

# Identyfikacja okresów suszy hydrogeologicznej na podstawie obserwacji źródeł w Pienińskim Parku Narodowym (pieniński pas skałkowy) – wyniki wstępne

Włodzimierz Humnicki<sup>1</sup>

**The identification of hydrogeological droughts based on observations of springs located in the Pieniny National Park (Pieniny Klippen Belt) – preliminary results.** Prz. Geol., 65: 1264–1269.

*Abstract.* The paper discusses the results of stationary limnometric observations conducted since 2003 for three springs located in Pieniny Czorsztyńskie within the Pieniny National Park. Current knowledge on the hydrogeological regime of the examined springs, and especially their response to precipitation, meltwater supply and type of discharge recession during periods with no water supply indicated that all the springs drained small local groundwater reservoirs characterized by rapid water exchange. One of the springs was of periodic nature. Relatively short (14 years) observational series on spring discharge were used to identify the periods of low flow and hydrogeological drought. In order to achieve this goal, total precipitation and snow cover thickness were analyzed in individual hydrological years. Low flow periods were defined as those when the spring discharge dropped below an average value calculated on the minimum annual spring discharge for the observation period. Identification of the hydrological drought was based on the interpretation of moving average values, which allowed for the elimination of changes in spring discharge due to seasonal fluctuations and random deviations. The basis for the determination of hydrogeological droughts were the deviations of moving average values from the mean value over the entire observation period. The methodology was similar to the ways of determining hydrogeological drought described by other authors in mountainous areas of Poland. Periods of the most severe hydrogeological drought in the Pieniny occurred in the 2003–2004, at the turn of 2005 and 2006, in 2012, and in the 2015–2016. Specific dates of drought occurrence for different springs were variable and depended on the morphological location of the spring and local hydrogeological conditions.

**Keywords:** spring monitoring, hydrogeological drought, Pieniny National Park, Pieniny Klippen Belt

Niezwykle złożona, mozaikowa budowa geologiczna pienińskiego pasa skałkowego wpływa na duże zróżnicowanie warunków hydrogeologicznych. Jest to obszar o stosunkowo słabym zawodnieniu, nie kwalifikującym się do wyróżnienia poziomów wodonośnych o charakterze użytkowym (Chowaniec, Witek, 1997).

Prowadzone od szeregu lat szczegółowe rozpoznanie hydrogeologiczne Pienińskiego Parku Narodowego (PPN) i jego otuliny, wraz z wynikami obserwacji okresowych i stacjonarnych wielu źródeł usytuowanych na obszarze polskiej części pienińskiego pasa skałkowego, umożliwia stosunkowo dobrą charakterystykę reżimu hydrogeologicznego wód podziemnych Pienin (Małecka, 1982; Małecka, Lipniacka, 1990; Małecka, Humnicki, 2002; Humnicki, 2007).

W artykule wykorzystano wyniki własnych, stacjonarnych obserwacji trzech źródeł usytuowanych w Pieninach Czorsztyńskich. Obserwacje stanów wód z automatyczną rejestracją danych dla źródła Potoku pod Wysoki Dział rozpoczęto 5 XII 2001 r., natomiast źródła potoków Kotłowego i Kirowego objęto obserwacjami 28 I 2003 r. (ryc. 1).

W literaturze przedstawiono wiele sposobów interpretacji niżówek oraz okresów suszy hydrogeologicznej, m.in. Kazimierski (2007); Staśko i in. (2008); Tarka, Staśko (2010), Gurwin (2015), Kowalczyk (2016). Wszyscy autorzy podkreślają, że określenie i zdefiniowanie pojęcia suszy hydrogeologicznej jest znacznie trudniejsze niż suszy atmosferycznej, glebowej czy hydrologicznej. Nie można bowiem utożsamiać sporadycznego i krótkotrwałego obniżenia wydajności źródła poniżej przyjętej wartości granicznej, a na-

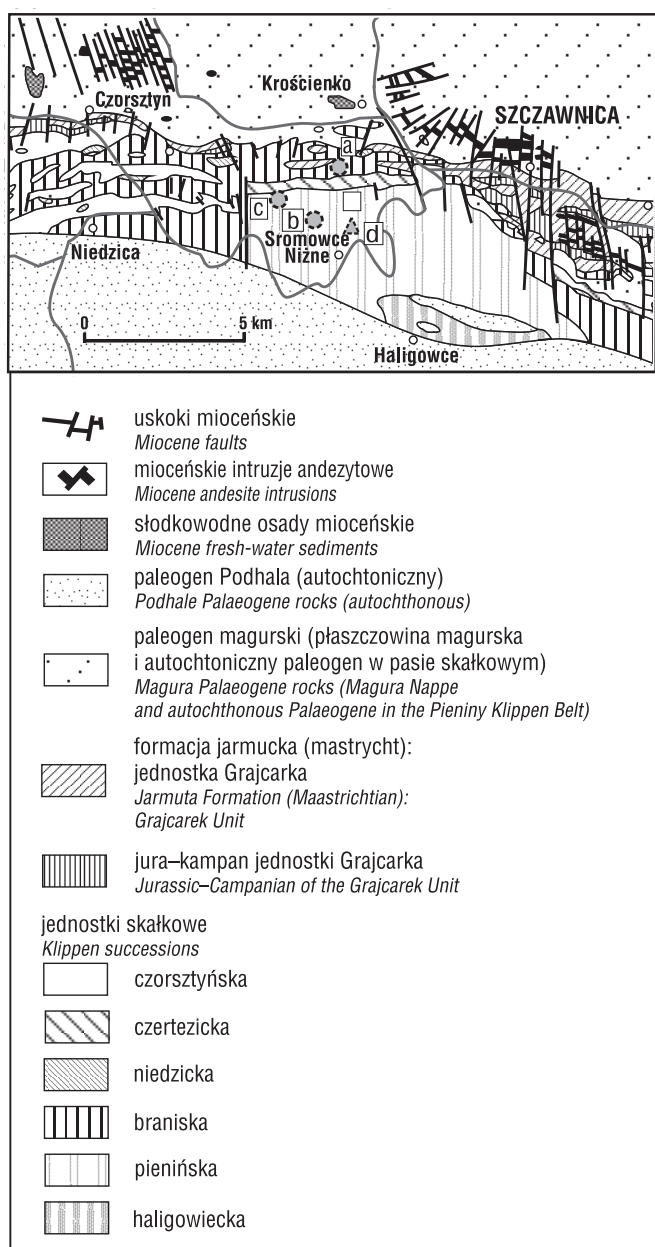
wet całkowitego zaniku wypływu źródła z okresem suszy hydrogeologicznej. O ile susza atmosferyczna i glebowa często jest łagodzona już stosunkowo niewielkimi opadami, o tyle susza hydrogeologiczna jest zjawiskiem bardziej długotrwałym i potrzeba znacznie dłuższego okresu czasu i większych opadów atmosferycznych do odnowienia się zasobów wód podziemnych.

Przedstawione poniżej wstępne wyniki identyfikacji okresów suszy hydrogeologicznej w Pieninach mają istotne znaczenie nie tylko w aspekcie rozpoznania regionalnych warunków hydrogeologicznych, ale przede wszystkim ochrony zasobów wodnych tego wyjątkowego obszaru – cennego przyrodniczo i prawnie chronionego, ale uboższego w wody podziemne. W ostatnich latach Pieniński Park Narodowy poddany jest silnej antropopresji, przejawiającej się w rozbudowie na jego obrzeżach osiedli i w konsekwencji rosnącej liczbie ujmowanych w sposób niekontrolowany źródeł, nie tylko na obszarze otuliny Parku, ale nawet w obrębie jego granic. Okresy suszy hydrogeologicznej mogą te niekorzystne zjawiska nasilać.

## METODY BADAŃ

Mechanizm pomiarowy w przyrządach, zwanych przez producenta limnimetrami, stanowi sonda pojemnościowa, której zasada działania oparta jest na zmianie pojemności kondensatora koncentrycznego przy zmianie poziomu wody. Wykonywane okresowo pomiary wydajności źródeł umożliwiły skonstruowanie odpowiednich krzywych konsumpcyjnych i bieżące przeliczanie uzyskiwanych z obserwacji sta-

<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 w Pieninach: a – źródło Potoku pod Wysoki Dział; b – źródło Kotłowego Potoku; c – źródło Kirowego Potoku; d – Stacja Meteorologiczna PPN Podłaże; geologia za Birkenmajer, Gedl, 2007

**Fig. 1.** Location of the research points in Pieniny Mts.: a – spring of the Potok pod Wysoki Dział; b – spring of the Kotłowy Potok; c – spring of the Kirowy Potok; d – Meteorological station PPN Podłaże; geology after Birkenmajer, Gedl, 2007

nów wód w źródłach na odpowiadające im wydatki oraz ich dalszą systematyczną interpretację (Humnicki, 2006; 2012; 2013; 2015).

W celu identyfikacji okresów niżówek i suszy hydrogeologicznej na obszarze Pienin przeanalizowano w poszczególnych latach hydrologicznych sumy opadów atmosferycznych oraz grubość pokrywy śnieżnej ze stacji PPN na polanie Podłaże w Sromowcach Niżnych. W nawiązaniu do autorów zajmujących się w znacznie szerszym zakresie i w skali regionalnej problematyką definiowania i wyznaczania okresów suszy hydrogeologicznej (m.in. Tarka, Staśko, 2010), w prezentowanym artykule terminem ni-

żówki hydrogeologicznej określono okresy, w których wydajność źródeł spadała poniżej SNQ, obliczanego jako średnia z minimalnych rocznych wydatków źródła z dotychczasowego okresu obserwacji. Z kolei w procesie identyfikacji okresów suszy hydrogeologicznej wykorzystano interpretację wartości średnich ruchomych, co umożliwiło wyeliminowanie zmian wydatku źródeł wynikających z wahań sezonowych oraz odchyłań przypadkowych. Obliczane średnie ruchome obejmowały pomiary z półrocza poprzedzającego oraz następującego po dniu, dla którego prowadzono analizę. Podstawą wyznaczenia okresów suszy hydrogeologicznej były odchylenia wartości średnich ruchomych od wartości średniej z całego okresu obserwacji. Odchylenia te podzielono przez wartość odchylenia standardowego i wyrażono w procentach.

### CHARAKTERYSTYKA OBSERWOWANYCH ŹRÓDEŁ

Położone po północnej stronie Pienin Czorsztyńskich Źródło Potoku pod Wysoki Dział jest źródłem zboczym wpływającym w strefie występowania utworów formacji wapienia pienińskiego należących do jednostki braniskiej (ryc. 1). Od 2008 r. obserwowano dość konsekwentny spadek średniorocznych wydajności tego źródła (ryc. 2).

Źródło Kotłowego Potoku wypływa na stromym południowym zboczu Nowej Góry, gdzie odsłaniają się przykryte zwietrzeliną paleogeńskie piaskowce i łupki z wkładkami zlepieńców oraz utwory formacji wapienia pienińskiego należące do jednostki pienińskiej. W latach 2014–2016 zaobserwowano wyraźną tendencję spadku średnich rocznych wydatków źródła.

Wybitnie okresowe Źródło Kirowego Potoku wypływa nieco poniżej głównego grzbietu Pienin w strefie występowania paleogeńskich utworów fliszowych. Źródło to wykazuje niezwykle szybką reakcję na opady atmosferyczne i najmniejsze zmiany ich intensywności (Humnicki, 2006).

Szczegółowy opis źródeł i charakterystykę ich reżimu znaleźć można we wcześniejszych publikacjach z lat 2006–2015. Szczególnie wiele cennych informacji dostarczyła analiza kilkudziesięciu okresów recesji wydatku badanych źródeł (Humnicki, 2012). Interpretacja współczynników regresji umożliwiła m.in. obliczenie potencjałów zasobności, które utożsamia się z objętością wód podziemnych zgromadzonych w zbiornikach wód podziemnych drenowanym przez źródła w chwili rozpoczynania się recesji ich wydatku. Najwyższe potencjały zasobności (do 44 tys. m<sup>3</sup>) wyznaczono dla źródła Potoku pod Wysoki Dział, nieco niższe dla źródła Kotłowego Potoku (do 4,6 tys. m<sup>3</sup>), a najniższe, nie przekraczające 0,8 tys. m<sup>3</sup>, dla źródła Kirowego Potoku.

### WYNIKI BADAŃ

Zgodnie z metodyką zaproponowaną przez Tarkę i Staśkę (2010) za suszę hydrogeologiczną próbowano przyjąć okresy, kiedy ujemne odchylenia wartości średniej ruchomej od średniej z całego okresu obserwacji były większe niż 25%. W badanych źródłach pienińskich mechaniczne przyjęcie odchylenia 25% nie zawsze jednak koresponduje z okresami

wydajności poniżej SNQ. W niektórych przypadkach nawet przyjęcie zalecanego we wcześniejszym opracowaniu (Staško i in., 2008) znacznie węższego przedziału, w którym ujemne odchylenia są większe niż 50% również nie wystarcza. W źródle Potoku pod Wysoki Dział okresy ujemnych odchyłań dopiero powyżej 75% odchylenia standardowego w miarę dobrze korelują z okresami wydatku poniżej SNQ (tab. 1, ryc. 3–5).

Okresy suszy hydrogeologicznej w Pieninach, wyinterpretowane zgodnie z przedstawioną metodyką, to lata 2003–2004, przełom lat 2005/2006, niemal cały 2012 r. oraz lata 2015–2016. We wszystkich wymienionych przypadkach susza trwała co najmniej 5 miesięcy, a w 2012 r. nawet 11 miesięcy.

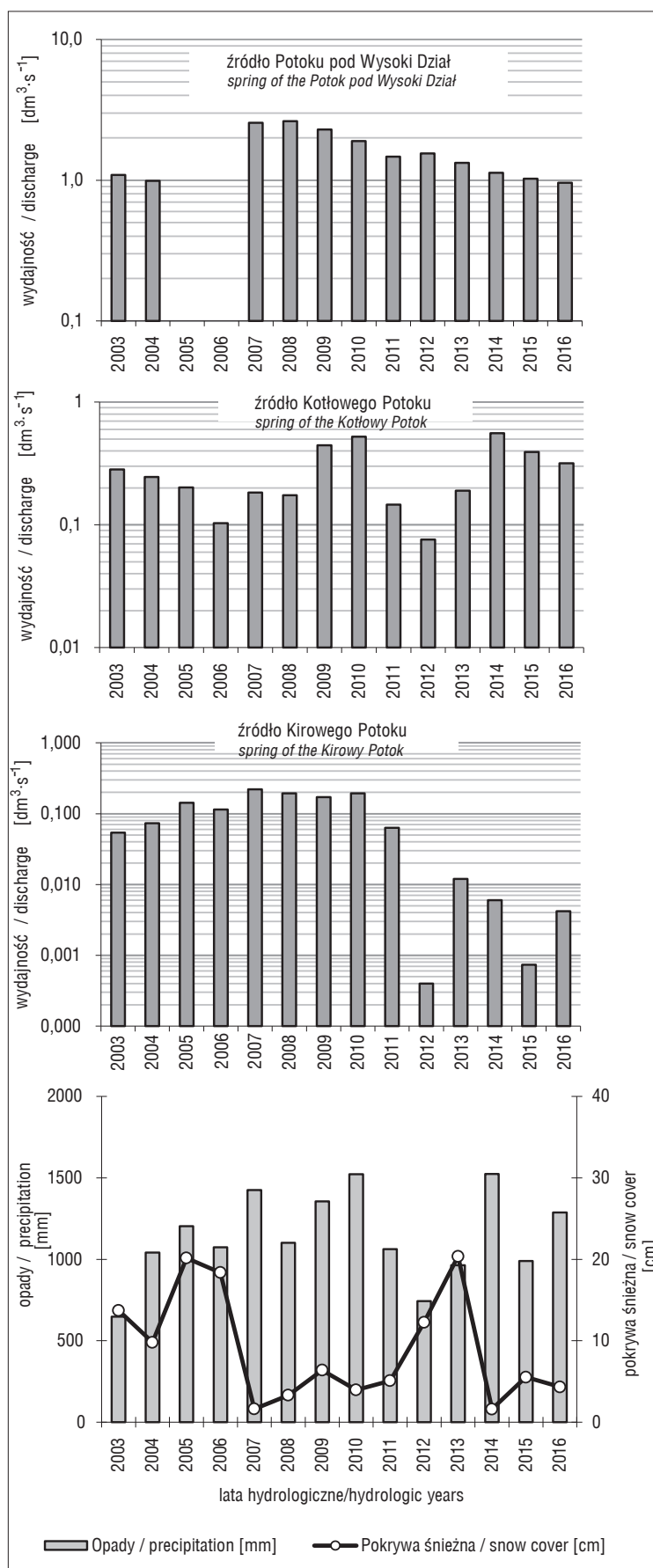
## DYSKUSJA WYNIKÓW

Jak można łatwo zauważyć, wyinterpretowane okresy suszy hydrogeologicznej dla poszczególnych źródeł pienińskich nie pokrywają się lub pokrywają się jedynie w stopniu stosunkowo niewielkim. Niewątpliwie istotnymi czynnikami warunkującymi wystąpienie okresu suszy hydrogeologicznej, poza słabą intensywnością zasilania opadowego i roztopowego, są lokalne uwarunkowania przyrodnicze takie jak: morfologia terenu, z którą wiąże się wielkość i usytuowanie obszaru zasilania źródła, głębokość krążenia wód podziemnych, wielkość zbiornika alimentacyjnego oraz prędkość jego opróżniania.

W źródle Potoku pod Wysoki Dział o zdecydowanym reżimie roztopowym, na trwającą od 2015 r. suszę hydrogeologiczną nakłada się stała tendencja obniżania się rocznych wydatków. W 2016 r. zanotowano w okresie obserwacyjnym najniższy średni roczny wydatek (pomijając lata 2005–2006, w których brak danych z powodu awarii przyrządu). Wydaje się, że przełamanie tej niekorzystnej tendencji może nastąpić dopiero po kilku kolejnych śnieżnych zimach i stopniowej odbudowie zasobów wód w wyniku zasilania roztopowego.

W przypadku źródła Kotłowego Potoku znaczną rolę, poza zasilaniem z topniejącej pokrywy śnieżnej, odgrywa infiltracja opadów atmosferycznych, co powoduje, że proces odbudowywania zasobów wód podziemnych jest nieco szybszy. Śnieżna zima w 2013 r. i duże opady w 2014 r. (>1500 mm) spowodowały stosunkowo szybką odbudowę zasobów wód podziemnych zbiornika zasilającego źródło, ale okazała się ona nietrwała, gdyż obserwuje się ponownie tendencję obniżania się wydatku tego źródła.

Najwięcej wątpliwości, ale także i niepokoju budzi interpretacja dla źródła Kirowego Potoku.



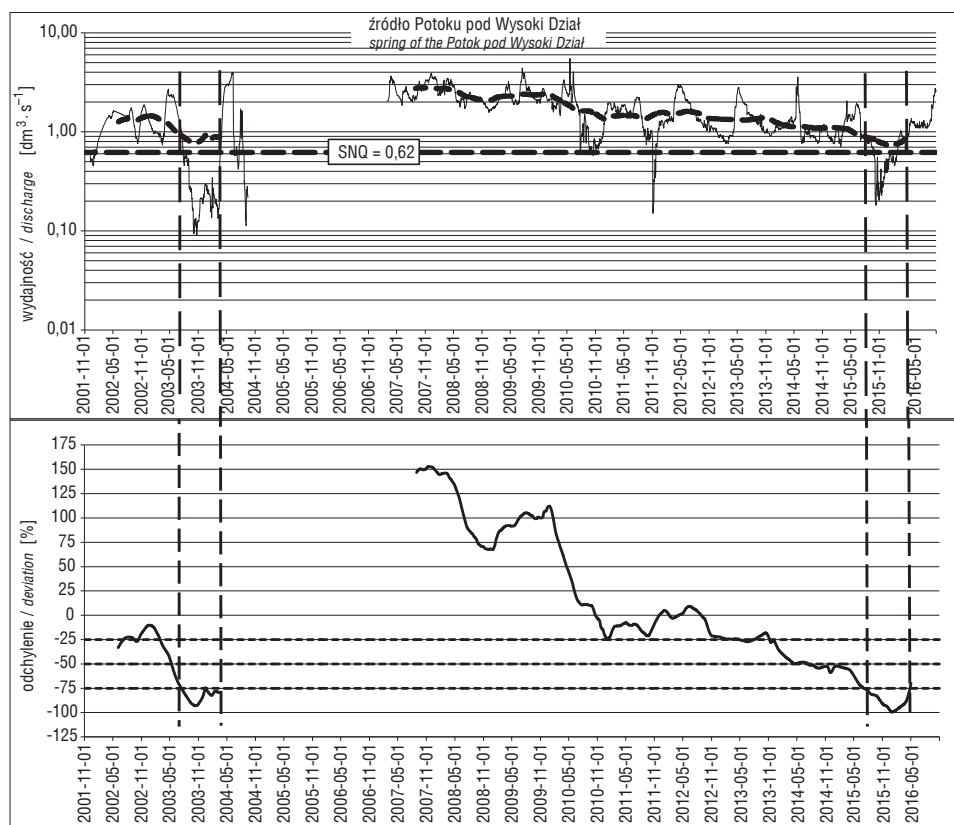
Ryc. 2. Średnie roczne wydajności źródeł na tle rocznych sum opadów atmosferycznych i średniej grubości pokrywy śnieżnej

Fig. 2. Mean annual spring discharge plotted against total annual precipitation and mean thickness of the snow cover

Tab. 1. Występowanie niżówek oraz okresów suszy hydrogeologicznej (&gt;30 dni)

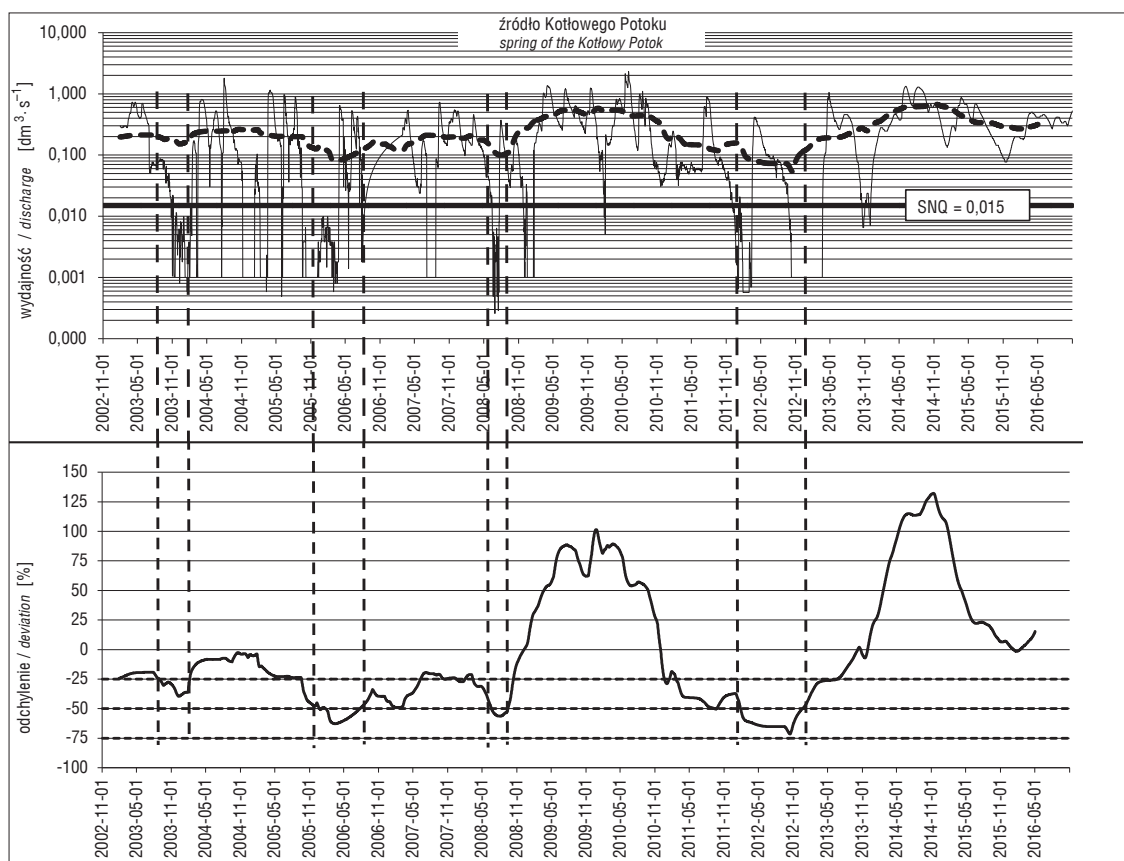
Table 1. Occurrence of low flow and hydrogeological drought periods (&gt;30 days)

Lp.	Niżówki (Q < SNQ) Low flow		Susze hydrogeologiczne Hydrogeological drought					
	Daty Dates	Dni Days	>25% odchylenia > 25% deviation		>50% odchylenia >50% deviation		>75% odchylenia >75% deviation	
			Daty Dates	Dni Days	Daty Dates	Dni Days	Daty Dates	Dni Days
Źródło Potoku pod Wysoki Dział / Spring of the Potok pod Wysoki Dział								
1.	5 XII 2001–9 I 2002	36	–	–	–	–	–	?
2.	–	–	5 VI–7 VII 2002	33	–	–	–	–
3.	28 VII 2003–21 III 2004	238	28 II 2003–18 III 2004	385	13 V 2003–18 III 2004	311	15 VII 2003–18 III 2004	248
4.	21 VI–21 VII 2004	31	–	–	–	–	–	–
5.	–	–	25 IV–5 VIII 2013	103	–	–	–	–
6.	23 IX 2015–23 II 2016	155	7 XI 2013–2 V 2016	908	13 VII 2014–2 V 2016	660	5 VII 2015–25 IV 2016	296
Źródło Kotłowego Potoku / Spring of the Kotłowy Potok								
1.	26 X 2003–11 II 2004	109	30 VIII 2003–25 II 2004	160	–	–	–	–
2.	6 XI 2004–7 I 2005	63	–	–	–	–	–	–
3.	5 II–17 III 2005	41	–	–	–	–	–	–
4.	17 IX 2005–27 III 2006	193	20 IX 2005–0 VI 2007	629	25 XII 2005–24 VII 2006	212	–	–
5.	6 VII–22 VIII 2007	48	–	–	–	–	–	–
6.	–	–	18 XII 2007–31 I 2008	45	–	–	–	–
7.	15 VI–22 VII 2008	38	14 III–13 X 2008	214	20 VI–13 IX 2008	86	–	–
8.	25 XI 2008–21 I 2009	58	–	–	–	–	–	–
9.	5 XII 2011–16 III 2012	103	21 II 2011–16 IX 2013	850	27 I–20 XII 2012	329	–	–
	26 IX 2012–23 III 2013	179					–	–
10.	17 X–1 XII 2013	46	–	–	–	–	–	–
Źródło Kirowego Potoku / Spring of the Kirowy Potok								
1.	24 VI 2002–1 II 2003 częstotliwość Q = 0	223	30 VII 2002–28 I 2003	183	–	–	–	–
2.	od 2011 bardzo często Q = 0	–	od 27 VI 2010– ?	?	od 20 I 2011– ?	?	–	–

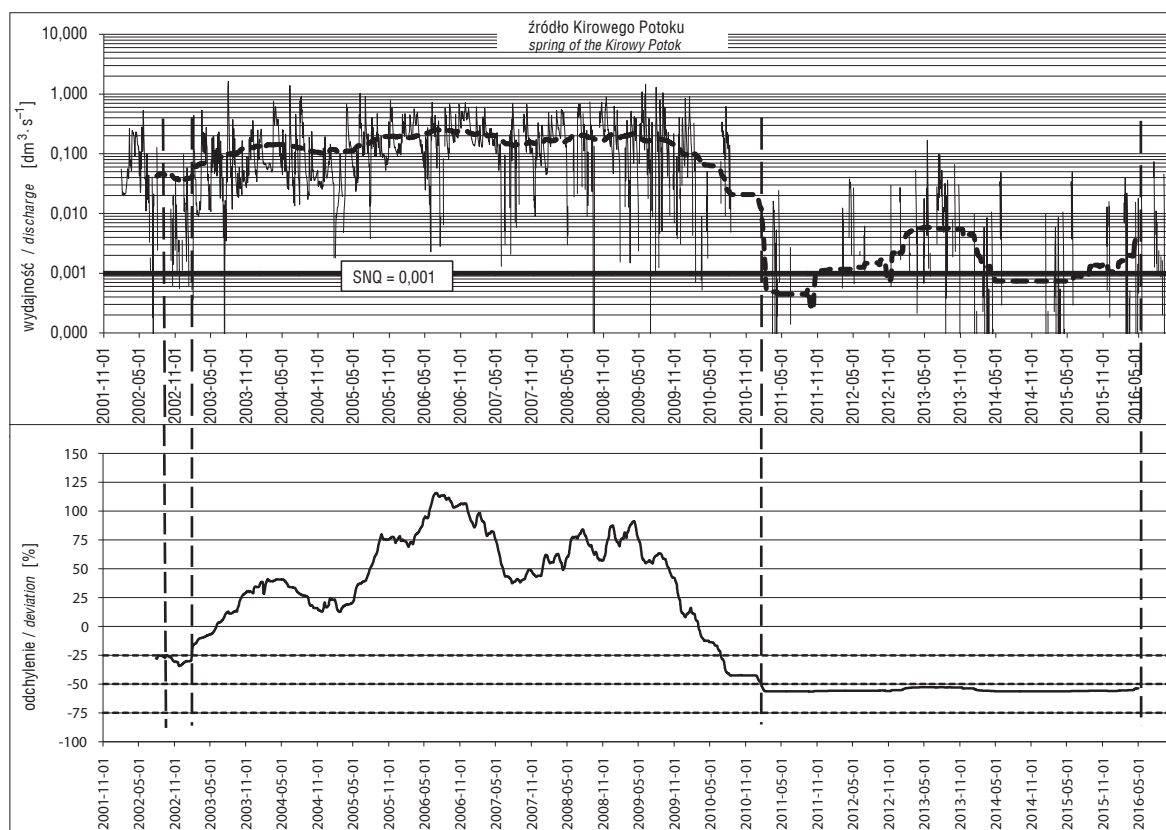


Ryc. 3. Zmiany wydajności źródła i odchylenia od wartości średniej – dla źródła Potoku pod Wysoki Dział

Fig. 3. Variation of spring discharge and deviation from average value – for the spring of the Potok pod Wysoki Dział



Ryc. 4. Zmiany wydajności źródła i odchylenia od wartości średniej – dla źródła Kotłowego Potoku  
Fig. 4. Variation of spring discharge and deviation from average value – for the spring of the Kotłowy Potok



Ryc. 5. Zmiany wydajności źródła i odchylenia od wartości średniej – dla źródła Kirowego Potoku  
Fig. 5. Variation of spring discharge and deviation from average value – for the spring of the Kirowy Potok

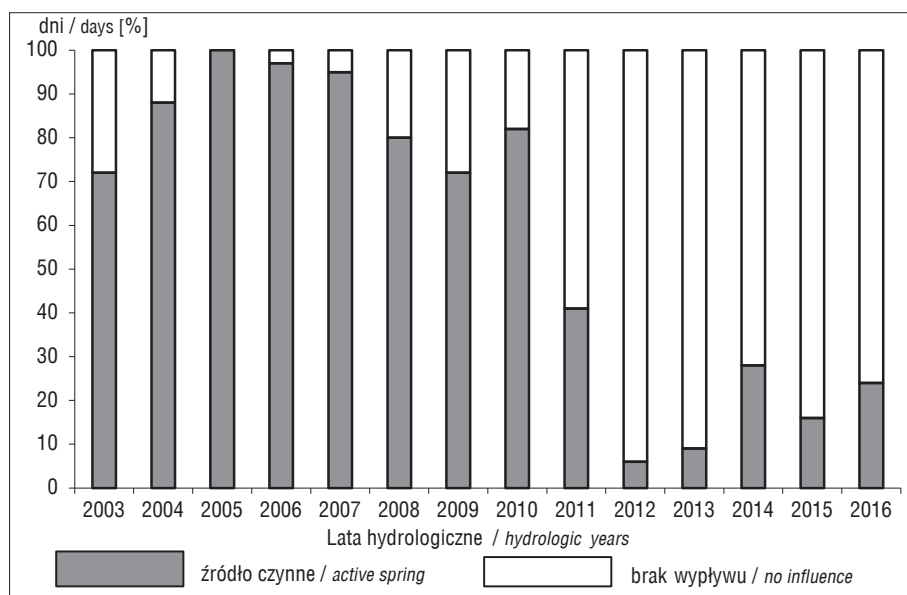
Od 2011 r. zaobserwowano radykalne obniżenie się stanów wód podziemnych i drastycznie zwiększoną częstotliwość zaników wypływu tego źródła. Wysokie opady w 2014 r. dawały pewną nadzieję na odwrócenie się tej niekorzystnej tendencji (Humnicki, 2015). W chwili obecnej należy jednak stwierdzić, że nie została ona do końca przełamana (ryc. 6). Wydaje się, że proces zasilania tego źródła jest związany z zasilaniem roztopowym w stopniu większym, niż można było tego oczekiwać.

### PODSUMOWANIE

Charakter zmian wydajności monitorowanych źródeł Potoku pod Wysoki Dział oraz potoków Kotłowego i Kirowego jest mocno zróżnicowany, co wynika z faktu, że drenują one zbiorniki wód podziemnych charakteryzujące się wyraźną odrębnością. Można zauważyć wyraźny wpływ wieloletniego cyklu wahań, związanego z wysokimi lub niskimi opadami atmosferycznymi oraz mniej lub bardziej intensywnym zasilaniem roztopowym. Również wyinterpretowane daty występowania suszy w poszczególnych źródłach są zróżnicowane, zależą od morfologicznego usytuowania źródła oraz lokalnych uwarunkowań hydrogeologicznych.

Identyfikacja okresu suszy hydrogeologicznej jest czynnością trudną i z reguły niejednoznaczną, zwłaszcza w przypadku dysponowania niezbyt długimi ciągami obserwacyjnymi. Zaprezentowane wyniki mają więc, z obiektywnych przyczyn, charakter wstępny i przyczynkowy, w przyszłości mogą jednak stanowić cenne uzupełnienie informacji z niezbyt gęstej, krajowej sieci obserwacyjno-badawczej wód podziemnych. Warto również zwrócić uwagę na fakt, że ostateczna i pełna interpretacja okresu suszy hydrogeologicznej może nastąpić w zasadzie dopiero po jej zakończeniu, a nawet z pewnej perspektywy czasowej. Z tego powodu wyznaczone okresy suszy hydrogeologicznej w Pieninach, w miarę upływu czasu, wydłużania ciągów obserwacyjnych i weryfikacji, najprawdopodobniej będą podlegać mniejszej lub większej korekcie.

Składam serdeczne wyrazy podziękowania Recenzentowi – Panu Prof. dr. hab. Stanisławowi Stańce za cenne uwagi krytyczne i wskazówki przy przygotowaniu ostatecznej wersji artykułu. Pragnę wyrazić podziękowanie także Dyrekcji Pienińskiego Parku Narodowego i jego Pracownikom za wieloletnią pomoc w prowadzeniu moich badań oraz za sukcesywne udostępnianie danych meteorologicznych. Elektroniczne limnimetry z ciągłą rejestracją danych zakupiono w latach 2001–2003 ze środków finansowych KBN (grant 5T12B 001 23).



Ryc. 6. Funkcjonowanie okresowego źródła Kirowego Potoku w latach 2003–2016  
Fig. 6. Activity of the seasonal spring of the Kirowy Potok in the 2003–2016

### LITERATURA

- BIRKENMAJER K., GEDL P. 2007 – Age of some deep-water marine Jurassic strata at Mt Hulina, Małe Pieniny Range (Grajcarek Unit, Pieniny Klippen Belt, West Carpathians, Poland), as based on dinocysts. *Stud. Geol. Pol.*, 127: 51–70.
- CHOWANIEC J., WITEK K. 1997 – Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000. *Arkusze Szczawnica – Krościenko (1050)*. PIG, Warszawa.
- GURWIN J. 2015 – Możliwości identyfikacji suszy hydrogeologicznej na podstawie monitoringu i modelowania GIS na przykładzie regionu Dolnej Odry i Przymorza Zachodniego. *Prz. Geol.*, 63 (10/1): 738–742.
- HUMNICKI W. 2006 – Reżim źródeł pienińskich w świetle obserwacji limnimetrycznych. *Pieniny – Przyroda i Człowiek*, 9: 29–39.
- HUMNICKI W. 2007 – Hydrogeologia Pienin. *Disertationes WUW*, 476.
- HUMNICKI W. 2012 – 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.
- HUMNICKI W. 2015 – Zmiany wydajności monitorowanych źródeł w Pienińskim Parku Narodowym w latach 2003–2014 (pieniński pas skałkowy). *Prz. Geol.*, 63 (10/1): 750–755.
- KAZIMIERSKI B. (red.), 2007 – *Kwartalny Biuletyn Informacyjny Państwowej Służby Hydrogeologicznej*. PIG, Warszawa
- KOWALCZYK A. 2016 – Niżówka hydrogeologiczna – przyczyny i skutki. *Technol. Wody*, 5: 4–10.
- MAŁECKA D. 1982 – Mapa hydrogeologiczna Podhala i obszarów przyległych w skali 1 : 100 000. *Wydaw. Geol.*, Warszawa
- MAŁECKA D., LIPNIACKA T. 1990 – Sieć hydrogeologicznych obserwacji stacjonarnych na Podhalu – założenia i wstępna interpretacja wyników. *Prz. Geol.*, 11: 484–491.
- MAŁECKA D., HUMNICKI W. 2002 – Problemy hydrogeologii i ochrony wód Pienińskiego Parku Narodowego. *Pieniny – Przyroda i Człowiek*, 7: 49–70.
- STAŚKO S., OLICHWER T., TARKA R. 2008 – Susza hydrogeologiczna w Sudetach. [W:] *Zarządzanie zasobami wodnymi w dorzeczu Odry*. RZGW Wrocław: 37–46.
- TARKA R., STAŚKO S. 2010 – Wahania zwierciadła wód podziemnych jako odzwierciedlenie ekstremalnych sytuacji pogodowych. [W:] *Migoń P. (red.), Wyjątkowe zdarzenia przyrodnicze na Dolnym Śląsku i ich skutki*. *Rozpr. Nauk. IGIR UWr.*, 14: 241–255.