżeli iloczyn jest zerem, to musi nim być również jeden z czynników. W czasie pompowania i dopływu wody do studni wartość nachylenia prostej  $\frac{0,183 \cdot Q}{T}$  nie może być równa 0. Jest nim zatem logarytm. Mamy więc równość

$$\log \frac{2,25 \cdot T \cdot t_0}{x^2 \cdot \mu^*} = \log 1 \quad (17)$$

a stąd po przekształceniu otrzymuje się wzór na współczynnik odsączalności sprężystej

$$\mu^* = \frac{2,25 \cdot T \cdot t_0}{x^2} \quad (18)$$

Wzór (10) można graficznie rozwiązać również w układzie współrzędnych prostokątnych. Wówczas na osi rzędnych nanosi się wartości obniżenia zwierciadła (depresji), a na osi odciętych – odpowiadające im wartości  $\log t$ . Otrzymuje się wtedy zbiór punktów, który umożliwia wyznaczenie prostej, jak na rysunku 2.

Otrzymana prosta przecina oś rzędnych w odległości  $A$  od początku układu współrzędnych, a wartość tej rzędnej początkowej wynosi

$$A = \frac{0,183 \cdot Q}{T} \log \frac{2,25 \cdot T}{x^2 \cdot \mu^*} \quad (19)$$

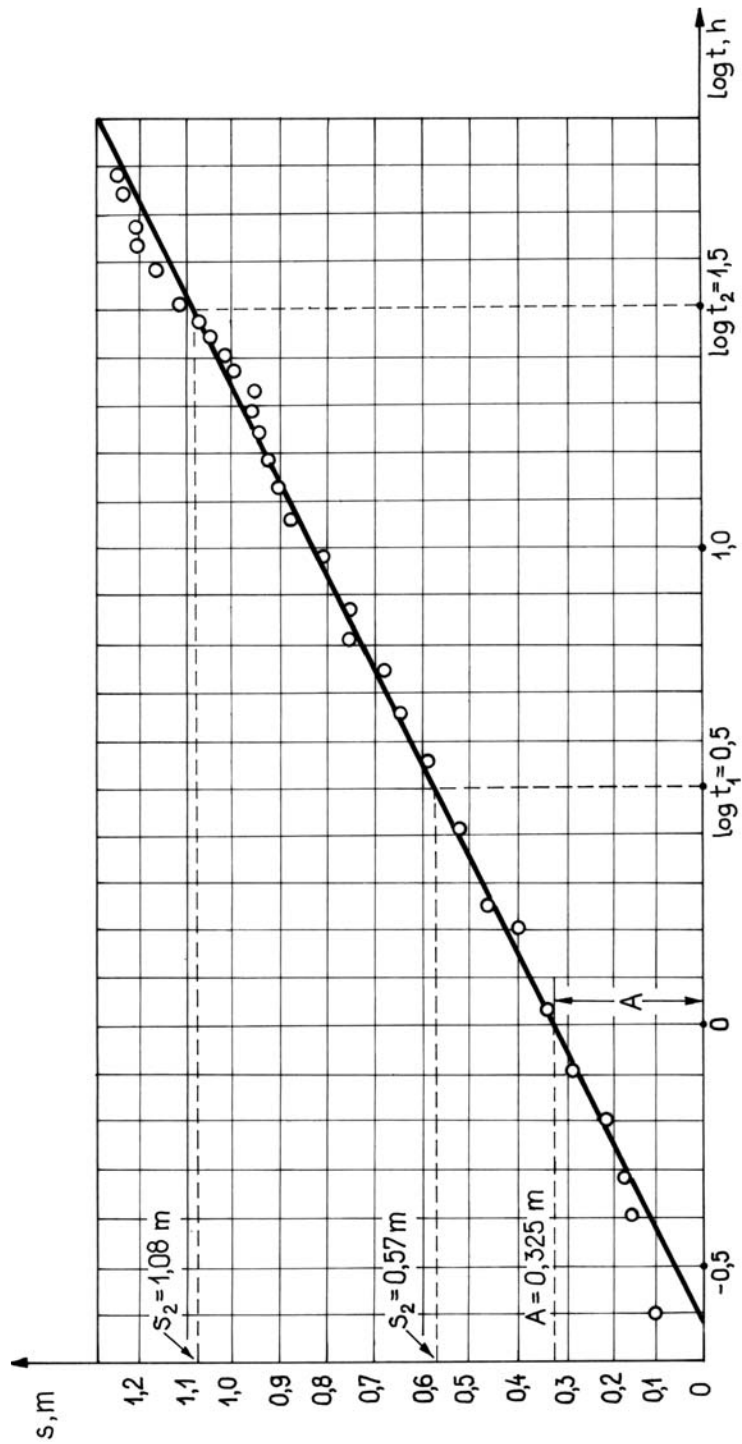
Nachylenie prostej oblicza się z zależności

$$C = \frac{s_2 - s_1}{\log t_2 - \log t_1} \quad (20)$$

gdzie:

$s_1, s_2$  – wartości depresji w dwóch wybranych punktach leżących na wyznaczonej prostej,

$t_1, t_2$  – wartości czasów w tych wybranych punktach.



Rys. 2. Przykładowy wykres zależności  $s = f(\log t)$  sporządzony w układzie współrzędnych prostokątnych. Dane:  $Q = 110 \text{ m}^3/\text{h}$ ;  $M = 55 \text{ m}$ ;  $x = 125 \text{ m}$ . Wyniki interpretacji:  $C = 0,51 \text{ m}$ ;  $A = 0,325 \text{ m}$ ;  $T = 39,47 \text{ m}^2/\text{h}$ ;  $k_f = 0,72 \text{ m/h}$ ;  $a = 30\,200 \text{ m}^2/\text{h}$ ;  $\mu^* = 1,307 \times 10^{-3}$

Po uwzględnieniu wzorów (3) i (14) we wzorze (19) otrzymujemy ten wzór w postaci

$$A = C \cdot \log \frac{2,25 \cdot a}{x^2} \quad (21)$$

Na podstawie tego wzoru, po jego przekształceniu i uwzględnieniu wartości  $\log 2,25 = 0,35$ , można określić współczynnik piezoprzewodności  $a$  oraz współczynnik odsączalności sprężystej  $\mu^*$ :

$$\log a = 2 \log x - 0,35 + \frac{A}{C} = N \quad (22)$$

$$a = 10^N \quad (23)$$

$$\mu^* = \frac{T}{a} \quad (24)$$

### 3. ZASADY WYBORU SPOSOBU OKREŚLANIA PARAMETRÓW HYDROGEOLOGICZNYCH

W celu zwiększenia dokładności obliczeń omawianych parametrów hydrogeologicznych warstwy wodonośnej, wzór (10) zapisuje się w postaci równania prostej w półlogarytmicznym układzie współrzędnych nie tylko w postaci dotychczas omówionej zależności czasowej:  $s = f(\log t)$ , ale także w postaci zależności rozprzestrzeniania się leja depresyjnego:  $s = f(\log x_n)$ , a ponadto w postaci zależności kompleksowej:  $s = f(\log t/x_n^2)$ , z uwzględnieniem odpowiednich rzędnych początkowych oraz nachyleń poszczególnych prostych:  $A_t$  i  $C_t$ ,  $A_x$  i  $C_x$ ,  $A_k$  i  $C_k$  (gdzie:  $t/x_n^2$  – kompleksowy wskaźnik złożowy warstwy;  $x_n$  – odległość  $n$ -tego otworu obserwacyjnego od studni).

W zależności od wybranego układu współrzędnych, możliwe są trzy następujące sposoby interpretacji wyników tego typu opróbowań.

- 1) **Sposób interpretacji wyników obserwacji zmian zwierciadła wody w funkcji czasu mierzonego od początku pompowania.** Podstawy teoretyczne tego sposobu podano już wcześniej. Interpretację realizuje się za pomocą linii prostej w układzie współrzędnych:  $s$ ;  $\log t$  o równaniu

$$s = A_t + C_t \cdot \log t \quad \text{dla } x = \text{const} \quad (25)$$

Sposób ten polega na obserwacji obniżania zwierciadła wody w czasie pompowania. Współczynniki: przewodności hydraulicznej oraz piezoprzewodności, określa się (jak już wyżej podano) na podstawie wartości nachylenia prostej ( $C_t$ ) i wartości współrzędnej początkowej ( $A_t$ ) tej prostej (na rys. 2,  $A_t = A$ ), będącej wykresem zależności (25). Podstawowymi danymi do sporządzenia tego wykresu są wyniki pomiarów zmian zwierciadła w studni lub w jednym otworze obserwacyjnym ( $n = 1$ ).



- 2) **Sposób interpretacji zmian zwierciadła wody w funkcji rozprzestrzeniania się leja depresyjnego w warstwie wodonośnej.** Interpretacja danych z tego typu opróbowań realizowana jest w układzie współrzędnych:  $s$ ;  $\log x_n$ , za pomocą linii prostej o następującym równaniu

$$s = A_x - C_x \cdot \log x \quad \text{dla } t = \text{const} \quad (26)$$

Sposób ten polega na interpretacji wyników obserwacji zmian zwierciadła wody w funkcji rozprzestrzeniania się leja depresyjnego w warstwie wodonośnej. Współczynnik przewodności hydraulicznej oraz współczynnik piezoprzewodności określa się na podstawie wartości nachylenia ( $C_x$ ) i rzędnej początkowej ( $A_x$ ) prostej, będącej wykresem równania (26). Podstawowymi informacjami potrzebnymi do sporządzenia tego wykresu są wyniki pomiarów zmian zwierciadła wody wykonywanych jednocześnie w kilku otworach obserwacyjnych ( $n > 1$ ).

- 3) **Sposób interpretacji obserwacji zmian zwierciadła wody w formie kompleksowej (złożonej).** Interpretacja wyników opróbowania realizowana jest w układzie współrzędnych:  $s$ ;  $\log(t/x_n^2)$ , za pomocą linii prostej o równaniu

$$s = A_k + C_k \cdot \log \frac{t}{x_n^2} \quad (27)$$

Sposób ten polega na jednoczesnym (złożonym) przedstawieniu zmian zwierciadła wody w funkcji czasu i przemieszczania leja depresyjnego. Współczynniki przewodności hydraulicznej oraz piezoprzewodności określa się na podstawie wartości nachylenia ( $C_k$ ) oraz rzędnej początkowej ( $A_k$ ) tej prostej, będącej wykresem zależności (27). Informacje niezbędne do sporządzenia takich wykresów uzyskuje się, przeprowadzając regularne pomiary zmian zwierciadła wody, wykonywane jednocześnie w kilku otworach obserwacyjnych ( $n > 1$ ).

Przedstawione sposoby interpretacji są słuszne dla warunku pseudostacjonarnej filtracji wody. Przy tym warunku wykresy interpretacji wyników równoczesnej obserwacji czasowej, przemieszczeniowej i kompleksowej są prostoliniowe, a wykresy obserwacji przemieszczeniowej, sporządzone dla kilku przedziałów czasowych, są równoległe. W taki sposób, przy wystarczającej dla praktyki dokładności, normą dla spełnienia warunku przepływu pseudostacjonarnego podczas omawianej technologii opróbowania jest prostoliniowość i równoległość przebiegu wykresów zmian zwierciadła wody, sporządzonych na podstawie wzoru przybliżenia logarytmicznego Theisa–Jacoba.

W celu jednoznacznego wyznaczenia odcinka wykresu zależności czasowej, odpowiadającego przepływowi pseudostacjonarnemu, stosuje się kryterium analityczne w postaci czasu kontrolnego  $t_k$  [1]

$$t_k = \frac{x^2}{0,4 \cdot a} \quad (28)$$

gdzie  $x$  – odległość studni od najbliższego otworu obserwacyjnego.

Dobór właściwych współrzędnych do skonstruowania wykresu przybliżenia logarytmicznego, a następnie przyjęcie odpowiednich wzorów służących do obliczeń parametrów hydrogeologicznych  $T$  i  $a$ , umożliwia tabela 1, w której uwzględniono omawiane sposoby interpretacji wyników obserwacji zmian zwierciadła wody.

**Tabela 1**

Zestawienie wzorów do określania parametrów hydrogeologicznych warstwy wodonośnej w zależności od sposobu interpretacji wyników obserwacji obniżania zwierciadła wody

Sposoby określania parametrów hydrogeologicznych warstwy wodonośnej		
obserwacja czasowa	obserwacja przemieszczeniowa	obserwacja kombinowana
$s = f(\log t)$	$s = f(\log x_n)$	$s = f\left(\log \frac{t}{x_n^2}\right)$
$T = \frac{0,183 \cdot Q}{C_t}$	$T = \frac{0,366 \cdot Q}{C_x}$	$T = \frac{0,183 \cdot Q}{C_k}$
$\log a = 2 \log x - 0,35 + \frac{A_t}{C_t}$	$\log a = \frac{2 \cdot A_x}{C_x} - 0,35 - \log t$	$\log a = \frac{A_k}{C_k} - 0,35$

Przez rzędne początkowe:  $A_t$ ,  $A_x$  i  $A_k$ , rozumie się odcinek od początku układu współrzędnych do punktu przecięcia wykresu (prostej) z osią rzędnych, dla wartości odpowiednio:  $\log t = 0$ ,  $\log x_n = 0$ ,  $\log \frac{t}{x_n^2} = 0$ .

Nachylenia prostych określa się odpowiednio ilorazem:

- dla zależności czasowej wartość  $C_t$  – wzorem (20);
- dla zależności przemieszczeniowej

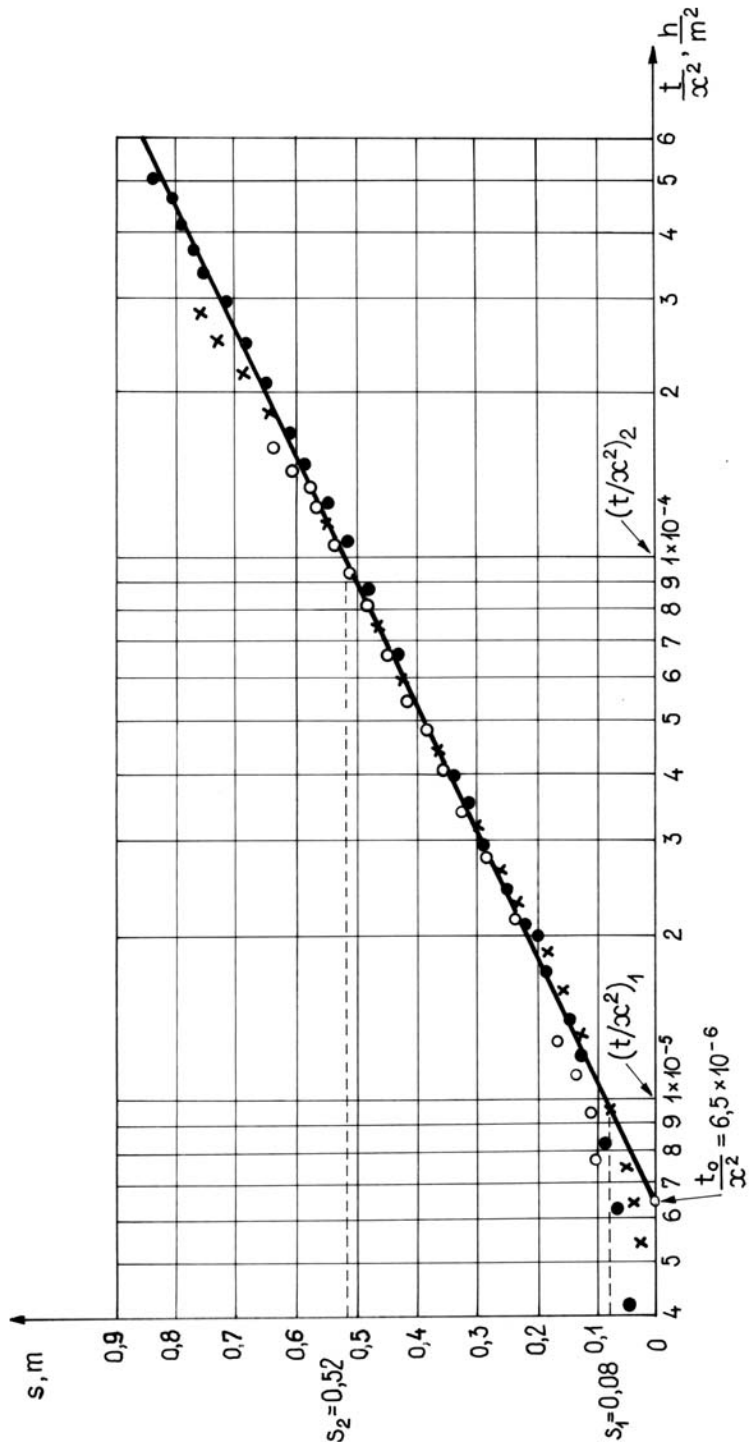
$$C_x = \frac{s_2 - s_1}{\log x_{n2} - \log x_{n1}} \quad (29)$$

- dla zależności kompleksowej

$$C_k = \frac{s_2 - s_1}{\log \left(\frac{t}{x_n^2}\right)_2 - \log \left(\frac{t}{x_n^2}\right)_1} \quad (30)$$

Wartości nachylenia omawianych prostych można również określać jako różnicę obniżenia zwierciadła (różnicę depresji), przyjmując odpowiednio:  $\log t_2 - \log t_1 = 1$  (rys. 1);

$$\log x_{n2} - \log x_{n1} = 1; \log \left(\frac{t}{x_n^2}\right)_2 - \log \left(\frac{t}{x_n^2}\right)_1 = 1 \text{ (rys. 3).}$$



**Rys. 3.** Przykładowy wykres zależności sporządzonej w skali półlogarytmicznej. Dane:  $Q = 100 \text{ m}^3/\text{h}$ ;  $M = 50 \text{ m}$ ;  $x = 100 \text{ m}$ . Wyniki interpretacji:  
 $C_k = \Delta s = 0,44 \text{ m/cykl log}$ ;  $t_0 x^2 = 0,0000065 \text{ h/m}^2$ ;  $T = 41,59 \text{ m}^2/\text{h}$ ;  $k_f = 0,83 \text{ m/h}$ ;  $\mu^* = 6,08 \times 10^{-4}$ ;  $a = 68\ 405 \text{ m}^2/\text{h}$

Stosowanie w praktyce wzoru przybliżenia logarytmicznego Theisa–Jacoba jest warunkiem utrzymania stałej wartości wydatku pompowania wody. Każde inne rozwiązanie technologiczne nie spełniające tego warunku staje się przyczyną anomalii, tj. odchyłeń wykresów zależności czasowych i kompleksowych od przebiegu prostoliniowego oraz odchyłeń od równoległości wykresów sporządzonych na podstawie równoczesnych zależności czasowych i przemieszczeniowych. Oprócz tego, niespełnienie warunku stałego wydatku pompowania powoduje brak zbieżności interpretacji wyników opróbowań uzyskanych przy zastosowaniu innych technologii. Dlatego wskazany jest taki dobór sposobów interpretacji danych z opróbowań, który pozwoliłby na unikanie anomalii związanych z technologią pompowania.

Nieregularne i regularne zmiany wydatku pompowania wpływają na specyfikę interpretacji wyników na różnych etapach pompowania, tak podczas stosowania obniżania, jak też podczas wznoszenia się zwierciadła wody. Ponadto brak prostoliniowych przebiegów omawianych zależności może być spowodowany występowaniem granicy złoża wody w postaci uskoku lub wyklinowania warstwy wodonośnej, a także w przypadku niejednorodnych skał zbiornikowych (np. porowo-szczelinowych).

Schemat blokowy szczegółowego doboru metody interpretacji wyników opróbowania warstw wodonośnych rurowym próbnikiem złoża zamieszczono w pracy [2].

#### 4. WNIOSKI KOŃCOWE

1. W przypadku opróbowania nieograniczonej warstwy wodonośnej o zwierciadle napiętym, zbudowanej z jednorodnych skał zbiornikowych (np. skały okruchowe), parametry hydrogeologiczne tej warstwy można określać na podstawie wyników obserwacji obniżania zwierciadła wody, stosując graficzną interpretację wzoru przybliżenia logarytmicznego Theisa–Jacoba.
2. Przedstawione w niniejszej publikacji sposoby określenia podstawowych parametrów hydrogeologicznych warstw wodonośnych, takich jak: współczynnik przewodności hydraulicznej, współczynnik odsączalności oraz współczynnik piezoprzewodności, na podstawie danych z opróbowania metodą pompowania wody ze studni ze stałym wydatkiem, dają wyniki wiarygodne w przypadkach, gdy odpowiednie wykresy interpretacyjne uzyskuje się w postaci linii prostych.
3. Przy doborze poszczególnych sposobów interpretacyjnych należy uwzględniać warunki technologiczne opróbowania, zależne od usytuowania badanej studni w hydrowęźle, a w szczególności od liczby możliwych do wykorzystania otworów obserwacyjnych.
4. Zwiększenie dokładności wyników oceny wartości złoża jest możliwe przy równoczesnym zastosowaniu co najmniej dwu sposobów interpretacji wyników opróbowania.

#### LITERATURA

- [1] Borjewskij B.W., Samsonow B.G., Jazwin L.S.: *Metodika opriedielienija parametrow wodonosnych gorizontow po dannym otkacziak*. Moskwa, „Niedra” 1973
- [2] Dubiel S., Chrząszcz W., Rzyczniak M.: *Problemy opróbowania warstw perspektywicznych rurowymi próbnikami złoża*. Kraków, UWND AGH 2003

- [3] Karnauchow M.L., Rjazancjew N.F.: *Sprawocznik po ispytaniu skważyn*. Moskwa, „Niedra” 1984
- [4] Kulma R.: *Podstawy obliczeń filtracji wód podziemnych*. Kraków, Wydawnictwa AGH 1995
- [5] *Oprogramowanie interpretacji testów otworowych firmy Kappa*. Kraków, ZPNiG 1993–1995
- [6] Przybyłek J., Brylska E., Dąbrowski S.: *Zasady obliczeń filtracji nieustalanej według wzorów Theisa i Hantusha*. Warszawa, 1971
- [7] Szczepański A.: *Dynamika wód podziemnych*. Warszawa, 1977
- [8] Szczepański A.: *Zagadnienia oceny eksploatacyjnych zasobów złóż i ujęć wodnych*. Techn. Poszuk. Geologicznych, z. 1, 1979