

## ***Reżim źródeł pienińskich w świetle obserwacji limnimetrycznych***

The regime of the Pieniny Mts. springs in the light of limnimetric observations

WŁODZIMIERZ HUMNICKI

*Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93,  
02-089 Warszawa; e-mail: w.humnicki@uw.edu.pl*

**Abstract.** The stationary observations of the Pieniny Mts. springs show that their hydrogeological regime is connected with seasonal thaw and infiltration. In order to determine precisely the sensitivity of the ground and surface waters on the atmospheric precipitation and the springtime thaw of a snow cover, electronic limnimeters with continuous data registration have been installed on three springs and one stream as well as two pluviometers to register atmospheric precipitation. The fastest reaction to precipitation and every change of its intensity was observed in the Kirowy Potok spring, where the recharge system is the shallowest. The Kotłowy Potok spring is recharged by waters of two circulation systems. A deeper one is connected with the dislocation zone, and a shallower one, is dominated by short-term subsurface runoff. The most stable regime, independent of the precipitation rates, was observed in the Pod Wysokim Działem spring. In this case the reaction of the spring's discharge to precipitation and snow cover thaw in springtime was the most delayed.

### WSTĘP

Zakrojone na szeroką skalę badania hydrogeologiczne w rejonie Pienińskiego Parku Narodowego (PPN) zostały zapoczątkowane w pierwszej połowie lat 90. ubiegłego wieku przez zespół badawczy pracowników Instytutu Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego pod kierunkiem prof. dr hab. Danuty Małeckiej. Początkowo koncentrowały się one jedynie wokół czaszy Zbiornika Czorszyńskiego (Małecka i in. 1996), a w następnych latach objęły cały obszar polskiego Parku oraz ponad połowę powierzchni słowackiego PIENAP-u (Małecka, Humnicki 2001, 2002; Humnicki 2003, 2004).

Dzięki środkom finansowym KBN (projekty nr 5 T 12B 001 23 oraz 8 T 12 B 036620) badania wzbogacono o szereg nowych istotnych elementów, wśród których należy wymienić: jakość wód podziemnych i powierzchniowych, obejmującą oznaczenia mikroskładników, bakteriologię i BZT<sub>5</sub> (Humnicki 2005), badania izotopowe oraz określenie reakcji źródeł i potoków na czynniki klimatyczne na podstawie obserwacji limnimetrycznych z ciągłą rejestracją danych.

Obserwacje limnimetryczne źródeł pienińskich nie są pierwszymi w polskich górach. Od listopada 1998 r. pracują limnimetry na pięciu wywierzysskach tatrzańskich. Uzupełniły one istniejącą sieć wodowskazów usytuowanych wzdłuż głównych

potoków tatrzańskich oraz w punktach charakteryzujących najważniejsze źródła i wywierzyska (Małecka 1985a, b). Przyrządy te w istotnym stopniu przyczyniły się do rozpoznania dynamiki wód krasowych na obszarze Tatr Zachodnich oraz określenia więzi hydraulicznych pomiędzy poszczególnymi wywierzyskami (Barczyk i in. 2001, 2002; Barczyk 2003).

#### SIEĆ OBSERWACYJNA

W celu szczegółowego określenia wrażliwości wód podziemnych i powierzchniowych na opady atmosferyczne i wiosenne topnienie pokrywy śnieżnej, zainstalowano w Pieninach cztery elektroniczne limnimetry i dwa pluwiometry. Przyrządy te zostały wyprodukowane przez Ośrodek Techniki Jądrowej „Polon” we Wrocławiu. Składają się one z bloku elektroniki, zasilanego hermetycznym akumulatorem kwasowym 6V oraz mechanizmu pomiarowego.

W limnimetrach mechanizm pomiarowy stanowi sonda pojemnościowa, której zasada działania oparta jest na zmianie pojemności kondensatora koncentrycznego przy zmianie poziomu wody. Błąd pomiaru stanu zwierciadła wody wynosi ok. 1 milimetra. Do rejestracji pomiarów ustawiono interwał czasowy 60 minut, który w przypadku Pienin jest czasem wystarczająco krótkim dla prawidłowej interpretacji wyników.

W pluwiometrach mechanizm pomiarowy wykonany jest w formie uchylnego naczynia miareczkującego, które generuje impuls elektryczny z rozdzielczością 0,1 mm opadu. Wszystkie przyrządy wymagają okresowej obsługi, przeciętnie co 2–3 miesiące, polegającej na wymianie akumulatorów oraz przepisaniu zebranych danych kartę chipową.

W wyniku rozpoznania hydrogeologicznego terenu do obserwacji limnimetrycznych wytypowano trzy źródła (Ryc. 1): Kirowego Potoku (nr 1), Kotłowego Potoku (nr 2) i pod Wysokim Działem (nr 7). Czwarty z przyrządów zamontowano na Leśnym Potoku, w pobliżu Chaty „Pieniny”, na terenie słowackiego PIENAP-u (nr 5). Objęcie obserwacjami limnimetrycznymi Leśnego Potoku miało celu wzbogacić badania monitoringowe Pienin, a usytuowanie przyrządu na

terenie Słowacji miało dodatkowy aspekt transgranicznej współpracy pomiędzy oboma parkami. Niestety limnimetr ten, po niespełna półtorarocznej pracy, został całkowicie zniszczony i bezpowrotnie utracony w czasie katastrofalnej fali powodziowej w nocy z 29/30 lipca 2004 r.

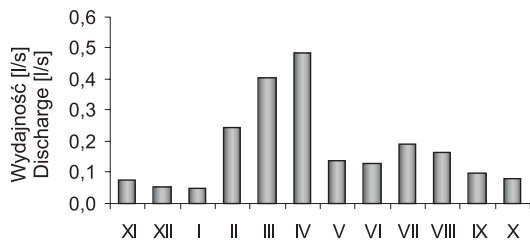
Pierwszy z pluwiometrów (nr 6) został umieszczony w szczytowych partiach Pienin na polanie Wielka Dolina na wysokości 780 m n.p.m., drugi (nr 3) – na polanie Podłężce, na terenie Stacji Metrologicznej PPN w Sromowcach Niżnych, na wysokości 485 m n.p.m., tuż obok standardowego deszczomierza Hellmana, co umożliwiałoby porównanie i bieżącą weryfikację uzyskiwanych danych. Pluwiometry rejestrują w prawidłowy sposób opady jedynie w okresie dodatnich temperatur powietrza, pod warunkiem, że odpływ z powierzchni recepcyjnej do wnętrza przyrządu jest drożny, tzn. nie zatkany drobinami materii unoszonymi przez wiatr, pyłkami kwiatów, owadami itp. Do weryfikacji zarejestrowanych danych wykorzystano również informacje z najbliższych posterunków opadowych w Niedzicy, Krościenku i Czerwonym Klasztorze.

Wykonane w okresie funkcjonowania limnimetrów pomiary wydajności źródeł nr 1, 2 i 7 dały podstawę do skonstruowania odpowiednich krzywych konsumpcyjnych i określenia zmienności wydajności źródeł w czasie.

#### CHARAKTERYSTYKA BADANYCH ŹRÓDEŁ

##### *Źródło kontrolne Balarówka*

W latach 1999–2004 prowadzono standardowe, codzienne pomiary wydajności i temperatury wody w źródle kontrolnym Balarówka (nr 8). Źródło to położone jest na wysokości ok. 590 m n.p.m., obszarze zlewni Białego Potoku, w osiedlu Balarówka, przy wcięciu drogi asfaltowej prowadzącej z Krościenka–Białego Potoku do miejscowości Tylka, w pobliżu granicy PPN. Źródło zaopatruje jedno gospodarstwo domowe, ujęte jest w kręgi betonowe a odpływ wyprowadzony metalową rurką. Samo miejsce wypływu, z powodu ujęcia źródła, jest niewidoczne. Z dużym prawdopodobieństwem można jednak przyjąć, iż mamy tu do czynienia ze źródłem szczelinowym, ekranowanym zwierzeliną. Sytuacja morfologiczna



Ryc. 2. Średnie miesięczne wydajności źródła kontrolnego Balarówka (nr 8) z okresu 1999–2004.

Monthly average discharge of the Balarówka control spring (no 8) during the period 1999–2004.

kwalifikuje źródło do zboczowych. Geologicznie jest to strefa kontaktu fliszowych utworów pienińskiego pasa skałkowego z fliszem magurskim. Na podstawie wywiadu terenowego ustalono, że w pobliżu było jeszcze kilka innych miejsc wypływu wód podziemnych, które zostały całkowicie ujęte i zabudowane. Średnie miesięczne wydajności źródła, najwyższe w okresie wiosennego topnienia pokrywy śnieżnej (marzec i kwiecień), jednoznacznie wskazują na jego roztopowo-opadowy reżim (Ryc. 2).

Podobny typ zmian wydajności w skali roku

został stwierdzony w źródle kontrolnym w Czorsztynie, u wylotu doliny Harczygrunt, obserwowanym w okresie 1975–1987, obecnie zatopionym przez wody Zbiornika Czorsztyńskiego (Małecka Humnicki 2002).

Średnie roczne wydajności źródła Balarówka pozwalają zaklasyfikować je do VI klasy Meinzera (Tab. I). Obserwacje wykazały, że Balarówka jest źródłem okresowym. Całkowity zanik wypływu zarejestrowano dwukrotnie: w styczniu 2001 r. oraz w okresie grudzień 2003 r. – luty 2004 r. Temperatura wody wykazywała duże wahania, w granicach od 3,5°C w okresach zimowych do 12,8°C latem, co świadczy o stosunkowo płytkim krążeniu wód zasilających źródło.

Roztopowo-opadowy reżim zdają się potwierdzać również zmiany wydajności źródeł, od niedawna kontrolowanych, przy użyciu automatycznych limnimetrów (Tab. II).

Stwierdzenie roztopowo-opadowego reżimu tych źródeł nie jest jednak aż tak jednoznaczne jak w przypadku Balarówki z uwagi na krótki okres obserwacyjny, wyjątkowo suche lato 2003 r. (zwłaszcza sierpień), anomalnie niskie stany wód w następnych kilku miesiącach (susza hydrolo-

Tabela I. Charakterystyczne wydajności [l/s] źródła kontrolnego Balarówka (nr 8).  
Characteristic discharge [l/s] of the Balarówka control spring (np 8).

		XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VII	IX	X	Rok Year
<b>1999</b>	max.	0,03	0,02	0,16	0,18	1,80	1,80	0,36	0,13	0,36	0,30	0,14	0,05	1,80
	śr.mean	<b>0,02</b>	<b>0,02</b>	<b>0,12</b>	<b>0,11</b>	<b>1,04</b>	<b>0,99</b>	<b>0,19</b>	<b>0,09</b>	<b>0,22</b>	<b>0,16</b>	<b>0,10</b>	<b>0,04</b>	<b>0,26</b>
	min.	0,02	0,01	0,02	0,08	0,14	0,20	0,11	0,05	0,11	0,13	0,04	0,04	0,01
<b>2000</b>	max.	0,05	0,23	0,15	0,90	1,80	1,80	0,18	0,11	0,08	0,07	0,10	0,06	1,80
	śr.mean	<b>0,02</b>	<b>0,11</b>	<b>0,06</b>	<b>0,44</b>	<b>0,73</b>	<b>0,72</b>	<b>0,12</b>	<b>0,10</b>	<b>0,06</b>	<b>0,06</b>	<b>0,08</b>	<b>0,05</b>	<b>0,21</b>
	min.	0,01	0,01	0,04	0,04	0,36	0,18	0,09	0,09	0,05	0,06	0,07	0,03	0,01
<b>2001</b>	max.	0,01	0,03	0	0,03	0,36	1,00	0,08	0,36	0,42	0,05	0,12	0,09	1,00
	śr.mean	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0</b>	<b>0,03</b>	<b>0,17</b>	<b>0,44</b>	<b>0,08</b>	<b>0,15</b>	<b>0,24</b>	<b>0,04</b>	<b>0,08</b>	<b>0,06</b>	<b>0,11</b>
	min.	0,02	0,01	0	0,02	0,09	0,16	0,07	0,02	0,07	0,04	0,03	0,05	0
<b>2002</b>	max.	0,08	0,05	0,07	1,67	0,26	0,20	0,20	0,16	0,20	0,18	0,20	0,45	1,67
	śr.mean	<b>0,06</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<b>0,70</b>	<b>0,14</b>	<b>0,17</b>	<b>0,16</b>	<b>0,16</b>	<b>0,16</b>	<b>0,15</b>	<b>0,17</b>	<b>0,20</b>	<b>0,17</b>
	min.	0,03	0,02	0,01	0,12	0,03	0,14	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,18	0,01
<b>2003</b>	max.	0,45	0,23	0,08	0,06	0,23	0,30	0,18	0,14	0,16	0,12	0,08	0,06	0,45
	śr.mean	<b>0,28</b>	<b>0,13</b>	<b>0,06</b>	<b>0,06</b>	<b>0,09</b>	<b>0,24</b>	<b>0,10</b>	<b>0,12</b>	<b>0,13</b>	<b>0,09</b>	<b>0,07</b>	<b>0,05</b>	<b>0,12</b>
	min.	0,20	0,07	0,05	0,06	0,05	0,18	0,07	0,10	0,11	0,07	0,06	0,04	0,04
<b>2004</b>	max.	0,04	0,01	0	0,26	0,60	0,83	0,23	0,18	1,67	1,25	0,08	0,09	1,67
	śr.mean	<b>0,03</b>	<b>0,01</b>	<b>0</b>	<b>0,13</b>	<b>0,25</b>	<b>0,36</b>	<b>0,18</b>	<b>0,15</b>	<b>0,34</b>	<b>0,48</b>	<b>0,08</b>	<b>0,06</b>	<b>0,18</b>
	min.	0,02	0	0	0	0,06	0,28	0,15	0,14	0,12	0,09	0,07	0,08	0

**Tabela II.** Charakterystyczne wydajności [l/s] źródeł objętych obserwacjami limnimetrycznymi.  
Characteristic spring discharges [l/s] monitored by limnimeter.

		XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Year
<b>Spring Pod Wysokim Działem (no 7)</b>														
<b>2002</b>	max.										1,88	1,64	1,64	
	mean										<b>1,53</b>	<b>1,21</b>	<b>0,98</b>	
	min.										1,35	0,86	0,76	
<b>2003</b>	max.	1,88	1,64	1,16	1,03	1,35	2,71				0,62	0,50	0,15	
	mean	<b>1,75</b>	<b>1,38</b>	<b>1,03</b>	<b>0,96</b>	<b>0,84</b>	<b>2,20</b>				<b>0,53</b>	<b>0,25</b>	<b>0,11</b>	
	min.	1,57	1,16	0,92	0,86	0,71	1,35				0,46	0,09	0,08	
<b>2004</b>	max.	0,24	0,32	0,42	0,32	1,09	2,92	3,60	3,97	2,14	1,72			
	mean	<b>0,18</b>	<b>0,26</b>	<b>0,21</b>	<b>0,21</b>	<b>0,35</b>	<b>2,28</b>	<b>3,09</b>	<b>2,21</b>	<b>0,61</b>	<b>0,81</b>			
	min.	0,11	0,19	0,13	0,17	0,13	1,09	2,82	0,53	0,39	0,15			
<b>Spring Kirowego Potoku (no 1)</b>														
<b>2003</b>	max.				0,055	0,520	0,520	0,832	0,718	0,285	0,055	0,080	0,036	
	mean				<b>0,029</b>	<b>0,109</b>	<b>0,187</b>	<b>0,169</b>	<b>0,031</b>	<b>0,008</b>	<b>0,002</b>	<b>0,000</b>	<b>0,004</b>	
	min.				0,023	0,044	0,065	0,022	0	0	0	0	0	0
<b>2004</b>	max.	0,084	0,131	0,097	0,781	0,866	0,508	0,331	0,614	2,127	0,733	0,341	0,546	2,127
	mean	<b>0,006</b>	<b>0,012</b>	<b>0,006</b>	<b>0,079</b>	<b>0,116</b>	<b>0,091</b>	<b>0,095</b>	<b>0,107</b>	<b>0,100</b>	<b>0,155</b>	<b>0,047</b>	<b>0,050</b>	<b>0,072</b>
	min.	0	0	0	0	0,011	0,010	0,009	0,014	0	0,004	0,017	0,022	0
<b>Spring Kotłowego Potoku (no 2)</b>														
<b>2003</b>	max.				0,077	0,335	0,354	0,335	0,280	0,087	0,097	0,108	0,059	
	mean				<b>0,073</b>	<b>0,130</b>	<b>0,316</b>	<b>0,187</b>	<b>0,156</b>	<b>0,074</b>	<b>0,084</b>	<b>0,080</b>	<b>0,038</b>	
	min.				0,068	0,068	0,185	0,120	0,077	0,059	0,068	0,036	0,002	
<b>2004</b>	max.	0,036	0,019	0,014	0,185	0,839	0,839	0,354	0,573	1,914	1,707	0,354	0,157	1,914
	mean	<b>0,010</b>	<b>0,007</b>	<b>0,004</b>	<b>0,092</b>	<b>0,259</b>	<b>0,699</b>	<b>0,193</b>	<b>0,445</b>	<b>0,152</b>	<b>0,796</b>	<b>0,232</b>	<b>0,105</b>	<b>0,250</b>
	min.	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,246	0,024	0,263	0,001	0,316	0,108	0,043	0,01

giczna) oraz wyjątkowo wysokie opady w końcu lipca 2004 r. Fakty te wpłynęły znacząco na wartości średnich i ekstremalnych wydajności.

#### *Źródło pod Wysokim Działem – limnimetr*

Stosunkowo najdłuższy ciąg obserwacyjny ma źródło pod Wysokim Działem (nr 7), położone również w zlewni Białego Potoku. Źródło to inicjuje prawostronny dopływ Białego Potoku o nazwie Pod Wysoki Dział. Usytuowane jest na dnie wyraźnej depresji terenu wcinającej się w zachodni stok góry Wysoki Dział na wysokości 664 m n.p.m., ze względu na morfologię terenu można je więc zaliczyć do źródeł stokowych. Wpływ ekranowany jest zwietrzeliną, a nisza źródłiskowa, z uwagi na zabezpieczenie terenu i roślinności przed zwierzyną leśną, ogrodzona płotem. Bezpośrednio powyżej źródła występują utwory fliszowe, natomiast poniżej odsłaniają się

utwory należące do formacji wapienia pienińskiego, a stok i dno doliny, którą płynie potok, staje się tam bardziej strome.

Limnimetr został zamontowany w grudniu 2001 r., ale ze względu na problemy techniczne, dewastacje przyrządu i związane z tym przerwy w pomiarach, wartości charakterystyczne można było wyznaczyć dopiero od lipca 2002 r. i to z trzymiesięczną przerwą w 2003 r. Najwyższą wydajność źródła (blisko 4 l/s) zarejestrowano w czerwcu 2004 r. Spowodowane to było nałożeniem się wysokich opadów atmosferycznych na kulminację związaną z opóźnionym wpływem topnienia pokrywy śnieżnej. Najniższą wydajność (0,08 l/s) stwierdzono w październiku 2003 r., dwa miesiące po wyjątkowo suchym sierpniu, kiedy to miesięczna suma opadów wyniosła zaledwie 12 mm.

Dotychczasowy przebieg średnich miesięcz-

nych wydajności w granicach od 0,11 do 3,09 l/s pozwala zaliczyć źródło pod Wysokim Działem do VI i V klasy Meinzera, jest to więc jedno z najbardziej wydajnych, stałych źródeł na obszarze Pienińskiego Parku Narodowego. Pod względem wskaźnika zmienności wg Mailleta  $R = Q_{\max}/Q_{\min}$  (Pazdro, Kozerski 1990) źródło to należy zaliczyć do zmiennych. Temperatura wody jest dość stabilna, okresowo wykonywane pomiary wykazały jej wahania w zakresie od 5,3 do 8,4°C. Najniższe temperatury (<6°C) były notowane w styczniu, najwyższe (>8°C) – w listopadzie.

#### *Źródło Kirowego Potoku – limnimetr*

Od końca stycznia 2003 r. pracują dwa limnimetry w zlewni Macelowego Potoku. Pierwszym z wtypowanych do obserwacji limnimetrycznych jest źródło Kirowego Potoku (nr 1), zlokalizowane nieco poniżej głównego grzbietu Pienin, na wysokości 769 m n.p.m., na łagodnie nachylonym zboczu góry Łączana. Jest to jedno z dwóch źródeł inicjujących potok Kirowy. Wyływ następuje z niewielkiej niszy, wgłębionej pomiędzy korzenie samotnie rosnącego świerku na dużej polanie, w strefie występowania piaskowców i łupków z wkładkami zlepieńców. Źródło zaliczyć można do szczelinowych ekranowanych zwietrzeliną, pod względem położenia morfologicznego do podgrzbietowych.

Źródło Kirowego Potoku jest źródłem okresowym. W okresie pracy limnimetru zanotowano częste, całkowite zaniki odpływu w okresie od czerwca 2003 r. do lutego 2004 r., a nawet w lipcu 2004 r., bezpośrednio przed okresem intensywnych opadów. Maksymalne wydajności nie przekraczają w zasadzie 0,9 l/s w okresach wiosennego topnienia pokrywy śnieżnej, wyższą wydajność (nieco ponad 2 l/s) zarejestrowano jedynie w końcu lipca 2004 r., kiedy to na rejestrowane wartości musiał mieć wpływ intensywny spływ powierzchniowy, wywołany opadami. Na podstawie rozkładu średnich miesięcznych wydajności można źródło zaliczyć do VI, VII i VIII klasy Meinzera. Blisko dwuletni okres obserwacji umożliwił obliczenie średniej wydajności dla roku hydrologicznego 2004, która wyniosła 0,072 l/s (VII klasa). Temperatura wody waha się od 3,1°C zimą, przy ujemnych temperaturach

powietrza, do 13,0°C latem przy temperaturach powietrza rzędu 25–30°C. Jest to więc wpływ o bardzo dużych wahaniami termiki, co świadczy o płytkim krążeniu wód podziemnych. Na wzrost amplitudy mierzonych temperatur mogła też mieć, często notowana niewielka wydajność źródła rzędu 0,01–0,02 l/s.

#### *Źródło Kotłowego Potoku – limnimetr*

Odmienne usytuowane morfologicznie jest źródło Kotłowego Potoku (nr 2), położone na wysokości 639 m n.p.m., na stromym południowym stoku Nowej Góry, w lokalnej depresji terenu, na granicy łąki i lasu. Daje początek prawej orograficznie odnodze potoku Kotłowego. Odsłaniają się tu przykryte zwietrzeliną piaskowce i łupki z wkładkami zlepieńców, należące do formacji sromowieckiej. Poniżej miejsca wypływu znajduje się strefa współcześnie tworzącej się martwicy wapiennej, która świadczy o wytrącaniu się rozpuszczonego w wodzie węgla wapnia.

Źródło Kotłowego Potoku należy zaliczyć generalnie do źródeł stałych, ale wydajność, w okresie obserwacyjnym, szereg razy spadała do praktycznie niemierzalnych wartości rzędu 0,001 l/s. Z sytuacją taką mieliśmy do czynienia w listopadzie 2003 r., w okresie od stycznia do marca 2004 r. a nawet w lipcu 2004 r. Maksymalna wydajność źródła nie przekroczyła 0,8 l/s, jedynym wyjątkiem w tym względzie jest okres od 29 lipca do 10 sierpnia 2004 r., kiedy to limnimetr zarejestrował wartości znacznie wyższe, dochodzące niemal do 2 l/s. Tak duże wydajności mogły wynikać z położenia morfologicznego źródła, kiedy to znaczną rolę odgrywał odpływ podpowierzchniowy (o charakterze krótkookresowym), który dopływał do rury pomiarowej przyrządu wpływając na wyniki pomiarów. Średnie miesięczne wydajności pozwalają zaliczyć źródło do VI i VII klasy Meinzera, a obliczona dla roku hydrologicznego 2004 wartość 0,25 l/s do klasy VI. Najniższą średnią wydajność miesięczną wykazało źródło w styczniu 2004 r. Reakcja źródła na suszę hydrologiczną z lata 2003 r. jest więc wyraźnie przesunięta w czasie w stosunku do źródła Kirowego Potoku, które to w styczniu 2004 r. okres najniższych wydajności miało już za sobą i zarejestrowano nawet niewielkie jej wzrosty.

Źródło Kotłowego Potoku charakteryzuje się stabilną termiką świadcząca o głębszym zasilaniu. Temperatura wody waha się od 6,0°C do 9,0°C, przy wartości średniej 7,7°C. Wykonywane okresowo pomiary wykazały konsekwentny jej wzrost od wiosny do jesieni.

#### WYNIKI OBSERWACJI LIMNIMETRYCZNYCH

##### *Reakcja na opady atmosferyczne*

Reakcja źródeł na opady atmosferyczne zostanie przeanalizowana na przykładzie czterodniowego okresu od 20 do 23 maja 2003 r. (Ryc. 3).

W okresie tym wystąpiły znaczne opady atmosferyczne, poprzedzone kilkudniowym, praktycznie bezdeszczowym okresem. Pluviometr na polanie Podłazce (nr 3) zarejestrował: 20 maja – 15,7 mm, 21 maja – 26,8 mm i 22 maja – 21,0 mm. Opady nie były równomiernie rozłożone w czasie. Największe intensywności zarejestrowano 20 maja między godzinami 15<sup>00</sup> a 16<sup>00</sup> (3 mm), 19<sup>00</sup> a 20<sup>00</sup> (powyżej 6 mm) oraz 21 maja między północą a godziną pierwszą (8 mm).

Najszybszą reakcją na opady wykazało się źródło Kirowego Potoku (nr 1), w którym niemal natychmiast zaznaczyły się wzrosty wydajności, odpowiednio o godz. 17<sup>00</sup> (do 0,2 l/s), o godz. 20<sup>00</sup> (do 0,5 l/s) i w nocy o godz. 1<sup>00</sup> (do 0,8 l/s). W następnych dwóch dobach intensywność opadów była już mniejsza, ale poszczególne wzrosty intensywności opadu odbiły się natychmiast na wzrostach wydajności źródła. Z kolei przerwy, lub zmniejszenie się intensywności opadu, powodowało krótsze lub dłuższe kilkugodzinne spadki wydajności źródła, przy zachowaniu generalnie trendu wznoszącego w całym okresie trwania opadów. W dniu 23 maja, po ustaniu opadów, rozpoczął się wyraźny okres regresji źródła. Przebieg wykresu, wykazujący wyraźną reakcję nie tylko na opad, ale nawet na najmniejsze zmiany jego intensywności, potwierdza płytkość dróg krążenia wód podziemnych wpływających w źródle i bardzo krótki czas ich przebywania w środowisku skalnym. Dodatkowo sprzyja temu morfologiczne położenie źródła w strefie podgrzbietowej.

Zupełnie inną reakcję ma położone w tej samej zlewni źródło Kotłowego Potoku (nr 2). W źródle tym praktycznie brak jest bezpośredniej reakcji

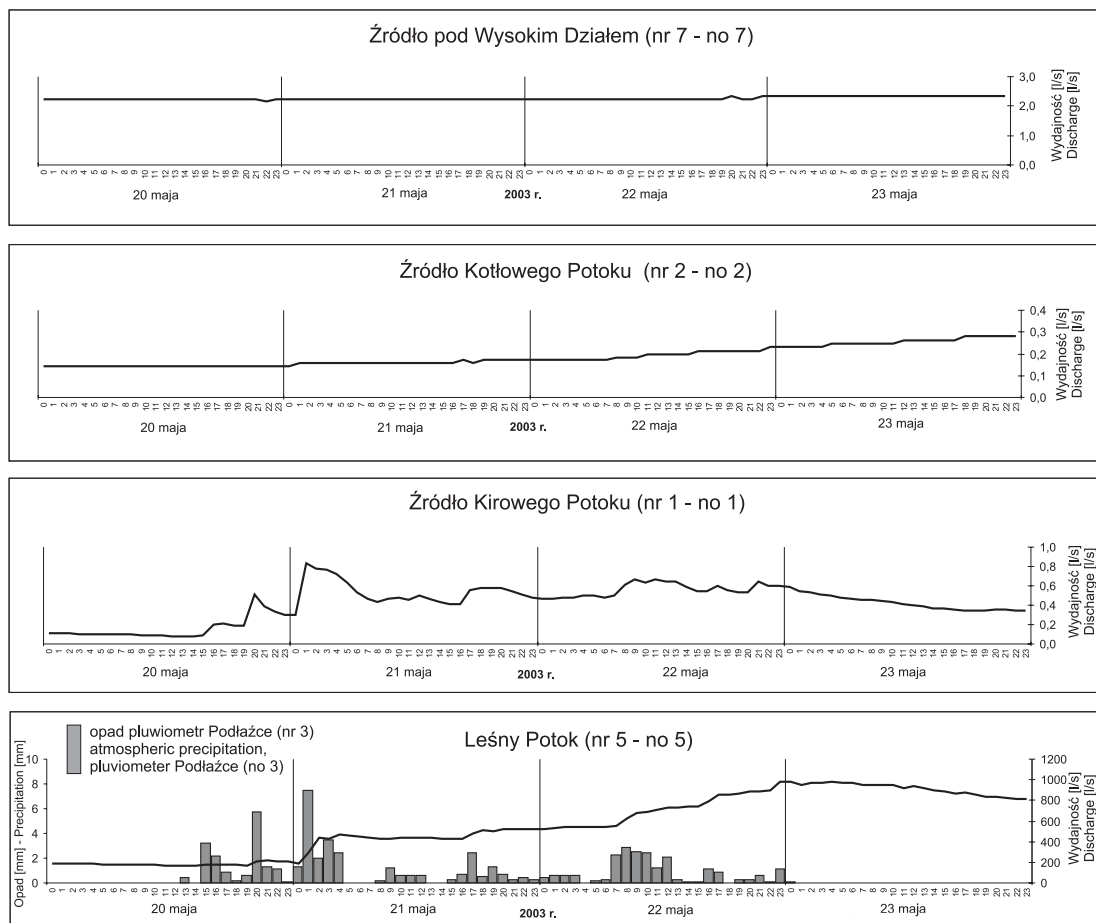
na opad, poza trudno dostrzegalnym, chwilowym wzrostem wydajności w godzinach ich największej intensywności. W całym tym czterodniowym okresie obserwujemy naturalny trend wzrostu wydajności od 0,15 l/s do 0,3 l/s, który utrzymywał się dalej, również po zakończeniu opadów (kulminację 0,33 l/s zarejestrowano następnego dnia i trwała ona aż do 30 maja). Źródło wykazało więc w zasadzie własny reżim, niezależny od chwilowego zasilania opadami atmosferycznymi, co świadczy o zdecydowanie głębszym krążeniu wód podziemnych, związanym najprawdopodobniej ze stwierdzoną przez Birkenmajera i Jednorowską (1984) strefą nasunięcia. Wydaje się, iż czynnik, z którym należy wiązać wzrost wydajności w tym okresie, to efekt opóźnionej reakcji związanej z wiosennym topnieniem pokrywy śnieżnej.

Trendu wznoszącego w tym okresie nie stwierdzono natomiast w Źródle pod Wysokim Działem (nr 7), gdzie wydajność utrzymywała się praktycznie na stałym poziomie w granicach 2,2–2,3 l/s.

Na wykresie przedstawiono też przebieg godzinowych wydajności z nieistniejącego już limnimetru (nr 5) na Leśnym Potoku. W tym przypadku wzrost wydajności jest spokojniejszy, ale konsekwentny od 170 l/s w dniu 20 maja do 980 l/s w nocy z 22/23 maja. W czasie trwania opadów cały czas rejestrowano tendencję wzrostową przepływu potoku, z większymi impulsami wzrostu w godzinach najintensywniejszych opadów. Maksymalny przepływ zarejestrowano w momencie zakończenia opadów, po czym od razu rozpoczęła się regresja przepływu.

Warto również prześledzić reakcję źródeł na opady atmosferyczne, jaką zaobserwowano 16 maja następnego 2004 roku. W tym dniu w pluwiometrze na polanie Wielka Dolina (nr 6) zarejestrowano jedynie 8,0 mm opadu, a jego intensywność nie przekroczyła wartości 1,3 mm/godzinę (Ryc. 4).

Źródło Kirowego Potoku, przy zachowaniu dużej wrażliwości na opady, tym razem zareagowało nieco wolniej, a kulminacja była bardziej rozmyta i przesunięta w czasie około 2 godzin. Źródło pod Wysokim Działem wykazywało, podobnie jak w poprzednim przykładzie, dość stabilną wydajność, wynikającą z własnego reżimu



**Ryc. 3.** Porównanie reakcji Leśnego Potoku i monitorowanych źródeł na opady atmosferyczne w okresie 20–23 maja 2003 roku (wartości godzinowe).

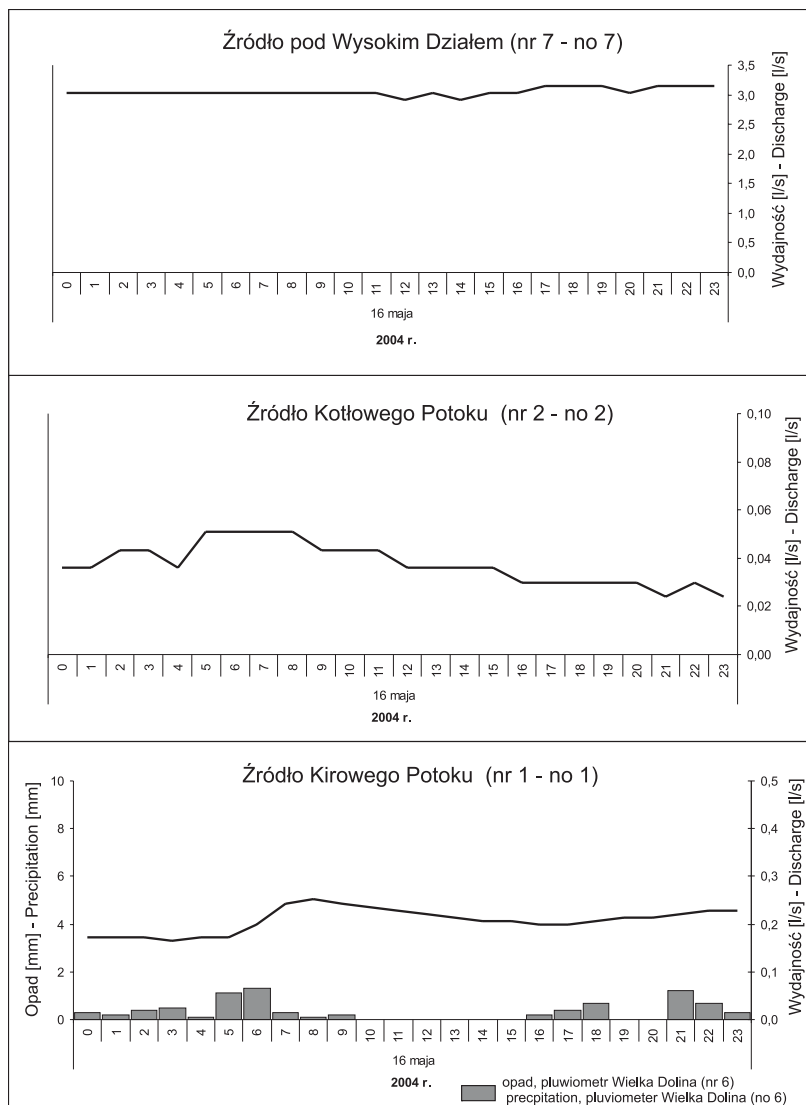
Comparison of atmospheric precipitation reactions of the Leśny Potok stream and the monitored springs during the period 20–23 May, 2003 (1-hour values).

hydrogeologicznego, niezależnego od bieżących opadów. Zupełnie inaczej zareagowało natomiast źródło Kotłowego Potoku. Przy znacznie niższych wydajnościach (nie przekraczających 0,05 l/s) zaobserwowano pewną wyraźną zależność od opadów, jakiej poprzednio praktycznie nie było. W tym przypadku zmiany wydajności bardziej pokrewne są zmianom zaobserwowanym w źródle Kirowego Potoku niż w źródle pod Wysokim Działem. Fakt ten wytłumaczyć można jedynie złożonym typem zasilania źródła Kotłowego Potoku, w którym udział biorą dwa systemy krążenia głębszy, związany ze strefą dyslokacyjną, oraz płytszy, w którym duży udział ma odpływ

podpowierzchniowy o charakterze krótkookresowym. Wzajemne proporcje pomiędzy dopływem wód z obu systemów różne są w różnych porach roku i zależą zarówno od bieżącej sytuacji atmosferycznej, jak i zjawisk meteorologicznych w okresie wcześniejszym.

#### *Reakcja na topnienie pokrywy śnieżnej*

Odmierna jest reakcja każdego ze źródeł w okresie wiosennego topnienia pokrywy śnieżnej. Zagadnienie to zostanie przedstawione na przykładzie wiosny 2003 r. Analizie poddano wartości średnie dobowe z okresu trzech miesięcy (lutego, marca i kwietnia), obliczone na podstawie obserwacji



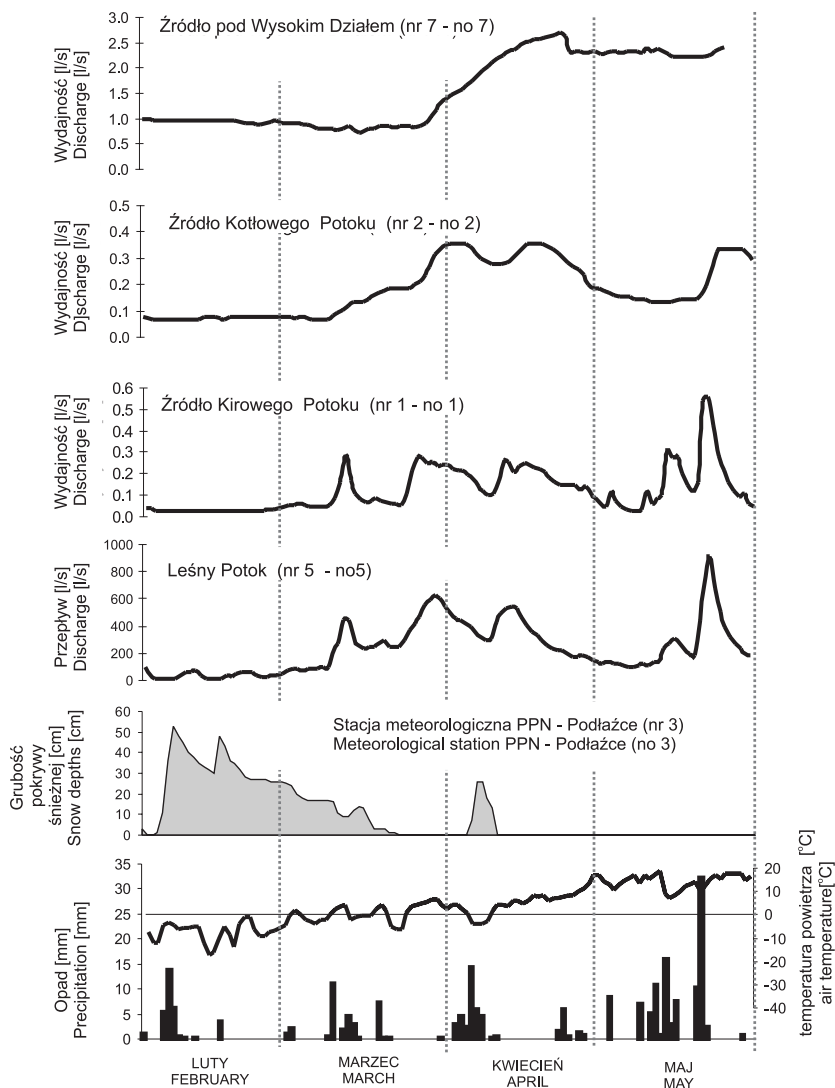
**Ryc. 4.** Reakcja źródeł na opady atmosferyczne w dniu 16 maja 2004 roku (wartości godzinowe).  
The effect of atmospheric precipitation of May 16th, 2004 on the springs (1-hour values).

limnimetrycznych. Zgromadzone dane umożliwiają porównanie zmian wydajności źródeł na tle zmian przepływu Leśnego Potoku (Ryc. 5).

W pierwszych dniach lutego zaznaczyła się regresja przepływu Leśnego Potoku wywołana falą mrozów (do  $-10^{\circ}\text{C}$ ), przepływ zmniejszył się ze 106 l/s w dniu 1 lutego do 10 l/s w dniu 3 lutego. W dniu 8 lutego, mimo utrzymujących się ujemnych temperatur powietrza, zaznaczył się

niewielki wzrost przepływu (do 50 l/s) wywołany opadem świeżego śniegu. W następnych dniach nastąpiła fala mrozów ( $-15$  do  $-20^{\circ}\text{C}$ ) i praktyczne zahamowanie splywu powierzchniowego, co spowodowało ponowną regresję przepływu. W dniu 28 lutego krótkotrwała odwilż w godzinach popołudniowych stała się przyczyną wzrostu przepływu do 66 l/s. Zasadniczy proces topnienia pokrywy śnieżnej rozpoczął się jednak dopiero





**Ryc. 5.** Reakcja wód powierzchniowych i podziemnych w okresie wiosennego topnienia pokrywy śnieżnej w 2003 roku (wartości dobowe).

The effect of the spring thaw of 2003 on surface and ground water (24-hour values).

10–11 marca, kiedy to na odwilż nałożyły się opady deszczu. Wywołało to gwałtowny wzrost przepływu z 95 l/s w dniu 9 marca do 618 l/s w dniu 13 marca. Kulminacja wystąpiła trzeciego dnia po nastaniu dodatnich temperatur powietrza. W następnym dniach topnienie zostało przyhamowane z powodu ujemnych temperatur powietrza. Od 24 marca nastął dłuższy okres, w którym mie-

liśmy do czynienia z temperaturami dodatnimi. Tym razem wzrost przepływu potoku, nie wspomagany opadami deszczu, był mniej gwałtowny, a kulminacja wystąpiła dopiero po sześciu dniach. Trzecia, wyraźna kulminacja, związana z topnieniem pokrywy śnieżnej, pojawiła się 11 kwietnia. Była ona związana z topnieniem świeżo spadłego (w dniu 6 kwietnia) śniegu oraz opadami deszczu.

Wraz z jej przejściem kończy się okres reżimu roztopowego potoku i zaczyna okres, w którym przepływ kształtuje się wyłącznie pod wpływem opadów atmosferycznych.

Niemal analogiczną (jak Leśny Potok) reakcję na wzrost temperatur, wywołujący topnienie pokrywy śnieżnej, wykazało źródło Kirowego Potoku. Zwraca uwagę bardzo gwałtowny, krótkotrwały wzrost, związany z pierwszą dużą odwilżą w połowie marca, w której duży udział musiał mieć również spływ powierzchniowy z topniejącego śniegu w najbliższym otoczeniu niszy źródłowej.

Zupełnie inaczej reagowało natomiast źródło Kotłowego Potoku. Mimo wyraźnego wzrostu wydajności w marcu, pierwsza kulminacja, związana z topnieniem śniegu, wystąpiła dopiero na początku kwietnia, po pewnym okresie zmniejszenia się wydajności nastąpiła druga kulminacja w połowie kwietnia, po czym, po ponownym dłuższym okresie regresji, trzecia – w ostatniej dekadzie maja.

Jeszcze inną reakcję wykazało źródło pod Wysokim Działem, w którym wzrost wydajności rozpoczął się najpóźniej, dopiero pod koniec marca i miał charakter jednorazowy. Po osiągnięciu kulminacji w dniu 23 kwietnia, nastąpił jej pewien spadek, po czym wydajność utrzymywała się na niemal niezmiennym poziomie, aż do dnia dekastacji limnimetru w dniu 25 maja.

#### PODSUMOWANIE

Na terenie Pienińskiego Parku Narodowego został stworzony załączek nowoczesnej sieci monitoringu wód podziemnych. Limnimetry i pluwiometry, umieszczone w stosunkowo trudno dostępnym terenie górskim, z daleka od siedzib ludzkich, uniezależniają prowadzenie badań od obserwatorów i eliminują większość subiektywnych czynników wpływających na pomiary.

Już niespełna dwuletni okres eksploatacji przyrządów dostarczył wielu cennych informacji na temat reakcji źródeł na opady atmosferyczne i wiosenne topnienie pokrywy śnieżnej. Najszybszą reakcją na opad i najmniejsze zmiany jego intensywności wykazało, położone w strefie podgrzbietowej, źródło Kirowego Potoku o zdecydowanie płytkim systemie zasilania.

W zasilaniu źródła Kotłowego Potoku biorą udział dwa systemy zasilania, głębszy związany ze strefą dyslokacyjną i płytszy, w którym duży udział ma odpływ powierzchniowy o charakterze krótkookresowym.

Najbardziej stabilny reżim, niezależny od bieżących opadów atmosferycznych, stwierdzono w źródle pod Wysokim Działem. W tym przypadku reakcja na opady i topnienie pokrywy śnieżnej jest najbardziej opóźniona.

#### PIŚMIENNICTWO

- Barczyk G. 2003. Circulation in present-day karst systems sourcing the vaucluse springs in the Polish Tatra Mts., based on tracer methods and limnimetric observations. — *Geological Quarterly*, **47**(1): 97–106.
- Barczyk G., Humnicki Wł., Żurawska G. 2001. Obserwacje limnimetryczne wywierzyisk tatrzańskich. — *Współczesne Problemy Hydrogeologii*, **10**(2): 11–20.
- Barczyk G., Humnicki Wł., Żurawska G. 2002. Dependence of the karstic waters in the Tatra Mts. on changing atmospheric conditions. — *Acta Geologica Polonica*, **52**(1): 117–127.
- Birkenmajer K., Jednorowska A. 1984. Stratygrafia górnej kredy płaszczowiny pienińskiej okolic Sromowiec Niżnych w Pieninach. — *Studia Geologica Polonica*, **83**.
- Humnicki Wł. 2003. Odpływ podziemny w wybranych zlewniach Pienińskiego Parku Narodowego. — *Pieniny – Przyroda i Człowiek*, **8**: 41–51.
- Humnicki Wł. 2004. Baseflow in mountainous areas based on selected catchments in the Polish Pieniny Klippenbelt. [W:] VIII ročník mezinárodní konference „Hydrogeochémia 05”, 24–25 VI, – Ostrava, ss. 21–24.
- Humnicki Wł. 2005. Jakość wód podziemnych i powierzchniowych Pienińskiego Parku Narodowego. [W:] IX ročník mezinárodní vědecké konference „Hydrogeochémia 05”, 21–22 VI, – Bratislava, ss. 173–179.
- Małecka D. 1985a. Znaczenie badań stacjonarnych w rozpoznaniu reżimu hydrogeologicznego źródeł i wywierzyisk krasowych w Tatrach. [W:] Sympozjum „Aktualne problemy hydrogeologii”, Kraków–Karniowice. — *Wyd. AGH Kraków*, ss. 119–131.
- Małecka D. 1985b. *Studia hydrogeologiczne krasu Tatr Polskich*. — *Gacek*, **2**.
- Małecka D., Humnicki Wł. 2001. Stan rozpoznania hydrogeologicznego Pienińskiego Parku Narodowego. — *Współczesne Problemy Hydrogeologii*, **10**(1): 45–54.
- Małecka D., Humnicki Wł. 2002. *Problemy hydrogeologii i ochrony wód Pienińskiego Parku Narodowego*. — *Pieniny – Przyroda i Człowiek*, **7**: 49–70.

Małecka D., Humnicki Wł., Małecki J., Łabaszewski W. 1996. Charakterystyka i ocena aktualnej jakości wód w rejonie Zbiornika Czorszyńskiego. — *Przegląd Geologiczny*, 11: 1103–1110.

## SUMMARY

Hydrogeological research in the area of the Pieniny National Park was conducted for over ten years by the scientific team of the University of Warsaw. At the beginning the research focused around the Czorsztyn reservoir (Małecka et al., 1996) and later was extended to the whole area of the Park and even to a considerable part of the Slovakian Pieniny National Park (PIENAP) (Małecka, Humnicki, 2001, 2002; Humnicki, 2003, 2004, 2005).

In order to determine precisely the sensitivity of the ground and surface waters in the Pieniny Mts. to the atmospheric precipitation and the springtime thaw, four electronic limnimeters and two pluviometers with continuous data registration have been installed. This type of equipment has been working in the Tatra Mts. since 1998 and has contributed considerable data to improve the understanding of the karst water's dynamic (Barczyk et al., 2001, 2002; Barczyk, 2003).

Three springs have been selected for limnimetric study: Kirowy Potok spring (no 1, Fig.1), Kotłowy Potok spring (no 2) and Pod Wysokim Działem spring (no 7). The fourth limnimeter was installed at the Leśny Potok, in the vicinity of the Chata "Pieniny", on the area of Slovakian PIENAP (point no 5). The first pluviometer (no 6) was installed among the apices of the Pieniny Mts., within the Wielka Dolina clearing, 780 m a.s.l.; the second one – within the Podłażce clearing, 485 m a.s.l., just near the standard Hellman rain gauge, makes it possible to compare the data routinely.

The limnimetric measurements of the discharge of the springs no 1, 2 and 7, gave the base reading enabling distinct rate curves to be constructed and the discharge variation over time to be determined.

The monthly-mean discharges of the Balarówka spring, observed since 1998, clearly show the type of thaw-infiltration regime (Fig. 2, Tab. I).

The similar type of regime is corroborated

by the variation in discharge observed at the other springs where limnimeters were installed (Tab. II).

The reaction of the springs' discharges to atmospheric precipitation was analyzed using 4-days period from 20 to 23 May 2003 as an example (Fig. 3).

The graph for the Kirowy Potok spring (no 1), shows clearly its fast reaction not only to rainfall but also to the change in the intensity of the rain, indicating that groundwater discharges from this spring have very shallow flow paths and very short residence time in the geological environment. The Kotłowy Potok spring (no 2) over the 4-day study period has a unique regime, independent of rainfall, which is an evidence of the considerably deeper groundwater circulation paths connected, supposedly, with the thrust zone discovered by Birkenmajera and Jednorowska (1984). Different reactions of this spring were observed in May 16, 2004 (Fig. 4), when variations in its discharge were quite similar to those observed in spring no 1. This fact can be explained by the complex way in which the Kotłowy Potok spring is recharged due to contribution of waters of two circulation systems: the deeper waters probably are connected with the dislocation zone, and the shallower ones are dominated by short-term subsurface runoff.

Moreover, the reaction of this particular spring is different during the period of snow-cover thaw in springtime (Fig. 5).

The Kirowy Potok spring (no 1) reacted to the increase of the air temperature which activated the thaw of snow cover. Its reaction was quite similar to that observed in the Leśny Potok (no 5). In contrast, the discharge of the Kotłowy Potok spring in reaction to snow melting was delayed and fuzzy, whereas that in the Pod Wysokim Działem spring was the most delayed but arrived all at once.

Within the area of the Pieniny National Park a modern network of the groundwater monitoring has been initiated. The equipment was installed in remote mountainous areas, far away from human settlements. The automatic gauges work independently of human observers, thereby reducing costs of the research as well as eliminating the majority of subjective errors due to reading inaccuracies.

