

## ANALIZA RECESJI WYDATKU ŹRÓDŁA POD WYSOKIM DZIAŁEM (PIENIŃSKI PAS SKAŁKOWY) W ŚWIETLE OBSERWACJI LIMNIMETRYCZNYCH

### THE DISCHARGE ANALYSIS BASED ON LIMNIMETRIC MONITORING: SPRING POD WYSOKIM DZIAŁEM, PIENINY KLIPPEN BELT

WŁODZIMIERZ HUMNICKI<sup>1</sup>

**Abstrakt.** W artykule omówiono wyniki obserwacji stacjonarnych źródła Pod Wysokim Działem, zlokalizowanego w trudno dostępnym terenie górskim Pienin Właściwych. Dziewięcioletnie, stacjonarne obserwacje stanów wód podziemnych, prowadzone przy użyciu limnimetru z automatyczną rejestracją danych oraz wykonywane okresowo pomiary wydajności, umożliwiły szczegółową analizę zmian wydatku źródła, przede wszystkim w okresach, kiedy charakteryzowało się ono reżimem własnym, niezależnym od chwilowego zasilania opadami atmosferycznymi lub topnieniem pokrywy śnieżnej i drenażem wyłącznie wody zmagazynowanej wcześniej w zbiorniku wód podziemnych. Po analizie przebiegu wydatku źródła na tle dobowych sum opadów atmosferycznych wybrano 20 okresów recesji o długości od 7 do 64 dni. Do matematycznego opisu krzywych recesji wykorzystano najprostsze i najczęściej stosowane w obliczeniach hydrogeologicznych równanie Mailleta. Każdorazowo obliczono współczynnik regresji  $\alpha$ , potencjał zasobności źródła oraz czas przebywania wody w systemie wodonośnym. Uzyskane wartości współczynników regresji  $\alpha$  (rzędu 0,005–0,01 d<sup>-1</sup>), na ogół niższe od podawanego w literaturze podręcznikowej zakresu (0,04–0,7), najprawdopodobniej świadczą o słabej przepuszczalności zwietrzelin ilastych, które utrudniają dopływ wód podziemnych w bezpośrednim sąsiedztwie źródła. Z kolei niskie potencjały zasobności (<50 tys. m<sup>3</sup>) oraz krótkie czasy przebywania wody w systemie wodonośnym (do kilku miesięcy) świadczą o tym, że źródło drenażuje niewielki zbiornik wód podziemnych o charakterze lokalnym.

**Słowa kluczowe:** źródła, krzywe recesji, współczynnik regresji, pieniński pas skałkowy.

**Abstract.** The paper describes the results of 9-year stationary monitoring of the spring Pod Wysokim Działem, located in the Pieniny Mts. The monitoring of water level with application of automatic limnimeters and periodically measured spring discharge allowed recording detailed variations of the discharge especially in the periods of its own regime independent of temporary recharging events, like snow-melt or rainfall. It drained only its own groundwater reservoir. Based on the analysis of spring discharge and daily sum of precipitation, 20 periods of discharge recession of 7 to 64 days-long each were selected. The Maillet equation, widely used in hydrogeology, was applied to mathematical description of the recession curves of the spring. Each time, the recession coefficient  $\alpha$ , as well as the storage capacity of the spring and residence time of water in the system, were calculated. The obtained values of recession coefficient  $\alpha$  from 0.005 to 0.01 d<sup>-1</sup> are generally lower than those known from literature, namely: 0.04–0.7. It probably suggests the low permeability of illitic weathering, which hampers the groundwater inflow to the spring. On the other hand, low values of the storage capacity (<50 000 m<sup>3</sup>) and short residence time of water in the system (in a range of a few months) suggest that the spring rather drains a small local groundwater reservoir.

**Key words:** springs, discharge curves, recession coefficient, Pieniny Klippen Belt.

---

<sup>1</sup> Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; e-mail: w.humnicki@uw.edu.pl

## WSTĘP

Badania krenologiczne odgrywają niezwykle istotną rolę w rozpoznaniu regionalnych warunków hydrogeologicznych, zwłaszcza w górskich obszarach chronionych, gdzie ze względu na ochronę przyrody nie wykonuje się wierceń umożliwiających rozpoznanie parametrów hydrogeologicznych masywu i warunków występowania wód podziemnych (Małecka, 1997; Małecka, Humnicki, 2001, 2002). Szczególnego znaczenia nabierają obserwacje stacjonarne źródeł, które pozwalają prześledzić zjawiska przyrodnicze w cyklu rocznym i wieloletnim (Humnicki, 1989; 2007a; Małecka, Humnicki, 1989; Barczyk i in., 2001).

W latach 2002–2003, dzięki środkom finansowym KBN zainstalowano na obszarze Pienińskiego Parku Narodowe-

go elektroniczne limnimetry z ciągłą rejestracją danych na trzech wytypowanych źródłach (fig. 1). Przyrządy te umożliwiają szczegółowe określenie wrażliwości wód podziemnych na opady atmosferyczne oraz topnienie pokrywy śnieżnej.

W artykule przeprowadzono analizę zmian wydatków jednego z badanych źródeł – Pod Wysokim Działem. Zidentyfikowano 20 okresów recesji, kiedy źródło charakteryzowało się reżimem własnym, niezależnym od chwilowego zasilania opadami atmosferycznymi lub topnieniem śniegu i drenowało wyłącznie wody zmagazynowane wcześniej w zbiorniku wód podziemnych.

## WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Liczni badacze pienińskiego pasa skałkowego (m.in. Birkenmajer, 1979) podkreślają, że pod względem stylu budowy i jej skomplikowania obszar ten nie znajduje odpowiednika w geologii regionalnej świata. Utwory, z których zbudowany jest pas skałkowy, są tak intensywnie sfałdowane i złuskowane, a miejscami zdruzgotane na soczewki i bloki metrowych rozmiarów, że określa się je często mianem „megabrekcji tektonicznej”. Mozaikowa budowa geologiczna pasa, przejawiająca się w sąsiedztwie niewielkich powierzchniowo, lecz odmiennych litologicznie utworów, w sposób oczywisty wpływać musi również na duże zróżnicowanie i komplikacje warunków hydrogeologicznych.

Uzyskany na podstawie przepływów niżówkowych potoków średni moduł odpływu podziemnego wynoszący 2,0 l/s·km<sup>2</sup> (Humnicki, 2007b) świadczy o słabym zawodnieniu pienińskiego pasa skałkowego, lecz jednocześnie wskazuje, że obszar ten nie może być traktowany jako zupełnie bezwodny. Wody podziemne tworzą jeden, nieciągły i zróżnicowany poziom wodonośny, występujący w obrębie mocno zwietrzałej i spękanej strefy przypowierzchniowej, złożonej z odmiennych litologicznie skał różnego wieku i o różnych parametrach hydrogeologicznych. Dla wód szczelinowych środowiskiem geologicznym są mezozoiczne i paleogeńskie utwory węglanowe, węglanowo-ilaste oraz fliszowe. Dla wód porowych najważniejszą rolę odgrywają czwartorzędowe pokrywy zwietrzelinowo-rumoszowe oraz aluwia dolin rzecznych. Bez względu na sposób występowania wody podziemne stanowią wspólny, pozostający w łączności hydraulicznej, poziom wodonośny na ogół o swobodnym charakterze i mogą przemieszczać się z jednego ośrodka skalnego do drugiego. Sprzyja temu duże zaangażowanie tektoniczne masywu, gęsta sieć spękań i obecność licznych uskoków i dyslokacji ułatwiających filtrację i kontaktowanie się wód.

Z uwagi na rodzaj ośrodka hydrogeologicznego większość źródeł pienińskich należy do szczelinowych, przy czym znaczna ich część drenuje zarówno wody szczelinowe podłoża, jak i wody porowe zwietrzelin. Istotny jest

udział źródeł dyslokacyjnych. Wskaźnik krenologiczny dla polskiej części Pienińskiego Parku Narodowego waha się w zależności od przyjętej metodyki jego obliczenia od 6,7 do 8,8 źr./km<sup>2</sup> (Humnicki, 2007b).

Rozkład średnich miesięcznych wydajności źródeł pienińskich wskazuje na roztopowo-opadowy charakter ich zasilania (Małecka, Humnicki, 2002; Humnicki 2006, 2007a, b). Najwyższe wydajności notowane są na ogół w marcu i kwietniu, w czasie wiosennego topnienia pokrywy śnieżnej i w okresie następującym bezpośrednio po nim.

**Charakterystyka punktu badawczego.** Źródło Pod Wysokim Działem inicjuje prawostronny dopływ Białego Potoku, który jest prawostronnym dopływem Krośnicy. Usytuowane jest na wysokości 664 m n.p.m. na dnie wyraźnej depresji terenu wcinającej się w zachodni stok Wysokiego Działu. Pod względem położenia morfologicznego jest to źródło zboczowe. Wpływ jest ekranowany zwietrzeliną. Bezpośrednio powyżej źródła odsłaniają się utwory fliszowe, natomiast poniżej ukazują się utwory formacji wapienia pienińskiego jednostki braniskiej. Pod względem rodzaju przewodów hydraulicznych doprowadzających wodę źródło zostało zaliczone, podobnie jak zdecydowana większość źródeł pienińskich, do szczelinowych (Humnicki, 2007b), choć ze względu na znaczną wydajność istnieją spore przesłanki do zaliczenia go co najmniej do szczelinowo-krasowych. Najwyższą wydajność dobową 5,5 l/s zarejestrowano w maju 2010 r., bezpośrednio po wyjątkowo intensywnych opadach deszczu, które nałożyły się na wysokie stany związane z opóźnionym wpływem topnienia pokrywy śnieżnej (tab. 1). Najniższą wydajność 0,09 l/s stwierdzono w październiku 2003 r., dwa miesiące po wyjątkowo suchym sierpniu tego roku. Przebieg średnich miesięcznych wydajności źródła od 0,11 do 3,68 l/s pozwala zaliczyć źródło do VI i V klasy Meinzera, jest to więc jedno z najbardziej wydajnych źródeł pienińskich o stałym charakterze wypływu.

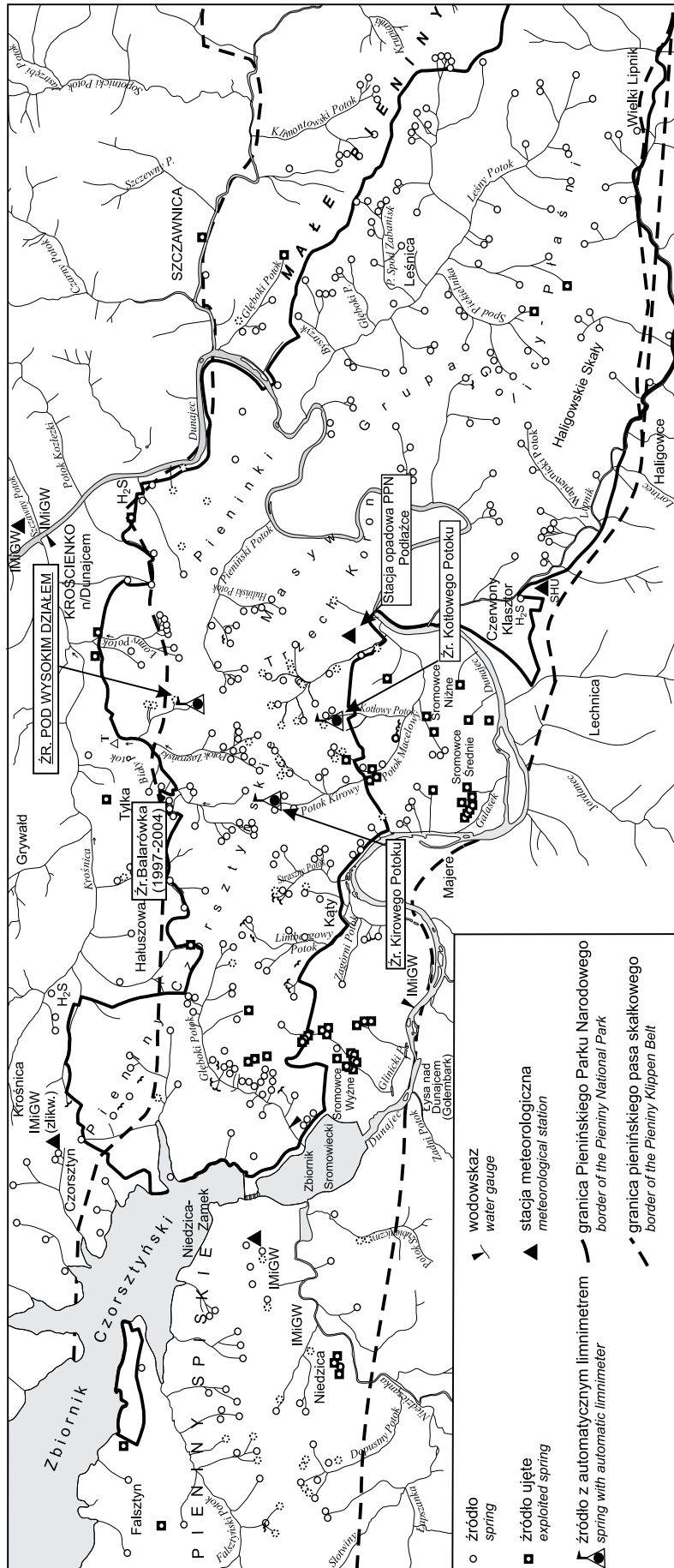


Fig. 1. Lokalizacja punktu badawczego

Location of the research site

Tabela 1

**Charakterystyczne wydajności źródła Pod Wysokim Działem**  
Characteristic discharges of the spring Pod Wysokim Działem

Rok hydrologiczny	Wydajność					Wskaźnik zmienności $R=Q_{max}/Q_{min}$	Klasa Meinzera
	$Q_{min}$		$Q_{sr}$ [l/s]	$Q_{max}$			
	l/s	Data		l/s	Data		
2003	0,09	22–24.10.2003	1,09	2,71	23.04.2003	61	VI
2004	0,11	4.09.2004	0,99	3,97	12–13.06.2004		
2007	1,85	5.06.2007	2,56	3,66	26.03.2007		
2008	1,72	12.07.2008	2,63	3,90	9.12.2007		
2009	1,57	15–16.12.2008	2,29	4,42	18.07.2009		
2010	0,58	27.09.2010	1,90	5,52	20.05.2010		
2011	0,66	3–4.11.2010	1,47	2,23	24–31.07.2011		

## METODYKA BADAŃ

Limnometry, wyprodukowane przez Ośrodek Techniki Jądrowej „Polon” we Wrocławiu, składają się z bloku elektroniki, zasilanego hermetycznym akumulatorem kwasowym 6 V oraz mechanizmu pomiarowego w postaci sondy pojemnościowej, której zasada działania oparta jest na zmianie pojemności kondensatora koncentrycznego przy zmianie poziomu wody. Błąd pomiaru zwierciadła wody wynosi około 1 milimetra. Rejestracja pomiarów odbywa się w interwale czasowym 60 minut. W przypadku prezentowanej analizy wykorzystano wartości dobowe, uzyskane każdorazowo z uśrednienia 24 pomiarów godzinowych.

Od momentu zainstalowania limnometru okresowo wykonywane są pomiary wydajności metodą bezpośrednią. Umożliwia to skonstruowanie krzywej konsumpcyjnej i przeliczenie wszystkich rejestrowanych przez przyrząd stanów wód na odpowiadający im wydatek. Uzyskany w ten sposób, blisko dziesięcioletni ciąg obserwacji dobowych zmian wydatku źródła, stał się podstawą szczegółowej analizy na tle dobowych sum opadów atmosferycznych ze stacji meteorologicznej Pienińskiego Parku Narodowego na polanie Podłażce w Sromowcach Niżnych i wytypowania 20 okre-

sów recesji, przejawiających się konsekwentnym spadkiem wydajności źródła (tab. 2).

Z metodycznego punktu widzenia do analizy krzywych wysychania należałoby wziąć okresy całkowicie bezopadkowe lub co najwyżej z opadem, który wskutek parowania i intercepcji nie wpływa na efektywne zasilanie warstwy wodonośnej. W danym przypadku kryterium to zastosowano bardzo elastycznie i zgodnie z sugestią szeregu badaczy (m.in. Wieczystego, 1982), opadu nie powodującego przerwania recesji nie traktowano jako opadu skutecznego.

Do opisanie krzywych recesji wykorzystano najprostsze i najczęściej stosowane w obliczeniach hydrogeologicznych równanie Mailleta (Castany, 1972; Wieczysty, 1982; Pazdro, Kozerski, 1990; Jokiel, Maksymiuk, 1997):

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$$

gdzie:

$Q_0$  – wydajność źródła w chwili, gdy rozpoczyna się proces wysychania [l/s];

$Q_t$  – wydajność źródła po czasie  $t$  [l/s];

$t$  – czas zmniejszania się wydajności z  $Q_0$  do  $Q_t$  [d];

$\alpha$  – współczynnik regresji źródła [d<sup>-1</sup>];

$e$  – podstawa logarytmów naturalnych.

## CHARAKTERYSTYKA OKRESÓW RECESJI WYDATKU ŹRÓDŁA

Okresy recesji wydatku źródła Pod Wysokim Działem najczęściej pojawiają się w okresie letnio-jesiennym, od VII do X (12 okresów), nieco rzadziej wiosną, od IV do VI (5 okresów), a najrzadziej w okresie późnojesiennie-zimowym od XI do III (zaledwie 3). Długość wyróżnionych okresów jest zróżnicowana i waha się od 7 do 64 dni. Podobnie duże zróżnicowanie wykazują wydajności początkowe  $Q_0$ , zawarte w przedziale 0,26–4,0 l/s oraz wydajności końcowe  $Q_t$ , zawarte w przedziale 0,09–2,6 l/s. Sumy opadów w 14-dniowym okresie poprzedzającym początek recesji również wahają się w dużym zakresie od 2 do niemal 230 mm, co świadczy o tym, iż wzrost

wydajności źródła po którym następuje jego recesja, niekoniecznie musi mieć związek z bieżącymi opadami atmosferycznymi. Źródło posiada własny reżim, a jego reakcja na zasilanie i czynniki klimatyczne wykazuje wyraźne opóźnienie.

Wśród okresów recesji wyróżniają się dwa (tab. 2, nr 5 i 16), które są wyraźnie dwudzielne i dają się matematycznie opisać dwoma odcinkami krzywej wysychania o różnym współczynniku regresji  $\alpha$  (fig. 2). Warto zauważyć, iż oba przypadki reprezentują okres wiosenny, kiedy źródło wykazuje najwyższą wydajność związaną z wcześniejszym zasilaniem systemu wodonośnego topniejącą pokrywą śnieżną.

Tabela 2

**Okresy recesji źródła Pod Wysokim Działem**  
Recession periods of the spring Pod Wysokim Działem

Lp.	Okres recesji	Charakterystyka okresu recesji					Parametry źródła			
		suma opadów		maksymalny opad dobowy w czasie recesji [mm]	czas [d]	$Q_0$ [l/s]	$Q_t$ [l/s]	współczynnik regresji $\alpha$ [d <sup>-1</sup> ]	potencjał zasobności $W$ [m <sup>3</sup> ]	czas przebywania wody $T$ [d]
		przed recesją <sup>1)</sup> [mm]	w czasie recesji [mm]							
1.	27.08–7.10.2002	64,5	90,1	21,3	41	1,753	0,761	0,0204	7 442	49
2.	17.11.2002–20.01.2003	9,4	67,0	13,0	64	1,883	0,963	0,0105	15 527	95
3.	17.09–4.10.2003	31,6	45,1	24,5	17	0,265	0,093	0,0616	372	16
4.	8.08–4.09.2004	228,2	149,6	34,4	27	1,636	0,113	0,0990	1 428	10
5.	a) 10.04–4.05.2007	4,2	115,2	24,4	24	3,335	2,323	0,0151	19 124	66
	b) 4.05–4.06.2007				31	2,323	2,017	0,0046	44 053	219
6.	4.07–1.08.2007	85,5	77,6	32,5	28	2,568	2,053	0,0080	27 755	125
7.	14–23.01.2008	2,2	19,7	8,5	9	3,359	2,316	0,0413	7 025	24
8.	6–25.05.2008	29,4	35,3	13,9	19	2,913	1,963	0,0208	12 115	48
9.	15–22.08.2008	32,9	3,7	3,7	7	2,514	2,141	0,0229	9 467	44
10.	29.08–12.09.2008	35,5	28,9	23,1	14	2,281	2,042	0,0079	24 927	126
11.	28.04–22.05.2009	9,1	13,0	3,3	24	2,605	1,963	0,0118	19 090	85
12.	29.07.–15.08.2009	85,6	63,3	43,9	17	3,920	2,609	0,0239	14 142	42
13.	2–17.09.2009	98,2	71,8	23,1	15	2,731	2,273	0,0122	19 281	82
14.	2–26.12.2009	8,6	35,0	8,7	24	2,718	2,053	0,0117	20 087	85
15.	13.04–9.05.2010	48,2	80,3	14,9	26	3,180	2,254	0,0133	20 756	75
16.	a) 11–20.06.2010	170,4	67,5	14,1	9	4,025	2,269	0,0637	5 460	16
	b) 20.06.–4.07.2010				14	2,269	1,862	0,0141	13 883	71
17.	10–23.05.2011	38,6	62,4	24,0	13	1,883	1,540	0,0155	10 518	65
18.	9–24.08.2011	76,3	30,7	10,0	15	2,197	1,358	0,0321	5 918	31
19.	26.08.–12.09.2011	35,4	12,4	6,0	17	1,452	0,893	0,0286	4 387	35
20.	3–11.10.2011	5,3	61,0	29,6	8	1,088	0,820	0,0353	2 659	28

<sup>1)</sup> w 14-dniowym okresie poprzedzającym początek recesji

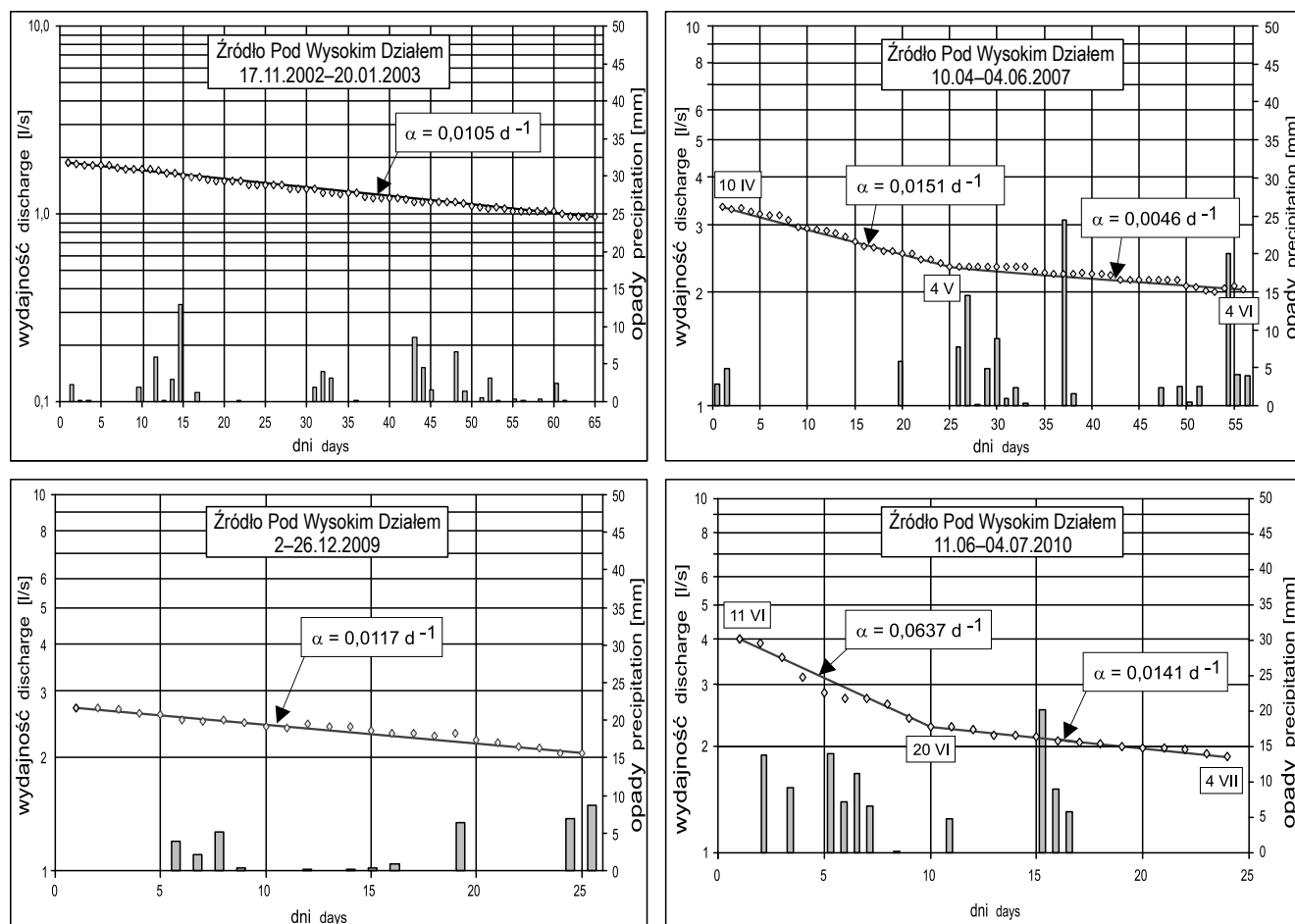
## WYNIKI BADAŃ

Wartość współczynnika regresji źródła  $\alpha$  charakteryzuje prędkość szczypania się zasobów wód podziemnych zgromadzonych w zbiorniku drenowanym przez źródło. Z matematycznego punktu widzenia jest to współczynnik kierunkowy prostej opisanej przez równanie Mailleta, sporządzonej w układzie półlogarytmicznym. Wyższe wartości współczynnika oznaczają większe nachylenie prostej i zarazem szybsze szczypanie się zasobów wód podziemnych, niższe wartości oznaczają wolniejsze szczypanie się tych zasobów, które może być związane zarówno z większą objętością drenowanego zbiornika, jak również z utrudnionym dopływem wód podziemnych do miejsca wypływu.

Uzyskane wartości współczynników regresji  $\alpha$  dla źródła Pod Wysokim Działem, mieszczące się w zakresie 0,0046–

0,099 d<sup>-1</sup>, są nie tylko niższe od podawanego w literaturze podręcznikowej zakresu 0,04–0,7 (Pazdro, Kozerski, 1990), ale także niższe od średnich wartości charakterystycznych np. dla wywierzyisk tatrzańskich 0,018–0,022 d<sup>-1</sup> (Barczyk, 2008). Najprawdopodobniej świadczy to o roli, jaką na obszarze pienińskiego pasa skałkowego odgrywają słabo przepuszczalne zwietrzliny ilaste, pochodzące przede wszystkim z wietrzenia skał fliszowych osłony skałkowej, które utrudniają dopływ wód podziemnych w bezpośrednim sąsiedztwie źródła.

W źródle Pod Wysokim Działem wartości współczynników  $\alpha$  skoncentrowane są w stosunkowo wąskim zakresie, w 86% przypadków nie przekraczają wartości 0,05 d<sup>-1</sup>, przy zdecydowanej dominacji przedziału 0,01–0,02 d<sup>-1</sup>. Wysokie



**Fig. 2. Wybrane krzywe recesji w układzie półlogarytmicznym na tle dobowych sum opadów ze stacji meteorologicznej Pienińskiego Parku Narodowego na polanie Podłażce**

Selected recession curves in a semi-logarithmic scale and daily sums of precipitation from a meteorological station in the Pieniny National Park, Podłażce clearing

wartości współczynnika  $\alpha$  pojawiają się raczej wyjątkowo i są związane z okresami maksymalnego napełnienia zbiornika, np. w okresie od 11 do 20 VI 2010 r., po kilkunastu dniach olbrzymich opadów atmosferycznych (por. fig. 2 i tab. 2).

Z prędkością szczyrpywania się zasobów wód podziemnych zbiorników drenowanych przez źródła funkcyjnie związany jest czas przebywania wody w systemie wodonośnym ( $T$ ).

$$T = \alpha^{-1}$$

W źródle Pod Wysokim Działem średnie czasy przebywania wody w systemie wodonośnym wynoszą dla okresu wiosenno-letniego 73 dni, a dla jesienno-zimowego 52 dni. Dłuższe czasy przebywania wody stwierdzone w okresie wiosenno-letnim (do 219 dni) wydają się mieć związek z zasilaniem tego źródła, przede wszystkim w okresie zimowego i wczesnowiosennego topnienia pokrywy śnieżnej.

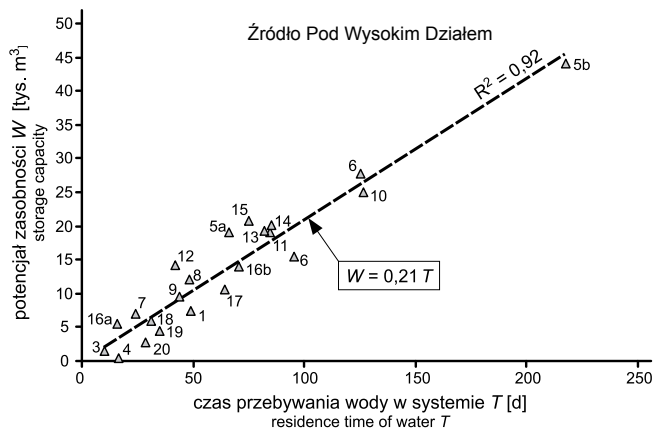
Zależności wyprowadzone na podstawie równania Mailleta umożliwiają wyznaczenie potencjału zasobności ( $W$ ), wyrażonego w  $m^3$ , który stanowi objętość wody podziem-

nej nagromadzonej w zbiorniku wód podziemnych w ciągu okresu wzbogacania i następnie odzyskanej wskutek drenażu przez źródło (Castany, 1972).

$$W = 86\,400 Q_0/\alpha$$

Maksymalny potencjał zasobności, stwierdzony w czasie recesji wiosennej 2007 r. wyniósł 44 tys.  $m^3$  (por. tab. 2). Oznacza to, że nawet stosunkowo wydajne źródła pienińskie drenują bardzo niewielkie zbiorniki o charakterze lokalnym i bardzo ograniczonym obszarze zasilania. Dla porównania: średnie objętości wody w lokalnych zbiornikach systemów wywierzyisk tatrzańskich zawierają się w przedziale 400–2000 tys.  $m^3$ , przy wartościach dochodzących do 20 000 tys.  $m^3$  w zbiornikach regionalnych (Barczyk, 2008).

W wyniku analizy zależności pomiędzy wyznaczonymi dla poszczególnych recesji czasami przebywania wody w systemie wodonośnym  $T$  a odpowiadającymi im potencjałami zasobności  $W$  stwierdzono, że wszystkie punkty układają się wzdłuż wyraźnie zarysowującej się jednej prostej,



**Fig. 3. Zależność między czasem przebywania wody w systemie wodonośnym  $T$  a potencjałem zasobności  $W$**

Relationship between residence time of water in the aquifer  $T$  and storage capacity  $W$

co może świadczyć o względnej jednorodności systemu zasilania źródła (fig. 3).

Znajomość sumarycznej rocznej wydajności źródła  $Q_r$ , oraz objętości wody w zbiorniku wód podziemnych przez nie drenowanym umożliwia wyznaczenie wskaźnika pojemności źródła  $P$  (Pazdro, Kozerski, 1990). Jako objętość wody przyjęto do obliczeń maksymalny potencjał zasobno-

**Tabela 3**

**Wymiana wody w zbiorniku zasilającym źródło**  
Water exchange in the spring recharging reservoir

Rok hydrologiczny	Średnia wydajność [l/s]	Sumaryczna roczna wydajność $Q_r$ [m³]	Objętość wody w zbiorniku drenowanym przez źródło $V$ [m³]	Wskaźnik pojemności źródła $P = Q_r/V$
2003	1,09	34 400	44 000	0,8
2004	0,99	31 200		0,7
2007	2,56	80 700		1,8
2008	2,63	83 000		1,9
2009	2,29	72 200		1,6
2010	1,90	59 900		1,4
2011	1,47	46 400		1,0

ści (tab. 3). Uzyskany zakres wartości współczynnika  $P$  (od 1,0 do 1,9) świadczy o tym, że wymiana wody wywołana drenażem jest szybka i odbywa się nawet dwukrotnie w ciągu roku, a czas wymiany wody w macierzystym zbiorniku trwa od 6 do 12 miesięcy.

**PODSUMOWANIE I WNIOSKI**

W latach 2002–2003, dzięki środkom finansowym KBN zainstalowano na obszarze Pienińskiego Parku Narodowego elektroniczne limnimetry z ciągłą rejestracją danych, m.in. na źródle Pod Wysokim Działem. Okresowo wykonywane pomiary wydajności umożliwiły skonstruowanie krzywej konsumpcyjnej i przeliczenie rejestrowanych przez przyrząd stanów wód na odpowiadające im wydatki źródła. Szczegółowa analiza zmian wydatków umożliwiła zidentyfikowanie 20 okresów recesji, w czasie których następował konsekwentny spadek wydajności źródła.

W dwóch przypadkach krzywe recesji są wyraźnie dwudzielnie, co przejawia się dwoma odcinkami prostych reprezentatywnych równania Mailleta o różnym współczynniku regresji  $\alpha$ . Świadczy to o tym, że drenaż macierzystego zbiornika odbywa się w dwóch etapach. Bardziej stromo nachylone odcinki są charakterystyczne dla okresu

wiosennego, kiedy system wodonośny wykazuje najwyższy stopień napełnienia i najwyższą zasobność, ale jednocześnie najszybciej następuje szczypanie się zasobów wód podziemnych.

Wartość współczynnika regresji  $\alpha$  mieści się w zakresie 0,0046–0,099 d<sup>-1</sup>, a maksymalny czas przebywania wody w systemie wodonośnym źródeł nie przekracza 220 dni, a więc nieco ponad 7 miesięcy. Potencjały zasobności osiągnęły maksymalnie 44 tys. m<sup>3</sup>.

Analiza zależności pomiędzy czasami przebywania wody w systemie wodonośnym a odpowiadającymi im potencjałami zasobności upoważnia do wysunięcia hipotezy o stosunkowo jednorodnym systemie zasilania źródła Pod Wysokim Działem. Zbiornik wód podziemnych zasilający to źródło jest stosunkowo mały, a wymiana wody wywołana drenażem jest szybka i trwa od 6 do 12 miesięcy.

**LITERATURA**

BARCZYK G., 2008 — Tatrzańskie wywierzyska. Krasowe systemy wywierzyskowe Tatr Polskich. Tatrzański Park Narodowy, Zakopane.

BARCZYK G., HUMNICKI W., ŻURAWSKA G., 2001 — Obserwacje limnimetryczne wywierzysk tatrzańskich. Współczesne problemy hydrogeologii, **10**, 2: 11–20. Oficyna Wydawnicza Sudety, Wrocław.

BIRKENMAJER K., 1979 — Przewodnik geologiczny po pienińskim pasie skałkowym. Wyd. Geol., Warszawa.

CASTANY G., 1972 — Poszukiwanie i eksploatacja wód podziemnych. Wyd. Geol., Warszawa.

HUMNICKI W., 1989 — Znaczenie badań stacjonarnych w rozpoznaniu związków hydraulicznych wód powierzchniowych i podziemnych zlewni Białki w Tatrach. Mat. Symp. Hydro-

- geologiczne problemy pd.-zach. Polski, Szklarska Poręba, 18–20.09.1989 r., s. 215–220. Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- HUMNICKI W., 2006 — Reżim źródeł pienińskich w świetle obserwacji limnimetrycznych. *Pieniny – Przyroda i Człowiek*, **9**: 29–39.
- HUMNICKI W., 2007a — Reżim hydrogeologiczny źródeł pienińskich na przykładzie źródła Balarówka w Tylce. *W: Źródła Polski. Wybrane problemy krenologiczne* (red. P. Jokiel, P. Moniewski i M. Ziulkiewicz), s. 85–97. Wyd. Nauk Geogr. Uniw. Łódzkiego, Łódź.
- HUMNICKI W., 2007b — Hydrogeologia Pienin. *Dissertationes* **476**. Wyd. UW, Warszawa.
- JOKIEL P., MAKSYMIOUK Z., 1995 — Zastosowanie analizy wydajności źródeł do oceny niektórych charakterystyk zbiorników wód podziemnych. *Prz. Geol.*, **43**, **5**: 388–392.
- MAŁECKA D., 1997 — Źródła masywu tatrzańskiego. *Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Phys.*, **2**: 9–26.
- MAŁECKA D., HUMNICKI W., 1989 — Rola warunków hydrodynamicznych w kształtowaniu reżimu Wywierzyska Olczyńskiego. *Prz. Geol.*, **37**, **2**: 78–84.
- MAŁECKA D., HUMNICKI W., 2001 — Stan rozpoznania hydrogeologicznego Pienińskiego Parku Narodowego. Współczesne problemy hydrogeologii, **10**, **1**: 24–54. Oficyna Wydawnicza Sudety, Wrocław.
- MAŁECKA D., HUMNICKI W., 2002 — Problemy hydrogeologii i ochrony wód Pienińskiego Parku Narodowego. *Pieniny – Przyroda i Człowiek*, **7**: 49–70.
- PAZDRO Z., KOZERSKI B., 1990 — Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa.
- WIECZYSTY A., 1982 — Hydrogeologia inżynierska. PWN, Warszawa.

## SUMMARY

Location of the spring Pod Wysokim Działem is specific due to extremely complex geological and hydrogeological settings (Fig. 1). The Pieniny Klippen Belt from a geological point of view belongs to the most complex systems in Europe. The whole area is highly faulted, folded and thrust. The mosaic-type geological structure complicates considerably the hydrogeological conditions in the study area.

The majority of springs in the area are of fissure type due to the hydrogeological system structure. However, many springs drain both fissure waters of the main aquifer and porous waters in the weathered cover. The highest spring

discharges are found during spring snow melting or directly after this period (Tab. 1).

Based on the detailed analysis of the discharge of the spring Pod Wysokim Działem and daily sum of atmospheric precipitation, 20 periods of the recession of the spring discharge were identified (Tab. 2). In two cases the recession curves, mathematically described by the Maillet equation, are dual and can be approximated by two separate representative straight lines of different slopes, i.e. different recession coefficients (Fig. 2). The values of the recession coefficient are between 0.0046 and 0.099 d<sup>-1</sup>.