

## REAKCJA WYBRANYCH ŹRÓDEŁ PIENIŃSKICH NA ZASILANIE ROZTOPOWE

### REACTION OF SELECTED SPRINGS IN THE PIENINY MTS. FOR THAWING RECHARGE

WŁODZIMIERZ HUMNICKI<sup>1</sup>

**Abstrakt.** W artykule przedstawiono reakcję na zasilanie roztopowe trzech źródeł usytuowanych na obszarze Pienińskiego Parku Narodowego, w których od 2003 r. są prowadzone obserwacje stacjonarne przy użyciu automatycznych limnimetrów z ciągłą rejestracją danych. Przeanalizowano elementy meteorologiczne, wywierające bezpośredni wpływ na dynamikę zmian infiltracji i retencji zbiorników wód podziemnych zasilających badane źródła w okresie zimowym i wczesnowiosennym, w tym w szczególności temperaturę powietrza, czas utrzymywania się, maksymalną i średnią grubość pokrywy śnieżnej oraz terminy roztopów. Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono, że na przebieg zasilania roztopowego źródeł pienińskich wpływ ma cały szereg czynników meteorologicznych, geologicznych oraz hydrogeologicznych. Do najważniejszych można zaliczyć: warunki meteorologiczne zimy, usytuowanie morfologiczne źródła, głębokość dróg krążenia wód podziemnych drenowanych przez źródło oraz ewentualną złożoność systemów ich zasilania.

**Słowa kluczowe:** źródła, zasilanie roztopowe, Pieniński Park Narodowy.

**Abstract.** The stationary monitoring of selected springs in the area of the Pieniny National Park has been conducted since 2003. This paper presents the reaction of spring discharge on the snow cover thawing. The discharge has been monitored by means of the automatic limnimeters with continuous data logging. The study concerned meteorological factors (i.e. air temperature, snow cover thickness and duration, time of thawing) affecting directly the infiltration and retention dynamic of waters recharging springs in winter and early-spring period. The duration and course of the spring recharge caused by thawing depends on many interrelated meteorological, geological and hydrogeological factors. The most important are the winter meteorological conditions, morphological position of the spring, the depth of groundwater flow paths drained by the spring, and eventual relationship among recharging systems of particular springs.

**Key words:** springs, thawing recharge, Pieniny National Park.

### WSTĘP

Prowadzone od kilkunastu lat szczegółowe rozpoznanie hydrogeologiczne Pienińskiego Parku Narodowego i jego otuliny, w połączeniu z wynikami obserwacji okresowych i stacjonarnych szeregu źródeł usytuowanych na obszarze polskiej części pienińskiego pasa skałkowego, umożliwia charakterystykę reżimu hydrogeologicznego wód podziemnych Pienin. Rozkład średnich miesięcznych wydajności źródeł pienińskich w zdecydowanej większości przypadków

wskazuje na roztopowo-opadowy charakter ich zasilania (Małecka, Humnicki, 2001, 2002; Humnicki, 2006, 2007). Najwyższe wydajności są notowane w marcu i kwietniu, w czasie wiosennego topnienia pokrywy śnieżnej i w okresie następującym bezpośrednio po nim. Wzrost wydajności, związany z letnimi opadami, jest zdecydowanie mniejszy i ma znaczenie drugorzędne. W kształtowaniu całorocznych zasobów wód podziemnych w Pieninach decydujące jest

---

<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

więc zasilanie na przełomie zimy i wiosny, związane z topnieniem śniegu i w znacznie mniejszym stopniu opadami deszczu w tym okresie. Prawdopodobnie ta, zaobserwowana także w innych obszarach górskich i wyżynnych w Polsce (Leszkiewicz i in., 1993; Tarka, 1997), warta jest szczególnego rozpatrzenia również w przypadku Pienin.

Z uwagi na mozaikową budowę geologiczną pienińskiego pasa skałkowego mającego charakter „megabrekcji tektonicznej” warunki hydrogeologiczne są skomplikowane i zróżnicowane. Większość źródeł pienińskich drenuje zarówno wody szczelinowe podłoża, jak i wody porowe zwietrzelin. Istotny jest udział źródeł dyslokacyjnych (Humnicki, 2007).

W artykule dokonano szczegółowej analizy reakcji na zasilanie roztopowe trzech źródeł usytuowanych na obszarze Pienińskiego Parku Narodowego w Pieninach Czorsztyńskich. Są to źródła następujących potoków: Pod Wysoki Dział, Kotłowego oraz Kirowego (fig. 1).

**Źródło Potoku Pod Wysoki Dział** inicjuje prawostronny dopływ Białego Potoku. Jest usytuowane na wysokości 664 m n.p.m. na dnie wyraźnej depresji terenu wcinającej się w zachodni stok Wysokiego Działu. Pod względem położe-

nia morfologicznego jest źródłem zboczym. Powyżej źródła odsłaniają się utwory fliszowe, natomiast poniżej występują utwory należące do formacji wapienia pienińskiego jednostki braniskiej. 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. Na podstawie analizy recesji wydatku wysnuto hipotezę o stosunkowo jednorodnym systemie zasilania tego źródła (Humnicki, 2012).

**Źródło Kotłowego Potoku** położone jest na wysokości 639 m n.p.m. na bardzo stromym, południowym zboczu Nowej Góry, w lokalnej depresji terenu. Odsłaniają się tu przykryte zwietrzeliną piaskowce i łupki z wkładkami zlepieńców, należące do fliszu sromowieckiego oraz utwory formacji wapienia pienińskiego jednostki pienińskiej. Poniżej miejsca wypływu znajduje się strefa współcześnie tworzącej się martwicy wapiennej. Średnie miesięczne wydajności tego źródła od <0,01 do 1,10 l/s pozwalają zaliczyć je głównie do VII i VIII klasy Meinzera, a tylko sporadycznie do klasy V. W wyniku analizy reakcji wydajności na

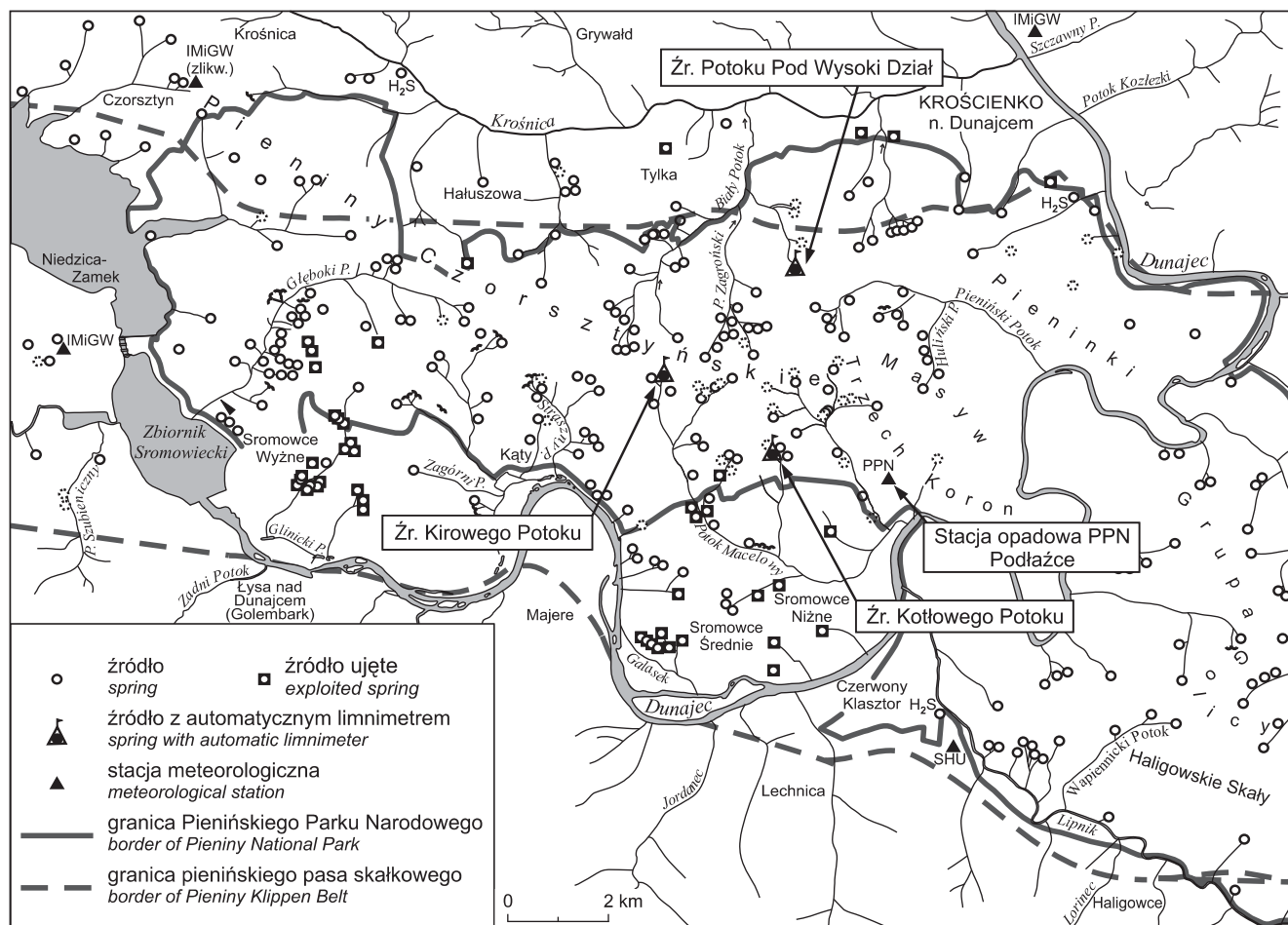


Fig. 1. Lokalizacja punktów badawczych

Location of the research points

opady atmosferyczne stwierdzono złożony typ zasilania tego źródła, w którym udział biorą dwa systemy krążenia: głębszy, związany ze strefą dyslokacyjną, oraz płytszy, w którym duży udział ma odpływ podpowierzchniowy o charakterze krótkookresowym (Humnicki, 2006).

**Źródło Kirowego Potoku** jest zlokalizowane na wysokości 769 m n.p.m. w pobliżu głównego grzbietu Pienin na łagodnie nachylnym zboczu góry Łączana. Z morfologicznego punktu widzenia należy zaliczyć je do podgrzbietowych, a ze względu na charakter ośrodka do szczelinowych, ekranowanych zwietrzeliną. Wyływ następuje w strefie występowania piaskowców i łupków z wkładkami zlepieńców należących do fliszu sromowieckiego i ma charakter zdecydowanie okresowy. Na podstawie rozkładu średnich miesięcznych wydajności (od 0,00 do 0,38 l/s) źródło można zaliczyć do VI, VII i VIII klasy Meinzera. Ze wszystkich opisanych wyływów źródło to wykazuje najszybszą reakcję

nie tylko na opad atmosferyczny, ale nawet na najmniejsze zmiany jego intensywności (Humnicki, 2006), co świadczy o płytkości dróg krążenia wód podziemnych wypływających w źródle i bardzo krótkim czasie ich przebywania w środowisku skalnym.

Od 2003 r. na wszystkich wymienionych źródłach są prowadzone obserwacje stacjonarne przy zastosowaniu automatycznych limnimetrów z ciągłą rejestracją danych. Elektroniczna rejestracja pomiarów odbywa się w interwale czasowym 60 minut, wartości dobowe są uzyskiwane każdorazowo z uśrednienia 24 pomiarów godzinowych. Od momentu zainstalowania limnimetrów są okresowo wykonywane pomiary wydajności, co umożliwiło skonstruowanie krzywych konsumpcyjnych i przeliczanie na bieżąco rejestrowanych przez przyrządy stanów wód na odpowiadające im wydatki źródeł.

## WARUNKI METEOROLOGICZNE OKRESÓW ZIMOWYCH

Udostępnione przez Dyрекcję Pienińskiego Parku Narodowego dane ze stacji meteorologicznej PPN zlokalizowanej u podnóża masywu Trzech Koron na polanie Podłażce w Sromowcach Niżnych obejmowały: dobowe sumy opadów atmosferycznych, średnie i ekstremalne dobowe temperatury powietrza oraz grubość pokrywy śnieżnej.

W latach 2003–2011 prześlędzono zmienność średniej dobowej temperatury powietrza, ze szczególnym uwzględnieniem okresów występowania temperatur ujemnych, zbadano częstość występowania, czas utrzymywania się, maksymalną i średnią grubość, a także czas topnienia pokrywy śnieżnej. Wyróżniono trzy charakterystyczne przebiegi sezonu zimowego: zimy śnieżne (typ I), w których średnia grubość pokrywy przekraczała 20 cm, a najdłuższy, nieprzerwany okres jej zalegania wyniósł powyżej 60 dni, zimy umiarko-

wanie śnieżne (typ II) ze średnią grubością pokrywy od 10 do 20 cm przy najdłuższym okresie jej ciągłego zalegania między 30 a 60 dni oraz zimy mało śnieżne (typ III) ze średnią grubością pokrywy nieprzekraczającą 10 cm i bardzo zróżnicowanych i zmiennych okresach jej występowania (tab. 1).

Za początek okresu roztopów przyjęto pojawianie się w ciągu dnia dodatniej temperatury powietrza, powodujące równoczesne rozpoczęcie procesu stopniowego zmniejszania się grubości pokrywy śnieżnej. W pierwszej fazie roztopów proces ten jest bardzo powolny i zahamowywany w godzinach nocnych, kiedy powraca temperatura ujemna. Zasadniczy proces roztopów związany jest z drugą fazą, kiedy to w okresie całej doby panuje już temperatura dodatnia, a pokrywa śnieżna znika bardzo szybko. Za koniec roztopów przyjęto całkowity zanik pokrywy.

## REAKCJA ŹRÓDEŁ NA ZASILANIE ROZTOPOWE

Analizę reakcji wydajności źródeł na infiltrację wód roztopowych przeprowadzono w obrębie wydzielonych typów meteorologicznych zim. Prześlędzono terminy roztopów oraz dynamikę zmian wydajności źródeł w okresach: zimowym, wczesnowiosennym, a także wiosennym. Szczególną uwagę zwrócono na sposób zasilania wód podziemnych w tych okresach: roztopowy, roztopowo-opadowy lub opadowy.

Określenie reakcji wydajności źródeł na zasilanie roztopowe lub roztopowo-opadowe scharakteryzowano w postaci czasu  $t_1$  (wyrażonego w dniach) między maksimum intensywności roztopów a początkiem wzrostu wydajności oraz czasu  $t_2$  między maksimum intensywności roztopów a kulminacją

wydajności. Jako maksimum intensywności roztopów przyjęto dzień, w którym pokrywa śnieżna uległa stopieniu do połowy swojej maksymalnej miąższości, przy jednoczesnym występowaniu dodatnich temperatur powietrza (tab. 2).

W okresie zim śnieżnych oraz umiarkowanie śnieżnych (typ I i II) maksimum intensywności roztopów łącznie z zanikaniem pokrywy śnieżnej przypadało na drugą dekadę marca, natomiast w przypadku zim mało śnieżnych (typ III) terminy te były bardzo zróżnicowane, poczynając nawet od trzeciej dekady grudnia aż do początku marca.

W odniesieniu do źródła potoku Pod Wysoki Dział (A) daje się zaobserwować wyraźne wydłużenie czasu reakcji  $t_1$

Tabela 1

**Charakterystyka retencji śniegowej i okresów roztopowych w Stacji Meteorologicznej Pienińskiego Parku Narodowego na polanie Podłażce w Sromowcach Niżnych**

Characteristic features of snow retention and thawing periods in Meteorological Station of Pieniny National Park located in Podłażce, Sromowce Niżne

Rok hydrologiczny	Pokrywa śnieżna							Przebieg roztopów		Typ zimy		
	Okres występowania					Najdłuższy okres ciągłego zalegania			Długość roztopów [dni]		Termin maksymalnych roztopów	
	Daty	Długość [dni]	Grubość [cm]		% dni z pokrywą	Krotność pojawiania się	Daty	Długość [dni]				Średnia grubość [cm]
			Średnia	Maks.								
2003	3.01–13.04	98	13,1	53 (7.02)	67	8	4.02–22.03	47	23,1	31	11.03	II
2004	8.12–29.03	112	13,0	41 (17.12)	83	5	9.02–6.03	37	21,9	30	13.03	II
2005	20.11–27.03	128	25,2	77 (27.01)	70	7	21.01–27.03	66	43,9	36	18.03	I
2006	20.11–25.03	126	22,1	52 (13.02)	83	2	16.12–25.03	100	27,5	35	10.03	I
2007	2.11–22.03	141	2,0	20 (30.01)	18	3	24.01–10.02	18	12,6	11	5.02	III
2008	7.11–26.03	141	5,0	41 (14.12)	58	8	13.12–14.01	33	10,5	28	5.01	III
2009	23.11–28.03	126	7,7	39 (16.02)	63	9	9.02–5.03	25	18,9	11	5.03	III
2010	14.10–19.03	157	4,3	19 (16.02)	54	5	12.01–25.02	45	8,1	10	19.02	III
2011	28.11–25.02	90	9,2	37 (13.12)	77	5	28.11–11.01	45	16,1	22	22.12	III

na roztopy z 4–5 dni dla zim umiarkowanie śnieżnych do 18–30 dni dla zim mało śnieżnych. Oznacza to, że mniejsza retencja śnieżna powoduje w tym wypadku wyraźne wydłużenie czasu reakcji na roztopy. W źródłach potoków Kotłowego i Kirowego (B i C) początek wzrostu wydajności następował z reguły przed dniem maksymalnych roztopów.

Nie negując faktu, że na przebieg zasilania roztopowego w znacznym stopniu wpływają warunki meteorologiczne zim, zmienność warunków termicznych i bilansu śnieżnego, wydaje się, że w przypadku źródeł pienińskich decydującym czynnikiem kształtującym dynamikę wydajności oraz proces zasilania zbiorników wód podziemnych drenowanych przez źródła, są lokalne warunki hydrogeologiczne i morfologiczne. Najdłuższym czasem reakcji  $t_2$  w granicach 32–92 dni charakteryzowało się źródło potoku Pod Wysoki Dział (A). W tym szczelinowym (wzgl. szczelinowo-krasowym) źródle zboczym najprawdopodobniej następuje drenaż stosunkowo jednorodnego i stosunkowo większego zbiornika wód podziemnych (Humnicki, 2012). Z kolei w zboczym źródle Potoku Kotłowego (B), gdzie stwierdzono złożony typ zasilania (Humnicki, 2006) czas reakcji był nieco krótszy i wahał się w granicach 12–64 dni, natomiast w źródle Potoku Kirowego (C) czas reakcji był zdecydowanie najkrótszy

i wynosił od 1 do 17 dni. Źródło Potoku Kirowego jest źródłem podgrzbietowym, o najpłytszych drogach krążenia wód podziemnych i najkrótszym czasie ich przebywania w środowisku skalnym. Biorąc pod uwagę fakt, że większość źródeł pienińskich stanowią źródła stokowe i zboczowe o względnie dłuższych drogach krążenia (ok. 70 % wszystkich źródeł; Humnicki, 2007), jako typowy czas reakcji na zasilanie roztopowe można przyjąć okres od 30 do 60 dni.

Zmiana wydajności źródeł w wyniku zasilania roztopowego jest wyraźnie uzależniona od typu zimy i związanej z tym wielkości retencji śnieżnej. W przypadku roztopów następujących po zimach mało śnieżnych (typ III) źródła zwiększają swoją wydajność kilka lub kilkunastokrotnie, natomiast po zimach bardziej śnieżnych (typ I i II) kilkadziesiąt lub nawet kilkaset razy. W źródłach okresowych następuje wznowianie się wypływów po całkowitym ich zaniku.

Na przebieg zasilania roztopowego istotny wpływ ma też stan retencji wód podziemnych przed nastaniem roztopów oraz występowanie opadów deszczu w ich trakcie. Ten ostatni czynnik w analizowanym okresie mógł mieć wpływ w roku 2007, kiedy to w ciągu 11 dni roztopów spadło aż 58 mm deszczu i mokrego, szybko topniejącego śniegu.

Tabela 2

**Reakcja wydajności źródeł pienińskich na zasilanie roztopowe**  
Reaction of springs' discharge in the Pieniny Mts. for thawing recharge

Typ zimy	Rok hydrologiczny	Czas reakcji t <sub>1</sub> [dni]			Czas reakcji t <sub>2</sub> [dni]			Zmiana wydajności [l/s]		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
II	2003	5	*	*	38	23	1	0,952 → 2,714 (× 2,8)	0,280 → 0,727 (× 2,6)	0,039 → 0,265 (× 6,8)
II	2004	4	*	*	92	19	4	0,195 → 3,967 (× 20,3)	0,000 → 0,810 (× ∞)	0,011 → 0,538 (× 48,9)
I	2005	–	*	*	–	12	1	–	0,000 → 1,14 (× ∞)	0,052 → 0,760 (× 14,6)
I	2006	–	18	*	–	22	17	–	0,002 → 0,648 (× 324,0)	0,000 → 0,687 (× ∞)
III	2007	*	*	*	53	54	9	–	? → 0,464 (?)	0,183 → 0,449 (× 2,5)
III	2008	18	20	0	80	64	16	2,323 → 3,480 (× 1,5)	0,097 → 0,457 (× 4,7)	0,139 → 0,610 (× 4,4)
III	2009	*	*	*	46	27	1	1,963 → 3,231 (× 1,6)	0,246 → 1,362 (× 5,5)	0,169 → 0,529 (× 3,1)
III	2010	30	*	*	52	57	1	1,467 → 3,359 (× 2,3)	0,144 → 0,839 (× 5,8)	0,000 → 0,126 (× ∞)
III	2011	*	*	*	32	33	2	0,864 → 1,967 (× 2,3)	0,051 → 0,246 (× 4,8)	0,064 → 0,844 (× 13,2)

A – Potok Pod Wysoki Dział, B – Potok Kotłowy, C – Potok Kirowy, \* – początek reakcji przed rozpoczęciem roztopów, (× 2,8) – wskaźnik zmiany wydajności  
A – Potok Pod Wysoki Dział, B – Potok Kotłowy, C – Potok Kirowy, \* – beginning of response before thawing start, (× 2,8) – index of discharge change

## WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że na przebieg zasilania roztopowego źródeł pienińskich wpływ ma cały szereg czynników meteorologicznych, geologicznych oraz hydrogeologicznych. Do najważniejszych można zaliczyć: warunki meteorologiczne zimy, stan retencji wód podziemnych w zbiorniku przed nastaniem roz-

topów, występowanie opadów deszczu w czasie roztopów, usytuowanie morfologiczne źródła, głębokość dróg krążenia wód podziemnych drenowanych przez źródło oraz ewentualna złożoność systemów ich zasilania. Wydaje się, że w przypadku źródeł pienińskich ostatnie trzy czynniki mają decydujące znaczenie.

## LITERATURA

- HUMNICKI W., 2006 — Reżim źródeł pienińskich w świetle obserwacji limnimetrycznych. *Pieniny – Przyroda i Człowiek*, **9**: 29–39.
- HUMNICKI W., 2007 — Hydrogeologia Pienin. *Dissertationes*, **476**. Wyd. UW, Warszawa.
- HUMNICKI W., 2012 — Analiza recesji wydatku źródła pod Wysockim Działem (pieniński pas skałkowy) w świetle obserwacji limnimetrycznych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **452**: 79–86.
- LESZKIEWICZ J., RÓŻKOWSKI J., TYC A., 1993 — Reakcja zwierciadła wód podziemnych poziomu górnojurajskiego w południowej części Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej na zasilanie roztopowe. *Kras i Speleologia*, **7**, 16: 43–55.
- MAŁECKA D., HUMNICKI W., 2001 — Stan rozpoznania hydrogeologicznego Pienińskiego Parku Narodowego. *W: X Ogólnopolskie Sympozjum pt. „Współczesne problemy hydrogeologii”* (red. T. Bocheńska, S. Staško). Wrocław, cz 1: 45–54. Wyd. Oficyna Wydawnicza Sudety, Wrocław.
- MAŁECKA D., HUMNICKI W., 2002 — Problemy hydrogeologii i ochrony wód Pienińskiego Parku Narodowego. *Pieniny – Przyroda i Człowiek*, **7**: 49–70.
- TARKA R., 1997 — Zasilanie wód podziemnych w górskich masywach krystalicznych na przykładzie Masywu Śnieżnika w Sudetach. *Prace Geologiczno-Mineralogiczne*, **56**: 1–66. Wyd. UWroc., Wrocław.

## SUMMARY

The studied springs of the Pieniny Mts. are characterised by the thawing-precipitating recharge type. The highest spring discharges are registered in March and April, i.e. during thawing of the snow cover and directly after this period. The paper presents detailed analysis of the reaction of the discharge on water supply caused by thawing. Three springs were monitored, namely: Pod Wysokim Działem, Kotłowego Potoku and Kirowego Potoku (Fig. 1).

Three meteorological types of winter seasons were determined: snow winter (I type), moderately snow winter (II type) and little snow winter (III type) (Tab. 1).

The reaction of spring discharge on the snow cover thawing was characterised by the time  $t_1$  – a period between the maximum intensity of thawing and the start of spring dis-

charge increase, and the time  $t_2$  – a period between the maximum intensity of thawing and the spring discharge culmination. (Tab. 2).

The duration and course of the springs' recharge caused by thawing depends on many interrelated meteorological, geological and hydrogeological factors. The most important are the winter meteorological conditions, groundwater retention conditions in the reservoir directly before the thawing period, overlapping of thawing and rain, morphological position of the spring, the depth of groundwater flow paths drained by the spring, and eventual relationship among recharging systems of particular springs. The last three factors seem to be the most significant in the case of studied springs in the area of the Pieniny National Park.