

## Zmiany wydajności monitorowanych źródeł w Pienińskim Parku Narodowym w latach 2003–2014 (pieniński pas skałkowy)

Włodzimierz Humnicki<sup>1</sup>

Variation of springs discharge in Pieniny National Park in the years 2003–2014 (Pieniny Klippen Belt). *Prz. Geol.*, 63: 750–755.

*Abstract.* The paper presents the 12-years discharge variations of the three springs located within the Pieniny National Park. The background was the observations of the water table variation in the springs and seasonal measurements of the springs discharge, which made the possibility of calculation of the rating curves. Generally, the Pieniny springs are characterized by low discharge. The mean discharge of the springs studied for the period 2003–2014 was as follows: spring of the Potok pod Wysoki Dział –  $1.66 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , spring of the Kotłowy Potok –  $0.26 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , seasonal spring of the Kirowy Potok –  $0.10 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Variations of the springs discharge are different due to the fact that particular spring drain separate, and relatively small groundwater reservoir. First of all, the influence of the many-years variation in the sum of atmospheric precipitation as well as the amount of infiltrating meltwater can be observed. Observations with monthly distribution showed the characteristic shift between maximum discharge of the spring and the sum of atmospheric precipitation (about 1 month shift) as well as the thawing period (1–3 months shift). Presumably, during dry seasons the springs have mainly the thawing regime, in the normal (balanced) seasons – the thawing-precipitation regime is dominant, and during the wet season – the precipitation-thawing regime prevails. In the years 2012 and 2013 the sudden decrease of discharge of the Kotłowy Potok and Kirowy Potok springs have been observed which is in well agreement with the hydrogeological drought identified in Poland.

**Keywords:** spring discharge, Pieniny National Park, Pieniny Klippen Belt

W rozpoznaniu regionalnych warunków hydrogeologicznych istotną rolę odgrywają badania krenologiczne. Dotyczy to w szczególności górskich obszarów chronionych, takich jak Pieniny, gdzie ze względu na ochronę przyrody inne metody badawcze mogą być stosowane w bardzo ograniczonym zakresie. W latach 2002–2003, dzięki środkom finansowym KBN, zainstalowano na obszarze Pienińskiego Parku Narodowego (PPN) elektroniczne limnimetry z ciągłą rejestracją danych na trzech wytypowanych źródłach. Przyrządy te znacznie ułatwiły badania źródeł w trudno dostępnym terenie górskim, bez konieczności bezpośrednich obserwacji i zatrudniania w tym celu obserwatorów. W prezentowanym artykule skoncentrowano się na analizie zmian wydajności badanych źródeł w ciągu 12 lat obserwacji.

### METODY BADAŃ

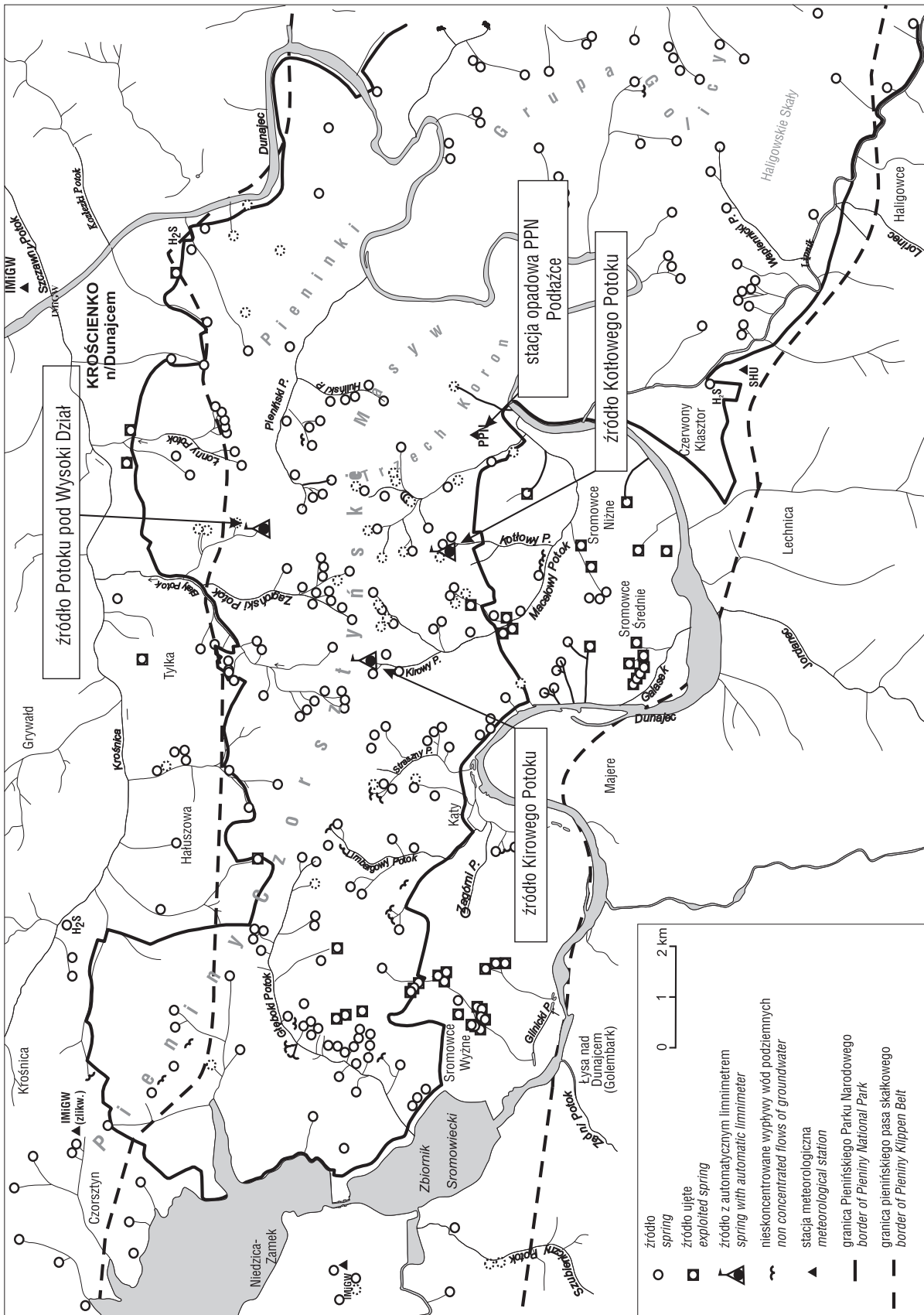
Zainstalowane na źródłach pienińskich limnimetry rejestrują stany zwierciadła wody z dokładnością 1 mm, przy częstotliwości pomiarów co 60 min (Humnicki, 2006). Wartości dobowe powstają z uśrednienia 24 pomiarów godzinowych. Okresowo wykonywane pomiary wydajności źródeł umożliwiły skonstruowanie odpowiednich krzywych konsumpcyjnych i przeliczenie wszystkich rejestrowanych przez limnimetry stanów wód na odpowiadające im wydatki. Uzyskane w ten sposób dwunastoletnie ciągi obserwacyjne zostały przeanalizowane na tle danych meteorologicznych ze stacji PPN na polanie Podłężce w Sromowcach Niżnych (ryc. 1).

### HYDROGEOLOGICZNA CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Pieniński pas skałkowy pod względem budowy geologicznej należy do najbardziej skomplikowanych obszarów w Europie i na świecie. 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” (Birkenmajer, 1979). Mozaikowa budowa geologiczna pasa, przejawiająca się w sąsiedztwie niewielkich powierzchniowo, lecz odmiennych litologicznie utworów, w sposób oczywisty musi wpływać na duże zróżnicowanie i komplikację warunków hydrogeologicznych.

Pieniński pas skałkowy jest obszarem o słabym zaopatrzeniu, nie kwalifikującym się do wyróżnienia poziomów wodonośnych o charakterze użytkowym (Chowaniec & Witek, 1997). 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 do drugiego. Sprzyja

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



Ryc. 1. Lokalizacja punktów badawczych  
Fig. 1. Localization of the research points

temu duże zaangażowanie tektoniczne masywu, gęsta sieć spękań i obecność licznych uskokuw i dyslokacji ułatwiających filtrację i kontaktowanie się wód. Przeważająca część 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 (Humnicki, 2007).

## CHARAKTERYSTYKA MONITOROWANYCH ŹRÓDEŁ

**Źródło Potoku pod Wysoki Dział** jest położone po północnej stronie Pienin Czorsztyńskich i inicjuje prawostronny dopływ Białego Potoku, który jest z kolei dopływem Krośnicy (ryc. 1). Źródło znajduje się 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. Wyływ jest ekranowany zwietrzeliną, w której przeważa rumosz wapienno-fliszowy. Nieco poniżej źródła odsłaniają się twory formacji wapienia pienińskiego należące do jednostki branińskiej. Pod względem rodzaju przewodów hydraulicznych doprowadzających wodę, źródło zostało zaliczone, podobnie jak zdecydowana większość źródeł pienińskich, do szczelinowych (Humnicki, 2007), choć ze względu na fakt, że jest to jedno z najbardziej wydajnych źródeł pienińskich istnieją przesłanki do zaliczenia go do szczelinowo-krasowych. Analiza okresów recesji wydatku tego źródła pozwoliła wysunąć hipotezę o stosunkowo jednorodnym systemie jego zasilania, przy czym zbiornik zasilający jest stosunkowo mały, a wymiana wody wywołana drenażem jest szybka i trwa od 6 do 12 miesięcy (Humnicki, 2012a,b).

**Źródło Kotłowego Potoku**, lewostronnego dopływu Macelowego Potoku, jest położone na wysokości 639 m n.p.m. na bardzo stromym, południowym zboczu najwyższego szczytu Pienin Czorsztyńskich – Nowej Góry, w lokalnej depresji terenu. Odsłaniają się tu przykryte zwietrzeliną paleogeńskie piaskowce i łupki z wkładkami zlepieńców oraz twory formacji wapienia pienińskiego należące do jednostki pienińskiej. Poniżej miejsca wyływu znajduje się strefa współcześnie tworzącej się martwicy wapiennej. W wyniku analizy reakcji wydajności źródła na opady atmosferyczne stwierdzono złożony typ zasilania tego źródła, w którym biorą udział dwa systemy krążenia: głębszy, związany ze strefą dyslokacyjną oraz płytszy, w którym duży udział ma odpływ podpowierzchniowy o charakterze krótkookresowym (Humnicki, 2006). Wnioski o złożonym typie zasilania źródła potwierdza również analiza sposobu jego wysychania: dla płytszego charakterystyczne są znacznie wyższe współczynniki regresji (Humnicki, 2012b).

**Źródło Kirowego Potoku**, jeden z głównych potoków źródłiskowych Macelowego Potoku, jest zlokalizowane na wysokości 769 m n.p.m., w pobliżu głównego grzbietu Pienin Czorsztyńskich, na łagodnie nachylonym południowym zboczu góry Łączana. Z morfologicznego punktu widzenia należy do źródeł podgrzbietowych, a ze względu na charakter ośrodka skalnego – do szczelinowych, ekranowanych zwietrzeliną. Wyływ następuje w strefie występowania paleogeńskich utworów fliszowych i ma charakter wybitnie okresowy. Źródło to wykazuje nie tylko niezwykle szybką reakcję na opady atmosferyczne, ale nawet na najmniejsze

zmiany jego intensywności (Humnicki, 2006), co świadczy o płytkości dróg krążenia wód podziemnych wypływających w źródle oraz o bardzo krótkim czasie ich przebywania w środowisku skalnym. Z faktem tym są związane wartości współczynników regresji, które są wyższe praktycznie o cały rząd wielkości w porównaniu z wcześniej opisanymi źródłami (Humnicki, 2012b)

## WYDAJNOŚĆ ŹRÓDEŁ

Monitorowane źródła różnią się pod względem wydajności oraz trwałości wypływu (tab. 1).

Zdecydowanie najbardziej wydajne jest źródło Potoku pod Wysoki Dział. Średnie miesięczne wydajności  $0,11\text{--}3,58\text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$  (XII 2007 r.) pozwalają zaliczyć to źródło do VI i V klasy Meinzera. Najwyższą chwilową wydajność w okresie obserwacyjnym zanotowano 20.05.2010 r. w godz. 18–23 z wartością  $5,8\text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$ . Było to związane z bardzo wysokimi opadami, przekraczającymi w okresie 16–19 maja wartość 200 mm.

Wartości średnie miesięczne z kolei dla źródła Kotłowego Potoku, wahające się od poniżej  $0,01$  do  $1,24\text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$  (VIII 2014 r.), klasyfikują je głównie do VI, VII i VIII klasy Meinzera, a tylko sporadycznie do klasy V. Najwyższą wydajność, wynoszącą  $2,46\text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$  źródło wykazało 4.06.2010 r. w godz. 11–23 i była to nieco przesunięta w czasie reakcja na wspomniane opady atmosferyczne w połowie maja tego roku.

Źródło Kirowego Potoku jest źródłem okresowym i na podstawie rozkładu średnich miesięcznych wydajności  $0\text{--}0,46\text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$  (XI 2007 r.) można zaliczyć je do VI, VII i VIII klasy Meinzera. Najwyższą wydajność chwilową,  $1,78\text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , zarejestrowano 16.05.2010 r. o godz. 17 w czasie największej intensywności wspomnianych opadów.

## Wartości średnie roczne

Sumaryczny wydatek źródeł w poszczególnych latach hydrologicznych należy rozpatrywać na tle głównych czynników wpływających na ich zasilanie: rocz-

**Tab. 1.** Charakterystyczne wydajności monitorowanych źródeł pienińskich w latach 2003–2014 [ $\text{dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ]

**Table 1.** Characteristic discharge of the Pieniny springs monitored in the years 2003–2014 [ $\text{dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ]

Wydajność Discharge	Źródła Potoku pod Wysoki Dział Potok pod Wysoki Dział spring	Źródła Kotłowe- go Potoku Kotłowy Potok spring	Źródła Kirowego Potoku Kirowy Potok spring
średnia / mean	1,66	0,26	0,10
minimalna / minimum	0,09	0,00	0,00
maksymalna / maximum	średnia miesięczna monthly mean	3,58	1,24
	średnia dobową daily mean	5,53	2,31
	wartość chwilowa (godzinowa) instant value (hourly)	5,80	2,46

nych sum opadów atmosferycznych oraz zasilania roztopowego, w tym przypadku scharakteryzowanego przez średnią grubość pokrywy śnieżnej, każdorazowo obliczonej dla czteromiesięcznego okresu od grudnia do marca (ryc. 2).

W pierwszych dwóch latach obserwacji (2003–2004), które należały do lat suchych (w 2003 r. roczna suma opadów wyniosła zaledwie 648 mm), średnie roczne wydatki źródła Potoku pod Wysoki Dział wynosiły około  $1,0\text{--}1,1\text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , po czym zaobserwowano wyraźny wzrost w latach 2007–2008 do wartości  $2,5\text{--}2,7\text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$ . Wzrost wydatku wydaje się mieć związek nie tylko z wysokimi opadami w 2007 r. (1425 mm), ale przede wszystkim z zasilaniem roztopowym po śnieżnych zimach typu I w latach 2005 i 2006, w których średnia grubość pokrywy przekraczała 20 cm, a najdłuższy nieprzerwany okres jej zalegania wynosił powyżej 60 dni (Humnicki, 2013). Od 2008 r. obserwujemy konsekwentny spadek średniorocznych wydajności źródła. Trzy kolejne zimy były mało śnieżne (typu III); trendu spadku wydajności nie przerwały ani wysokie opady atmosferyczne w 2010 r. (1523 mm), ani śnieżna zima w 2013 r., ani wysokie opady atmosferyczne jakie miały miejsce w 2014 r. (1524 mm). Należy przypuszczać, że dopiero w najbliższych latach nastąpi przełamanie trendu spadkowego i uwidoczni się, wywołany wymienionymi czynnikami, pewien wzrost wydatku źródła.

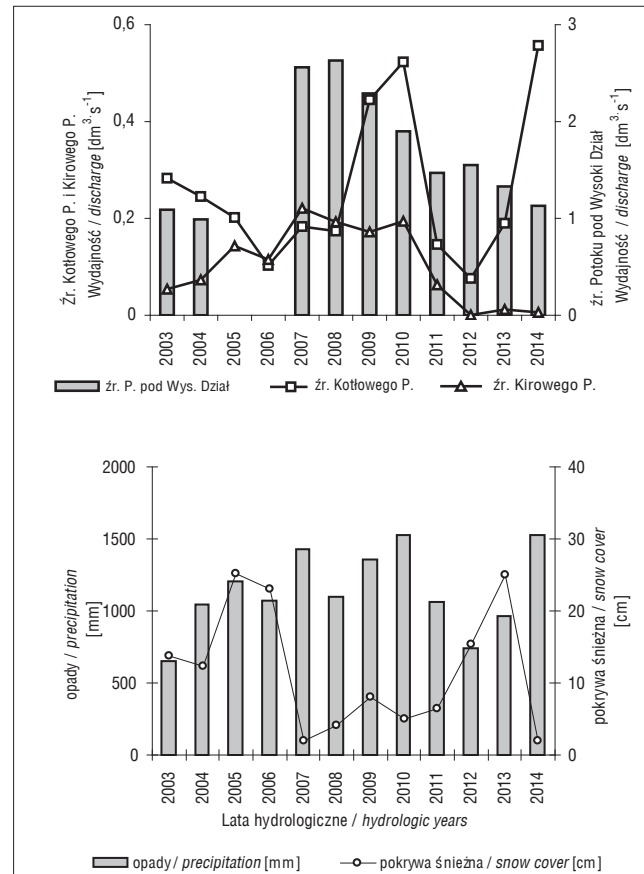
W źródle Kotłowego Potoku w pierwszych latach badań (2003–2006) zaobserwowano wyraźny spadek wydajności ( $0,28\text{--}0,10\text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ), po czym od 2007 do 2010 r. wyraźny jej wzrost (do  $0,52\text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ), a następnie gwałtowny spadek w latach 2011–2013 ( $0,08\text{--}0,19\text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ). Wyraźne i zdecydowane przełamanie trendu spadkowego nastąpiło w 2014 r. (do  $0,56\text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$ ). Jest to zapewne wynik zasilania roztopowego z 2013 r., a także konsekwencja wysokich opadów atmosferycznych wiosną i latem 2014 r.

Średnia roczna wydajność okresowego źródła Kirowego Potoku, we wspomnianym, ubogim w opady atmosferyczne 2003 r., wyniosła  $0,054\text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$  i w kolejnych latach konsekwentnie wzrastała do  $0,221\text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$  w 2007 r. i do  $0,194\text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$  w 2010 r. W tych latach średnie roczne wydatki wyraźnie korelują z rocznymi sumami opadów atmosferycznych. W 2011 r. nastąpiło gwałtowne załamanie wydatku źródła, które pogłębiło się w suchych latach 2012 i 2013 (praktycznie do zera). Dobrą ilustracją tego zagadnienia jest wykres obrazujący funkcjonowanie źródła Kirowego Potoku w całym 12-letnim okresie obserwacyjnym (ryc. 3).

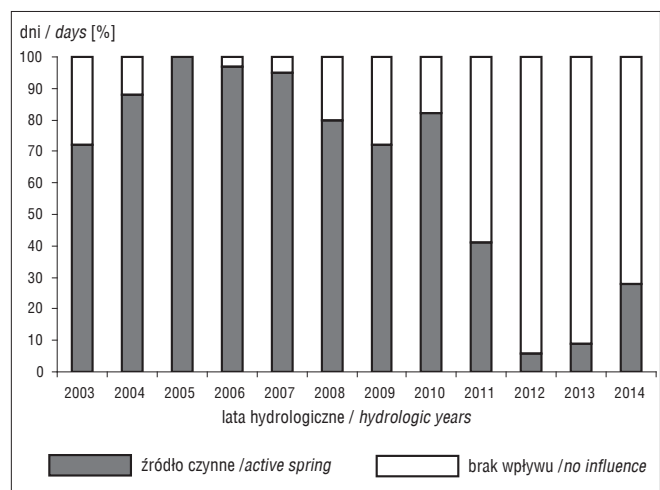
Lata 2012 i 2013 są powszechnie uznawane w Polsce za okres głębokiej suszy hydrologicznej, a niemal całkowity zanik źródła Kirowego Potoku jest tego dobrym odzwierciedleniem. Na tym tle dane z roku 2014 r. dają pewną nadzieję na odwrócenie się niekorzystnej tendencji i stopniowe odbudowywanie się zasobności tego bardzo niewielkiego zbiornika wód podziemnych drenowanego przez źródło Kirowego Potoku.

### Wartości średnie miesięczne

Szczegółowe relacje pomiędzy zasilaniem a średnią miesięczną wydajnością przeanalizowano dla źródeł potoków pod Wysoki Dział oraz Kotłowego dla ośmioletniego okresu lat 2007–2014 (ryc. 4).



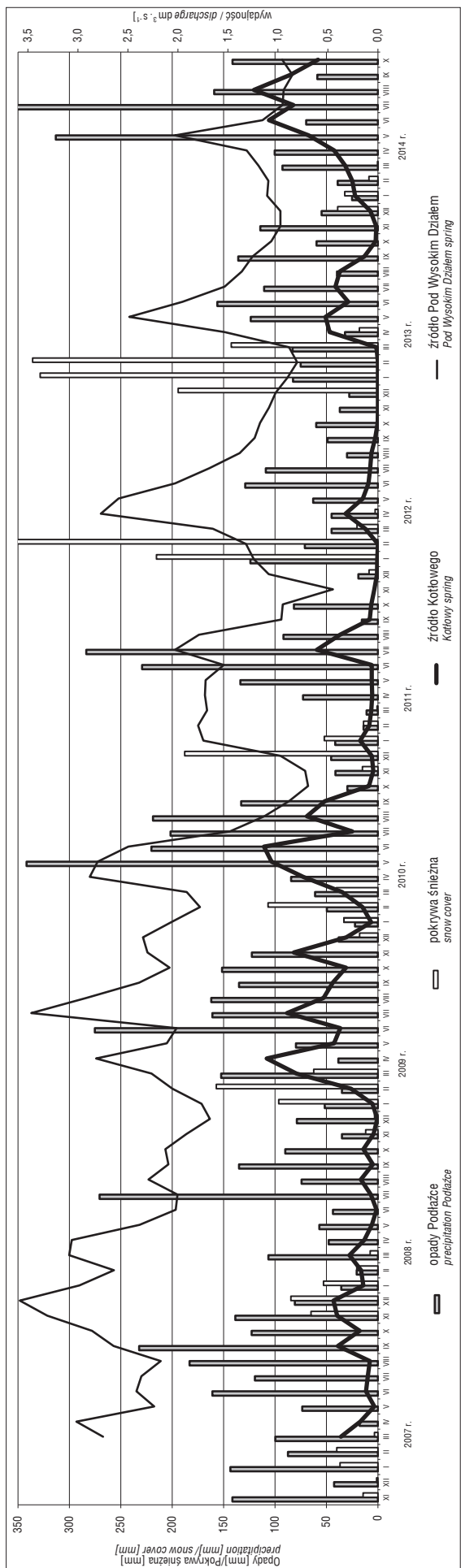
Ryc. 2. Średnie roczne wydajności źródeł na tle rocznych sum opadów atmosferycznych i średniej grubości pokrywy śnieżnej  
Fig. 2. Annual mean spring discharge against annual sum of atmospheric precipitation and mean thickness of the snow cover



Ryc. 3. Funkcjonowanie okresowego źródła Kirowego Potoku w latach 2003–2014  
Fig. 3. Activity of seasonal spring of the Kirovy Potok in the years 2003–2014

Rytmika zmian wydajności obu źródeł w tym okresie była do siebie zbliżona, choć można stwierdzić pewne różnice. Dotyczy to zwłaszcza 2014 r., kiedy to po raz pierwszy od początku obserwacji źródło Kotłowego Poto-





**Ryc. 4.** Miesięczne wydajności [ $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ] źródeł potoków Kotłowego i pod Wysoki Dział w latach 2007–2014 na tle opadów [mm] i grubości pokrywy śnieżnej [mm] ze stacji PPN na polanie Podlaźce w Sromowcach Niżnych  
**Fig. 4.** Monthly discharges of the springs [ $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ] of the Kotłowy Potok and Potok pod Wysoki Dział in the years 2007–2014 against atmospheric precipitation (mm) and snow cover thickness (mm); data from monitoring station of Podlaźce, Sromowce Wielkie, Pieniny National Park

ku wykazało wyższą wydajność od źródła Potoku pod Wysoki Dział. W ujęciu miesięcznym regułą jest wyraźne przesunięcie w czasie maksymalnych wartości wydatków, zarówno w stosunku do największych opadów atmosferycznych (o około 1 miesiąc), jak i do okresu roztopowego (1–3 miesięcy). Wyjątkiem w tym względzie był 2011 r., kiedy to wysokim opadom lipcowym (284 mm) towarzyszyły najwyższe miesięczne wydatki obu źródeł.

Można zauważyć, że w latach 2012 i 2013 w obu źródłach zdecydowanie dominował reżim roztopowy. W pozostałych latach istotne znaczenie dla kształtowania się zasobności zbiorników drenowanych przez oba źródła miały również opady atmosferyczne, a więc wykazywały one reżim roztopowo-opadowy lub nawet, jak w przypadku 2011 r. – reżim opadowo-roztopowy. Dotyczy to także 2014 r., ale jedynie w odniesieniu do źródła Kotłowego Potoku.

**PODSUMOWANIE**

Monitorowane źródła pienińskie drenują niewielkie zbiorniki wód podziemnych, charakteryzujące się wyraźną odrębnością, co powoduje, że zmiany wydajności poszczególnych źródeł są zróżnicowane. Na wydatek źródeł w poszczególnych latach decydujący wpływ ma zasilanie przez opady atmosferyczne oraz zasilanie roztopowe, przy czym nawet już w krótkim, 12-letnim okresie obserwacyjnym można zaobserwować zmiany charakterystyczne dla cyklu wieloletniego. W najbardziej wydajnym źródle Potoku pod Wysoki Dział w okresie pierwszych 5 lat obserwacji odnotowywano wyraźny wzrost wydatków, a od ponad 7 lat obserwujemy trend spadkowy.

W suchych latach 2011–2013, charakteryzujących się niskimi sumami opadów atmosferycznych (szczególnie 2012 r.), zaobserwowano wyraźne załamanie się wydatków w źródłach potoków Kotłowego i Kirowego. W 2014 r. na skutek dużych opadów atmosferycznych trend spadkowy został przełamany w źródle Kotłowego Potoku i w mniejszym stopniu w źródle Kirowego Potoku. W źródle Potoku pod Wysoki Dział nadal mamy do czynienia ze zmniejszaniem się wydajności.

W latach 2012 i 2013 zdecydowanie dominował w źródłach reżim roztopowy, w pozostałych latach reżim roztopowo-opadowy lub opadowo-roztopowy. W ujęciu miesięcznym regułą jest wyraźne przesunięcie w czasie maksymalnych wydatków, zarówno w stosunku do opadów atmosferycznych (ok. 1 miesiąc), jak i do okresu roztopowego (od 1 do 3 miesięcy).

Wydaje się jak najbardziej zasadne kontynuowanie obserwacji badanych źródeł w celu pełnego określenia ich reżimu hydrogeologicznego.

Pragnę wyrazić podziękowanie Dyrekcji Pienińskiego Parku Narodowego i jego Pracownikom za dotychczasową pomoc w prowadzeniu moich badań oraz za udostępnienie danych meteorologicznych ze stacji na polanie Podlaźce w Sromowcach Niżnych.

## LITERATURA

- BIRKENMAJER K. 1979 – Przewodnik geologiczny po pienińskim pasie skałkowym. Wyd. Geol., Warszawa.
- CHOWANIEC J. & WITEK K. 1997 – Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000. Arkusz Szczawnica – Krościenko (1050). Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- 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. Uniwersytetu Warszawskiego.
- HUMNICKI W. 2012a – Analiza recesji wydatku źródła pod Wysokim Działem (Pieniński pas skałkowy) w świetle obserwacji limnimetrycznych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 452: 79–86.
- HUMNICKI W. 2012b – Analiza recesji wydatku źródeł pienińskich w świetle obserwacji limnimetrycznych. *Pieniny – Przyroda i Człowiek*, 12: 13–31.
- HUMNICKI W. 2013 – Reakcja wybranych źródeł pienińskich na zasilanie roztopowe. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 456: 205–210.