

**Stanisław Dąbrowski
Jan Przybyłek**

**Metodyka próbnych pompowań
w dokumentowaniu zasobów
wód podziemnych**

Poradnik metodyczny



Warszawa 2005

Recenzent
Andrzej Szczepański

Ilustracje
Zespół autorski

Komputerowe opracowanie ilustracji
Beata Janiszewska

Korekta
Piotr Rumatowski

Opracowanie zamówione przez Ministra Środowiska

Wykonane przez:
HYDROCONSULT Sp. z o.o. Biuro Studiów Badań Hydrogeologicznych
i Geofizycznych, 60-161 Poznań, ul. Smardzewska 15

Sfinansowano ze środków
Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

© Copyright by Ministerstwo Środowiska

ISBN 83-86564-53-9

Skład i łamanie:
Bogucki Wydawnictwo Naukowe
Górna Wilda 90
61-576 Poznań
e-mail: bogucki@bogucki.com.pl
www.bogucki.com.pl

Druk i oprawa:
Edica S.A.
ul. Forteczna 3/5
61-362 Poznań

Spis treści

Przedmowa	7
1. Znaczenie próbnych pompowań w badaniach hydrogeologicznych	15
2. Podstawowe wiadomości o dynamice wód podziemnych	19
2.1. Prawo Darcy'ego i wodoprzepuszczalność skał	19
2.2. Rodzaje warstw wodonośnych	21
2.3. Parametry hydrodynamiczne	26
2.4. Równania przepływu wód podziemnych	28
2.4.1. Równania ogólne	28
2.4.2. Równania dopływu do studni zupełnej	29
2.4.2.1. Równania dopływu ustalonego	29
2.4.2.2. Równania dopływu nieustalonego	34
2.4.3. Wznios zwierciadła wody	41
2.5. Granice warstw wodonośnych	44
3. Zasady wykonywania próbnego pompowania	48
3.1. Przygotowanie badań	48
3.2. Zaprojektowanie otworów rozpoznawczych	48
3.2.1. Przewidywana wydajność i depresja	49
3.2.2. Konstrukcja otworu	49
3.2.3. Dobór pompy i odprowadzenie wody z pompowania	50
3.3. Otwory obserwacyjne (piezometry)	51
3.3.1. Rozmieszczenie, liczba otworów obserwacyjnych	51
3.3.2. Odległości otworów obserwacyjnych od otworu pompowanego	54
3.3.3. Głębokość posadowienia filtrów w otworach obserwacyjnych	57
3.3.4. Konstrukcje piezometrów	58
3.4. Pomiar w czasie próbnego pompowania	59
3.4.1. Organizacja i prowadzenie pomiarów	59
3.4.2. Pomiar wydajności i zwierciadła wody	59
3.4.3. Inne pomiary	61
3.5. Zmiany wydajności, przerwy w pompowaniu	61
3.6. Czas trwania pompowania	62
3.7. Dzienniki próbnego pompowania	63
3.8. Wykresy próbnego pompowania	66
4. Wyznaczanie parametrów hydraulicznych studni	76
4.1. Próbnego pompowania kilkustopniowe z czasem trwania każdego stopnia powyżej doby	79
4.2. Krótkotrwałe pompowania jednostopniowe powtarzalne	82

5. Metody interpretacji wyników próbných pompowań w warstwach wodonośnych o nieograniczonym zasięgu	87
5.1. Warstwa wodonośna o zwierciadle naporowym	87
5.1.1. Nieustalony stan strumienia w warstwie o szczelnym stropie i spągu	87
5.1.1.1. Metoda podwójnie logarytmiczna Theisa	87
5.1.1.2. Metoda przybliżenia logarytmicznego Theisa-Jacoba	92
5.1.2. Nieustalony stan strumienia w warstwie ze stałym przesiąkaniem	95
5.1.2.1. Metoda podwójnie logarytmiczna Waltona	95
5.1.2.2. Metoda przybliżenia logarytmicznego Hantusha	100
5.1.3. Warstwa wodonośna z nieustalonym przesiąkaniem	104
5.1.3.1. Metoda podwójnie logarytmiczna Hantusha	104
5.1.3.2. Możliwość zastosowania do obliczeń metody przybliżenia logarytmicznego Theisa-Jacoba	108
5.1.4. Quasi-ustalony i ustalony stan strumienia	110
5.1.4.1. Metoda Dupuita-Thiema	110
5.1.4.2. Metoda podwójnie logarytmiczna De Glee	113
5.2. Warstwy wodonośne o zwierciadle niezupełnie swobodnym	116
5.2.1. Nieustalony stan strumienia – metoda podwójnie logarytmiczna Boultona	116
5.2.2. Możliwość zastosowania do obliczeń metody przybliżenia logarytmicznego Theisa-Jacoba	120
5.3. Warstwy wodonośne o zwierciadle swobodnym	121
5.3.1. Pompowanie hydrowęzłowe na wysokim tarasie rzeki Brdy	122
5.3.2. Pompowania hydrowęzłowe w Pradolinie Pomorskiej	126
5.3.3. Pompowanie hydrowęzłowe warstwy wodonośnej z podwójną porowatością (porowo-szczelinowa)	131
6. Metody interpretacji wyników próbných pompowań w warstwach wodonośnych ograniczonych jednostronnie	139
6.1. Warstwa wodonośna z granicą zasilania	139
6.2. Warstwa wodonośna z granicą szczelną	146
7. Zasady interpretacji wyników pompowań prowadzonych w pojedynczych otworach	152
7.1. Wpływ pojemności studni na wyniki obserwacji opadania i wzniosu zwierciadła wody	152
7.2. Zeskok zwierciadła i jego określenie z krzywych opadania i wzniosu	154
7.2.1. Straty ciśnienia – zeskok zwierciadła wody w otworze pompowanym	154
7.2.2. Określenie zeskoku zwierciadła wody	155
7.2.2.1. Analiza krzywej $s = f(\lg r)$	155
7.2.2.2. Analiza krzywych $s = f(\lg t)$ z pompowania studni	156
7.2.2.3. Analiza krzywej wzniosu $s' = f(\lg t')$	156

7.3. Zasady interpretacji filtracji nieustalanej z pompowań pojedynczych otworów	157
7.3.1. Różnice między opadaniem i wzniosem zwierciadła wody w otworach pompowanych w porównaniu z otworami obserwacyjnymi	157
7.3.2. Informacje hydrogeologiczne uzyskiwane z interpretacji opadania i wzniosu zwierciadła wody w otworach pompowanych	159
7.4. Przykłady interpretacji próbnych pompowań z pojedynczych otworów	160
8. Interpretacja wyników próbnych pompowań w złożonych warunkach hydrogeologicznych	173
8.1. Warstwy wodonośne o zmienności facjalnej osadów	173
8.2. Warstwy wodonośne w pobliżu okien hydrogeologicznych	179
8.3. Warstwy wodonośne w dolinach kopalnych	184
8.4. Warstwy wodonośne w dolinach rzek	198
8.5. Masywy skał szczelinowych	210
9. Interpretacja wyników próbnych pompowań zespołowych	221
9.1. Kenozoiczne struktury hydrogeologiczne	221
9.1.1. Warstwa wodonośna w strefie Wysoczyzny Leszczyńskiej	221
9.1.2. Warstwa wodonośna w Pradolinie Warszawsko-Berlińskiej	228
9.1.3. Warstwy wodonośne na Pojezierzu Zachodniopomorskim	230
9.2. Mezozoiczne masywy skał szczelinowych	235
9.2.1. Masyw górnojurajski w rejonie Rawy Mazowieckiej	235
9.2.2. Masyw triasowy w rejonie Skarżyska-Kamiennej	239
10. Próbne pompowania w dokumentowaniu zasobów wód podziemnych	245
10.1. Wykorzystanie wyników próbnych pompowań do sporządzania prognoz zasobowych	247
10.2. Wykorzystanie wyników próbnych pompowań w modelowaniu matematycznym	250
11. Programy komputerowe do interpretacji próbnych pompowań	255
Literatura źródłowa i uzupełniająca	260
Indeks haseł	267
Dodatki	271
Nomogramy	293

PRZEDMOWA

Próbne pompowania są doświadczeniami terenowymi, na podstawie których oblicza się parametry filtracyjne, określa się schemat zasilania badanej warstwy, formułuje wnioski dotyczące ustalenia zasobów wód podziemnych. Ze względu na ich ważność, a także koszty, muszą one być przedsięwzięciami przemyślanymi, dającymi konkretne efekty badawcze i ekonomiczne. Pierwsze wydanie metodyki ukazało się w 1980 r. i firmowane było przez ówczesny Centralny Urząd Geologii.

Intencją autorów niniejszej metodyki jest przekazanie hydrogeologom praktykom sprawdzonych podczas wieloletnich doświadczeń metod interpretacji próbnych pompowań, zasad ich projektowania i wykonywania. W opracowaniu poradnika oprócz materiałów własnych wykorzystano terenowe materiały doświadczalne przedsiębiorstw z całego kraju z badań wykonanych przez: Zbigniewa Balcerkiewicza, Irenę Chęcińską, Krystynę Czaplíńską-Smalczyńską, Czesława Gaika, Leokadię Jałowic, Emilię Jelińską, Mikołaja Karpę, Tadeusza Kłyżę, Marka Kurosza, Henryka Lamperskiego, Dobrochnę Maszońską, Włodzimierza Matuszaka, Wandę Oldyńską, Jana Prażaka, Witolda Rynarzewskiego, Lucjana Safadera, Jądwigę Strumiłło, Jerzego Szenica, Janusza Wojciechowskiego, Grażynę Wójcik, Eugenię Zboralską, Annę Zielińską, Arkadiusza Żarowskiego. Autorzy wyrażają serdeczne podziękowania tym wszystkim koleżankom i kolegom, którzy prowadząc badania terenowe, przyczynili się do uzyskania dokładnych obserwacji z przebiegu próbnych pompowań wykorzystanych w niniejszym poradniku.

W poradniku podano zespół podstawowych metod służących do interpretacji wyników pompowań w warunkach filtracji nieustalanej i ustalonej. W stosunku do wydania z 1980 r. poszerzono treść obecnego poradnika o interpretację wyników filtracji nieustalanej z pompowań pojedynczych otworów, wyznaczanie parametrów hydrogeologicznych studni, a także o nowe metody interpretacji prezentowanych wcześniej zagadnień, łącznie z analizą parametryczną wzniosu zwierciadła wody.

W pierwszej części pracy podano podstawowe wiadomości o dynamice wód podziemnych, zasady wykonywania próbnych pompowań oraz badania hydrauliki studni. W drugiej części przedstawiono podstawowe metody obliczeń parametrów filtracji w warstwach wodonośnych o nieograniczonym zasięgu wraz z przykładami, metody interpretacji próbnych pompowań w warstwach ograniczonych jednostronnie oraz w złożonych układach hydrogeologicznych, w tym pompowań zespołowych. W rozdziale końcowym podano przykłady wykorzystania wyników próbnych pompowań w dokumentowaniu zasobów wód podziemnych i identyfikacji modeli matematycznych. Zaprezentowano również przykład możliwości wykorzystania biblioteki programowej w zakresie interpretacji wyników próbnych pompowań.

Do pracy dołączono tabele wartości funkcji wykorzystywanych w obliczeniach hydrogeologicznych oraz ich nomogramy, umożliwiające niezależną od bibliotek programowych interpretację wyników pompowań.

Przedmiotowa metodyka jest szczegółowym poradnikiem w zakresie pompowań zasygnalizowanych w „Metodyce określania zasobów eksploatacyjnych ujęć zwykłych wód podziemnych” z 2004 r. Dla jednolitego odbioru treści o badaniach hydrauliki studni, w obu poradnikach przywołano identyczne treści odnoszące się do tego zagadnienia. Jednocześnie Autorzy podkreślają, że oferowany Poradnik metodyczny nie wyczerpuje stopnia złożoności zjawisk opisywanych w szczegółowej literaturze. Z tych względów przytoczono szeroki zestaw zarówno literatury źródłowej jak i uzupełniającej.

Oznaczenia literowe

1. Parametry geometryczne

- m miąższość naporowej warstwy wodonośnej [L], (*m*, nr hasła 492*)
- m' miąższość warstwy słabo przepuszczalnej [L],
- h, H miąższość swobodnej warstwy wodonośnej, wysokość zwierciadła wody nad spągiem warstwy swobodnej, wysokość naporu hydrostatycznego lub piezometrycznego w warstwie wodonośnej nad poziomem odniesienia [L], (*h*, nr hasła 492*)
- L szerokość strumienia wód podziemnych [L],
- v prędkość filtracji [LT^{-1}], (*v*, nr hasła 740*)
- F powierzchnia przekroju filtracyjnego [L^2]
- l droga filtracji, długość filtru [L]

2. Parametry filtracyjne

- k współczynnik filtracji [LT^{-1}], (*k*, nr hasła 1287*)
- k' współczynnik filtracji pionowej warstw słabo przepuszczalnych i półprzepuszczalnych [LT^{-1}], (*k'* – w wykazach oznaczeń, k_2 , nr hasła 1288*)
- μ współczynnik odsączalności grawitacyjnej, (współczynnik odsączalności, nr hasła 1295*)
- μ_s współczynnik odsączalności sprężystej (zasobności sprężystej, magazynowania), (współczynnik pojemności wodnej, współczynnik zasobności – *S*, nr hasła 1297*)
- μ' współczynnik odsączalności warstw słabo przepuszczalnych,
- T przewodność [L^2T^{-1}], (przewodność warstwy – *T*, nr hasła 794*)
- a współczynnik piezoprzewodności warstw naporowych lub współczynnik przewodności warstw swobodnych [L^2T^{-1}], (przenikliwość hydrauliczna, dyfuzywność hydrauliczna, piezoprzewodność – $a = T/\mu_s$, nr hasła 778*)
- $D = \frac{m'}{k'}$ opór hydrauliczny przesiąkania [T], (oporność filtracyjna pionowa Φ , nr hasła 628*)
- $T' = \frac{k'}{m'}$ współczynnik przeciekania; parametr przesiąkania [T^{-1}], (przewodność pionowa warstwy rozdzielającej – *T'*, nr hasła 797*)
- J spadek hydrauliczny, (gradient hydrauliczny, spadek hydrauliczny – *J*, nr hasła 263*)

3. Parametry obliczeniowe studni

- Q wydajność (wydatek) studni lub ujęcia, objętość przepływu strumienia [L^3T^{-1}], (wydajność studni – *Q*, nr hasła 1314*, natężenie przepływu – *Q*, nr hasła 537*)
- q wydajność jednostkowa studni, przepływ jednostkowy strumienia [L^2T^{-1}] (wydatek jednostkowy studni – *q*, nr hasła 1316*, przepływ jednostkowy – *q*, nr hasła 781*)

- s depresja [L], (*depresja zwierciadła wody – s, nr hasła 157**)
 s_w depresja rzeczywista (mierzona w warstwie wodonośnej w strefie przyfiltrowej studni, występuje we wzorach na dopływ do studni [L]
 Δs depresja dodatkowa (zeskok hydrauliczny w studni) [L]
 s_c depresja całkowita = $s_w + \Delta s$ [L]
 s_1, s_2, \dots, s_n depresja w kolejnych otworach obserwacyjnych lub na kolejnych stopniach dynamicznych pompowania [L]
 r_o promień studni [L], (*promień efektywny (studni) – r_o , nr hasła 760**)
 d średnica studni, rozstaw między studniami lub odległość do granicy warstwy [L], (*d, nr hasła 1040**)
 r_1, r_2, \dots, r_n odległość otworów obserwacyjnych od otworu pompowanego [L]
 R promień leja depresyjnego [L], (*R, nr hasła 762*, lej depresji, nr hasła 434**)

4. Funkcje

$K_o\left(\frac{r}{B}\right) = K_o(x)$ zmodyfikowana funkcja Bessela II stopnia rzędu zerowego

$W(u) = -E_i(u)$ całkowa funkcja wykładnicza, zwana funkcją Theisa dla warstw naporowych

u argument funkcji charakterystycznej: $u = \frac{r^2 \mu}{4Tt} = \frac{r^2}{4at}$

$W\left(u, \frac{r}{B}\right)$ funkcja charakterystyczna Hantusha dla schematu przesiąkania

$W(u, \psi)$ funkcja przesiąkania (przesączania) Hantusha z uwzględnieniem odsączania wody z warstwy słabo przepuszczalnej

$E\left(z, \frac{r}{B}\right)$ zmodyfikowana funkcja Theisa i Hantusha do obliczeń

z argument funkcji $E\left(z, \frac{r}{B}\right)$, $z = \frac{1}{4u}$

$W\left(u_A, u_V, \frac{r}{B}\right)$ funkcja Boultona dla warstw swobodnych z opóźnionym odsączaniem

$\phi = \left(u, \frac{r}{d}\right)$ funkcja studni dla warstw jednostronnie ograniczonych

d odległość otworu obserwacyjnego od granicy warstwy wodonośnej [L]

$B = \sqrt{\frac{T \cdot m'}{k'}}$ współczynnik przesiąkania (przesączania) [L]

$B_1 = \sqrt{\frac{T}{\alpha \mu}}$ współczynnik opóźnionego odsączania warstw swobodnych

$$\psi = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{1}{TD}} \cdot \frac{\mu'}{\mu_s} \text{ argument funkcji } W = (u, \psi)$$

$\frac{1}{\alpha}$ wskaźnik opóźnienia we wzorze Boultona







c współczynnik kierunkowy prostej w rozwiązaniach na wykresach półlogarytmicznych

A poprawka Jacoba




* (wg Słownika hydrogeologicznego, PIG Warszawa 2002)

Oznaczenia graficzne





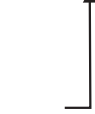
1. Otwory hydrogeologiczne

	otwory rozpoznawcze
	otwory obserwacyjne (piezometry)
	inne otwory hydrogeologiczne
	środek ciężkości eksploatacji zespołu studzien
	przedziały filtrowania otworów rozpoznawczych i piezometrów
	linie przekrojów geologicznych

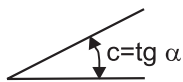
2. Typy warstw

	warstwy wodonośne
	warstwy słabo przepuszczalne
	warstwy nieprzepuszczalne

3. Znaki hydrodynamiczne

	kierunek przepływu wody w warstwie wodonośnej
	przepływ wody w warstwie słabo przepuszczalnej
	ustalone zwierciadło wody podziemnej
	linia ciśnień piezometrycznych
	wielkość naporu (ciśnienia piezometrycznego) w warstwach wodonośnych

4. Oznaczenia na wykresach



nachylenie prostej odpowiadającej względem osi
odciętych na wykresach półlogarytmicznych



punkty arbitralne „A” na wykresach doświadczalnych
podwójnie logarytmicznych

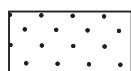
5. Znaki litologiczne



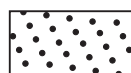
gleba



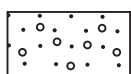
piaski drobnoziarniste



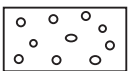
piaski średnioziarniste



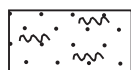
piaski gruboziarniste



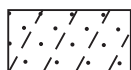
piaski ze żwirem



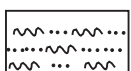
żwir



piaski mułkowate



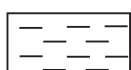
piaski zaglinione



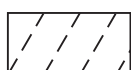
muły i mułki piaszczyste



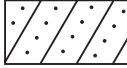
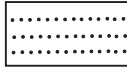
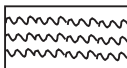
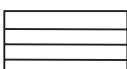
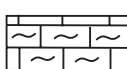



muły i mułki



iły



gliny

	gliny morenowe
	piaskowce
	mułowce
	iłowce
	margle
	wapienie
	torfy
	węgle brunatne

6. Znaki stratygraficzne

H	holocen	plejstocen	czwartorzęd, Q
G _{IV}	złodowacenie bałtyckie (Wisły)		
J _{III/IV}	interglacjał eemski		
G _{III}	złodowacenia środkowopolskie		
J _{II/III}	interglacjał wielki (mazowiecki)		
G _{II}	złodowacenia południowopolskie		
Trp	górny miocen i pliocen	neogen	trzeciorzęd, Tr
Trm	miocen		
Tro	oligocen	paleogen	
Kg	kreda górna	kreda, K	
Kd	kreda dolna		
Jm	malm	jura, J	
Jd	dogger		
Jl	lias		
█	uskoki		

1. ZNACZENIE PRÓBNYCH POMPOWAŃ W BADANIACH HYDROGEOLOGICZNYCH

Próbne pompowania w praktyce hydrogeologicznej są stosowane powszechnie. Nie ma właściwie regionu hydrogeologicznego (poza obszarami górskimi), na którym tego typu badania nie byłyby prowadzone. Z drugiej jednak strony sposób przeprowadzania pompowań oraz zakres stosowanych metod interpretacji ich wyników w wielu jeszcze przypadkach nie odpowiada współczesnym potrzebom badawczym.

Podstawowym zadaniem dla próbnego pompowania jest uzyskanie, poprzez czerpanie wody ze studni, hydrodynamicznej reakcji warstwy wodonośnej, która to reakcja umożliwi identyfikację parametrów filtracyjnych warstwy, parametrów funkcjonowania studni i warunków jej zasilania. Konieczność i waga tego typu badań nie podlega dyskusji. Autorzy podręczników z dziedziny hydrogeologii stosowanej podkreślają potrzebę wysokiej staranności przy wykonaniu próbnego pompowań (Castany 1968, 1982). Równorzędnym zadaniem w trakcie próbnego pompowania jest pobór próbek wody podziemnej z uaktywnionej strefy jej dopływu do otworu rozpoznawczego. Woda ta jest poddawana następnie laboratoryjnej analizie fizyczno-chemicznej i bakteriologicznej, a często również analizie technologicznej w związku z koniecznością określenia technicznych warunków jej uzdatniania. Całość badań hydrodynamicznych i hydrochemicznych prowadzonych w trakcie próbnego pompowań ma na celu ustalenie ilości i jakości wody podziemnej, stanowiącej zasoby eksploatacyjne dokumentowanego ujęcia oraz określenie warunków jego eksploatacji i ochrony.

Poprzez próbne pompowania mogą być zrealizowane następujące cele badawcze ze wzrastającym stopniem ich złożoności:

- określenie charakterystyk w zakresie interakcji: studnia – warstwa wodonośna,
- zbadanie studni w aspekcie jej przyszłego wyposażenia eksploatacyjnego i racjonalnej eksploatacji,
- terenowe pomiary parametrów hydrodynamicznych warstwy wodonośnej: przewodności hydraulicznej (T), współczynnika filtracji, współczynnika odsączalności grawitacyjnej (μ) lub odsączalności sprężystej (μ_s),
- ilościowa ocena szczególnych charakterystyk warstwy wodonośnej, jak: proces przesiąkania wody z warstw sąsiednich, test jej warunków granicznych, heterogeniczność osadów wodonośnych itd.,
- przeprowadzenie terenowych, a więc bezpośrednich testowych obserwacji skutków poboru wody z warstwy wodonośnej, w tym identyfikacja rozwoju depresji w zależności od wydatku studni oraz określenie wielkości zasobów eksploatacyjnych ujęcia wód podziemnych, w tym ich parametrów jakościowych,
- współdziałanie studni i ujęć.

Część z tych celów może być osiągnięta wyłącznie poprzez przeprowadzenie pompowania w węzłach hydrogeologicznych zawierających – oprócz pompowanej studni – co najmniej jeden piezometr.

Ważne jest naświetlenie już w tym miejscu ogólnego mechanizmu powstawania lejów depresji w wyniku pompowania studni, aby wskazać na możliwości, które stwarza ten rodzaj badań terenowych. Założenia wynikające ze stosowanych metod interpretacji próbnych pompowań wymagają, aby początkowa statyczna powierzchnia zwierciadła wody podziemnej była pozioma; w praktyce prawie pozioma (o minimalnym spadku hydraulicznym). Wówczas oś tworzącego się lejów depresji zbiega się z osią studni wierconej i powstaje obraz o koncentrycznym układzie okręgów względem osi studni, wyrażających wielkości depresji, malejącej przy oddalaniu się od studni. W warstwie wodonośnej o zwierciadle swobodnym poborowi wody towarzyszy jej osuszenie w strefie objętej wpływem lejów depresji. W przypadku warstwy naporowej układ linii ekwipotencjalnych ma charakter fizycznie fikcyjny, warstwa ta bowiem nadal pozostaje naporowa, a więc jest całkowicie zawadniona, jedynie ma miejsce zmiana potencjału hydrodynamicznego, wyrażona obniżeniem ciśnienia piezometrycznego panującego w danej warstwie wodonośnej o napiętym zwierciadle wody. Lej depresji jest przedstawiony na przekroju przez krzywą depresji. Doświadczenie w postaci próbnego pompowania ze stałym wydatkiem polega w pierwszym etapie na pomiarach opadania zwierciadła wody podziemnej w czasie jego trwania i śledzeniu tendencji do powstania ruchu quasi-ustalonego. Po zatrzymaniu pompowania ma miejsce drugi etap badawczy, polegający na przeprowadzeniu pomiarów **wzniosu** zwierciadła podczas okresu, w którym warstwa wodonośna wraca do stanu swojej pierwotnej równowagi hydrodynamicznej (rys. 1.1). Zmieniający się w trakcie pompowania poziom zwierciadła wody podziemnej jest nazywany „poziomem dynamicznym”.

Czynnikami decydującymi o wymiarach lejów depresji przy stałym wydatku pompowania są:

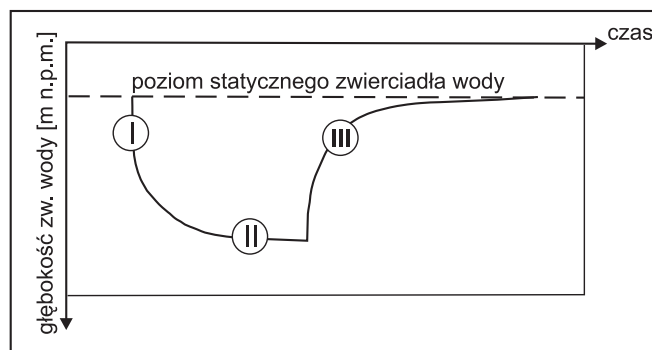
- parametry hydrodynamiczne: przewodność hydrauliczna (T) i współczynnik odsączalności grawitacyjnej (μ) lub odsączalności sprężystej (μ_s), czas pompowania (t_p),
- charakter przepływu (laminarny, turbulentny, nieustalony, quasi-ustalony).

Poza nielicznymi przypadkami bardzo wysokiej przewodności warstwy wodonośnej lub występowania w sąsiedztwie ujęcia granicy zasilającej, ustalanie się warunków przepływu wód podziemnych jest procesem bardzo długotrwałym.

Ze względu na uprzednio wymienione cele oraz sposób wykonania badań przyjmuje się następujący podział próbnych pompowań:

- pompowania indywidualne,
- pompowania hydrowęzłowe,
- pompowania zespołowe.

Pompowania indywidualne prowadzi się w pojedynczych otworach rozpoznawczych w celu określenia zależności między wydatkiem i depresją, co pozwala ustalić hydrauliczne cechy ujęcia i orientacyjne parametry hydrogeologiczne warstwy wodonośnej w otoczeniu otworu.



Rys. 1.1. Wykres próbnego pompowania $s=f(t)$: I – krzywa opadania, II – odcinek stabilizacji dynamicznej, najczęściej nie osiągną w czasie krótszych pompowań, III – krzywa wzniosu

Pompownia hydrowęzłowa prowadzi się w pojedynczych otworach rozpoznawczych lub w określonych przypadkach w grupie otworów blisko siebie położonych ($r < m$) przy jednoczesnej obserwacji zwierciadła wody w otworach obserwacyjnych. Pompownia ta są testami warstw wodonośnych i mają na celu identyfikację ich typu hydrodynamicznego, określenie parametrów filtracyjnych i często charakteru granic badanej struktury.

Pompownia zespołowa prowadzi się przy eksploatacji większej liczby otworów rozpoznawczych, które są przeznaczone do wykorzystania jako studnie przyszłego ujęcia w celu doświadczalnego sprawdzenia wydajności i ustalenia wielkości depresji w warunkach użytkowej eksploatacji tego ujęcia oraz w celu określenia składników zasilania jego zasobów eksploatacyjnych.

Wybór rodzaju pompownia jest związany z zamierzonym zadaniem dokumentacyjnym oraz stopniem skomplikowania warunków hydrogeologicznych.

Próbne pompownia w ocenie parametrów warstw wodonośnych są nie do zastąpienia, ponieważ dostarczają danych z natury rzeczy uśrednionych – przestrzennych, a więc w skali, w której parametry te funkcjonują w późniejszej eksploatacji ujęcia. Fakt ten jest często podkreślany przez hydrogeologów zajmujących się oceną zasobów eksploatacyjnych wód podziemnych (Pleczyński, Przybyłek, 1974; Szymanko, 1972, 1980). Sternberg (1971), analizując metody oceny parametrów warstw wodonośnych, wskazuje, że badania laboratoryjne próbek skalnych mogą dostarczyć wprawdzie informacji o porowatości, odsączalności i współczynnika filtracji, które nazywa się mikrowłaściwościami wodonośca, lecz nawet wielka liczba tych próbek nie jest w stanie zrównoważyć wartości parametrów uzyskiwanych z próbnymi pompowaniami w hydrowęzłach, które są reprezentatywne dla całej warstwy wodonośnej i jej otoczenia. Parametry te nazywa się makrowłaściwościami wodonośca.

Y. Emsellem (1975) wskazuje na istotne znaczenie średnich wartości typu „makro” przy dyskretyzacji obszaru, przy czym zwraca uwagę, że przyroda wykazuje o wiele większą niejednorodność w skali „mikro”. Przepuszczalność skał jest bardzo zmienna, gdy się bada i porównuje sąsiadujące ze sobą bloki o boku 1 m, natomiast średnia przepuszczalność bloków górotworu o boku 500 m wykazuje zmienność o wiele mniejszą. B.W. Borewski (1971) podkreśla, że wśród obliczeniowych para-

Tabela 1.1. Parametry hydrogeologiczne

Parametry warstwy	Parametry wody	Parametry filtracyjne i hydrodynamiczne
- Miąższość m	- Ciężar właściwy γ	- Wysokość hydrauliczna H
- Współczynnik porowatości n	- Gęstość ρ	- Przewodność T
- Współczynnik przepuszczalności k_p	- Współczynnik ściśliwości β_w	- Współczynnik filtracji k
- Współczynnik ściśliwości β_s	- Współczynnik rozszerzalności cieplnej β_t	- Współczynnik odsączalności sprężystej μ_s
	- Lepkość dynamiczna η	- Współczynnik odsączalności grawitacyjnej μ
	- Moduł sprężystości wody E_w	- Współczynnik piezoprzewodności $a = \frac{T}{\mu_s}$ lub
		przewodności $a = \frac{T}{\mu}$
		- Współczynnik jednostkowej pojemności sprężystej β

metrów hydrogeologicznych (tab. 1.1), określających cechy skały wodonośnej, właściwości i parametry cieczy oraz parametry filtracyjne środowiska hydrogeologicznego, te ostatnie (kolumna trzecia tab. 1.1) są możliwe do oceny wyłącznie na drodze analizy hydrodynamicznej, i to głównie przez obserwację zjawisk wywołanych próbnym pompowaniem.

Równie ważne jak określenie parametrów ujętej warstwy wodonośnej jest określenie granic strukturalnych i hydrodynamicznych oraz warunków zasilania ujęcia w badanej strukturze hydrogeologicznej w dokumentowaniu zasobów wód podziemnych. Zasoby eksploatacyjne w strukturach ograniczonych są bowiem zależne od parametrów osadów otaczających i nadległych, a w strukturach otwartych od zdolności i wielkości infiltracji. Zjawiska te mogą być zbadane podczas prowadzenia dłuższych pompowań hydrowęzłowych lub przez wykonywanie pompowań zespolonych, a także analizy eksploatacji czynnych ujęć.