

Badania izotopowe źródeł pienińskich

Isotopic study of the Pieniny Mts. springs

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. Stable isotopes of oxygen and hydrogen as well as tritium content were measured in waters of three springs of the Pieniny Mts. The content of ^{18}O and ^2H in these waters revealed their meteoric origin connected with modern hydrological cycle. High ^3H contents (from 10.7 to 13.6 TU) corroborate this fact and indicate strong relationship between the groundwater bodies discharged by the springs and the waters of intensive, modern infiltration recharge. The residence time of water within the rock environment was calculated for each spring by applying a simple piston flow model. The obtained values vary from 1 month for the Stuletnie Spring to 4.5 years for the Kotłowy Potok Spring. The results showed that the waters of all springs are extremely sensitive to anthropopression.

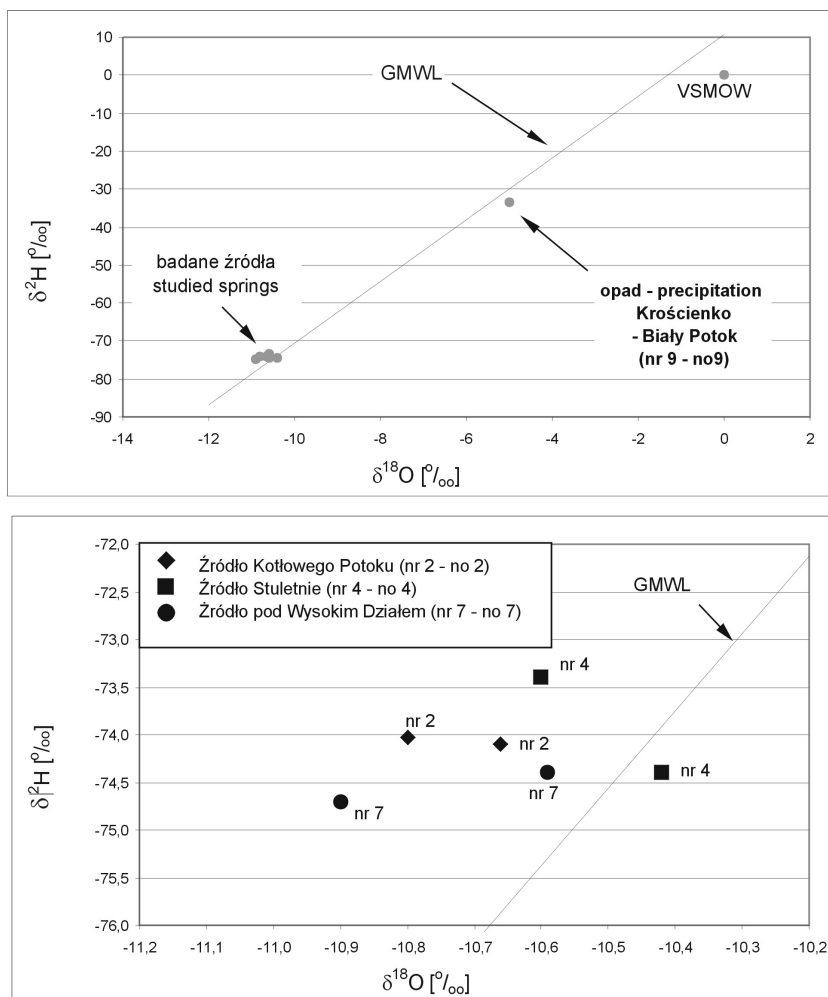
WSTĘP

Mimo liczącej już ponad pół wieku historii badań składu izotopowego wód podziemnych i ich składników, metody te wciąż nie są stosowane w Polsce na taką skalę jaką zasługują. Wynika to nie tylko ze zbyt małej liczby krajowych laboratoriów izotopowych, ale przede wszystkim z wysokich kosztów oznaczeń. Wychodząc naprzeciw potrzebom i oczekiwaniom środowiska hydrogeologów (Dowgiałło, Nowicki 1999) zdecydowano się w ramach projektu badawczego KBN nr 5 T 12B 001 23 wykonać oznaczenia izotopowe w wodach podziemnych Pienińskiego Parku Narodowego (PPN).

Przy wyborze źródeł (ze względu na koszt badań ograniczono ich liczbę do trzech), kierowano się przesłankami wypływającymi z obserwacji reżimu hydrogeologicznego. Rozpatrywano możliwość wykonania badań we wszystkich źródłach objętych monitoringiem (patrz: Wł. Humnicki, Reżim

źródeł pienińskich w świetle obserwacji limnometrycznych, ss. 29–39, Ryc. 1). Ostatecznie zdecydowano się wybrać dwa z nich: te, w których mogą wypływać wody nieco głębszego krążenia (źródło Kotłowego Potoku nr 2 i źródło pod Wysokim Działem nr 7), a odrzucono źródła o zdecydowanie płytkim zasilaniu (źródło Kirowego Potoku nr 1 i źródło kontrolne Balarówka nr 8).

Postanowiono natomiast wykonać oznaczenia w najbardziej wydajnym i chyba najciekawszym źródle Pienińskiego Parku Narodowego, jakim jest położone na słowackim brzegu Dunajca Źródło Stuletnie (nr 4). Wpływ źródła usytuowany się niemal równo z lustrem wody Dunajca i w czasie wysokich stanów w końcu lipca 2004 r. był przez kilka dni całkowicie zalany ponad metrową warstwą wody powodziowej. Wykonane w źródle po trzech tygodniach badania wskaźników bakteriologicznych, potwierdziły całkowitą przydatność wody do celów pitnych. Decydujące znaczenie miała



Ryc. 1. Zależność pomiędzy wartościami $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ w źródłach pienińskich i wodzie opadowej z Krościenka. Dla orientacji naniesiono Globalną Linie Wód Opadowych (GMWL) oraz Wiedeński Wzorzec Izotopowy Wody Oceanicznej (VSMOW). Relationship between $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ in spring waters from the Pieniny Mts. and rain water from Krościenko. Global Meteoric Water Line (GMWL) and Vienna Standard Mean Oceanic Water (VSMOW) are plotted for reference.

tu intensywność wypływu, która uniemożliwiła wniknięcie zanieczyszczonej bakteriologicznie wody Dunajca do systemu zasilającego źródło. Jednocześnie świadczy to o braku bezpośredniego zasilania źródła wodami Dunajca.

WYNIKI BADAŃ

Wyniki badań izotopowych w zakresie izotopów trwałych tlenu ^{18}O i wodoru ^2H oraz oznaczenia trytowe prezentuje tabela I.

Izotopy ^{18}O i ^2H

Skład izotopowy wody ^{18}O i ^2H wskazuje, iż są to wody pochodzenia meteorycznego, należące do współczesnego cyklu hydrologicznego. Potwierdzają to ujemne wartości $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$, wskazujące na istotne zubożenie wód podziemnych w cięższe izotopy tlenu i wodoru w stosunku do wody oceanicznej (VSMOW) oraz położenie punktów w pobliżu Globalnej Linii Wód Opadowych (Ryc. 1).

W wyniku zjawiska frakcjonowania izotopowego następuje wzbogacanie pary wodnej (tej

Tabela I. Wyniki oznaczeń izotopowych.
Results of isotopic determination.

Numer punktu Sample number	Miejsce pobrania Place of sampling	Rzędna punktu [m n.p.m.] Height ordinate [m a.s.l.]	Data pobrania Date of sampling	$\delta^{18}\text{O}$ vs VSMOW	$\delta^2\text{H}$ vs VSMOW	Tryt Tritium (^3H) [T.U.]
2	Źródło Kotłowego Potoku	639	14.06.2003	-10,66	-74,1	11,3 ± 0,6
			22.08.2004	-10,8±0,1	-74,0±1	10.72±0,47
4	Źródło Stuletnie`	430	11.06.2003	-10,42	-74,4	13,3 ± 0,7
			24.08.2004	-10,6±0,1	-73,4±1	13,56±0,28
7	Źródło pod Wysokim Działem	664	13.06.2003	-10,59	-74,4	13,6 ± 0,7
			22.08.2004	-10,9±0,1	-74,7±1	13,02±0,79
9	Opad Krościenko–Biały Potok	490	26.07.2004	-5,0±0,1	-33,6±1	13,61±0,09

2003 r. – Laboratorium Wydziału Fizyki i Techniki Jądrowej AGH, Kraków 2004 r. – Laboratorium Instytutu Nauk Geologicznych PAN, Warszawa i Laboratorium Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa (tryt)

która unosi się do atmosfery i następnie zasila wody podziemne) w izotopy lekkie, podczas gdy woda pozostająca w fazie ciekłej staje się stopniowo coraz cięższa. Proces frakcjonowania izotopowego zależy od szerokości geograficznej, temperatury powietrza i wysokości nad poziom morza (Craig 1961; Clark, Fritz 1997).

Położenie punktów wskazuje na zasilanie wszystkich źródeł na umiarkowanych wysokościach. Analizując dokładniej położenie punktów charakteryzujących poszczególne źródła można zauważyć, iż położone w nieco wyższych partiach Pienin źródła Kotłowego Potoku i pod Wysokim Działem, są w większym stopniu zubożone w izotopy ciężkie (zawierają ich mniej) niż położone niżej, na poziomie Dunajca Źródło Stuletnie, które zawiera nieco więcej izotopów cięższych. Świadczy o tym pewne niewielkie przesunięcie punktów Źródła Stuletniego w kierunku VSMOW. Czy jest to tylko przypadkowy układ punktów, czy może zaznaczenie się efektu wysokościowego, związanego z różnym położeniem obszarów zasilania źródeł – jednoznaczne rozstrzygnięcie tej kwestii wymaga dalszych badań. Nie należy w tym momencie zapominać o dokładności oznaczeń, które są podane w tabeli I.

Tryt

Obecność w znacznym stężeniu trytu (od 10,7 do 13,6 T.U.), stanowi dowód na związek zbior-

ników wód podziemnych drenowanych przez źródła z intensywnym, współczesnym zasilaniem infiltracyjnym.

Długość czasu połowicznego rozpadu trytu ($T_{1/2} = 12,43$ lat) sprawia, że jest on powszechnie wykorzystywany jako znacznik w badaniach hydrogeologicznych oraz umożliwia określenie wieku wód podziemnych, jeśli ten wiek nie przekracza 50 lat (Dowgiałło, Nowicki 1999). Zmniejszenie się zawartości trytu w badanej wodzie podziemnej jest miarą upływu czasu, jaki minął od momentu infiltracji wody opadowej. Szczególnie zasadne jest zastosowanie badań trytowych w odniesieniu do tych wód podziemnych, które mogą być narażone na zanieczyszczenia w wyniku antropopresji. Okoliczność ta ma pełne odniesienie do wód podziemnych PPN.

Wykonane w 2003 r. oznaczenia zawartości trytu wykazały, że infiltracja wody miała miejsce po pierwszym okresie prowadzenia badań z bronią jądrową, a więc nie wcześniej niż ok. 50 lat temu. Oznacza to, że wody ze wszystkich źródeł są „wrażliwe na antropopresję” (Felter, Nowicki 1997).

W celu dokładniejszego sprecyzowania wieku wody, w 2004 r. dodatkowo wykonano badania izotopowe w wodzie opadowej pobranej w Krościenku–Białym Potoku (nr 9). Umożliwiło to zastosowanie do obliczeń najprostszego modelu tłokowego – PFM (*piston flow model*). W modelu

Tabela II. Wyznaczenie czasu przebywania w środowisku skalnym wód drenowanych przez źródła pienińskie przy zastosowaniu modelu tłokowego PFM.

Estimated the residence time of waters discharge by pinińny springs in geological environment with application of piston flow model (PFM).

	C_0 [T.U.]	C_t [T.U.]	$\ln C_0$	$\ln C_t$	$\ln C_0 - \ln C_t$	λ	t [lata] [years]	Czas Time
Źródło Kotłowego Potoku (nr 2 – no 2)	13,61	10,72	2,6108	2,3721	0,2387	0,05576	4,28	4 lata i 3 ½ miesiąca 4 years and 3.5 months
Źródło Stuletnie (nr 4 – no 4)		13,56		2,6071	0,0037		0,07	26 dni 26 days
Źródło pod Wysokim Działem (nr 7 – no 7)		13,02		2,5665	0,0443		0,79	9 ½ miesiąca 9.5 months

tym przyjmuje się następujące założenia podstawowe (Zuber 1986):

– przepływ trytu odbywa się bez strat (transport idealny)

– zmniejszenie się aktywności trytu na drodze przepływu wynika jedynie z rozpadu promieniotwórczego

– wody dopływające ze strefy zasilania do źródła przemieszczają się wzdłuż drogi przepływu liniami prądu bez wzajemnego mieszania

– aktywność początkowa trytu C_0 jest stała w czasie.

Wiek wód, czyli czas przebywania w środowisku skalnym wód drenowanych przez źródła, obliczono z równania rozpadu promieniotwórczego:

$$C_t = C_0 e^{-\lambda t}$$

gdzie:

C_0 – początkowa aktywność trytu, czyli tzw. funkcja wejścia – przyjęto stężenie aktywności trytu jak w opadzie atmosferycznym z Krościenka–Białego Potoku (pkt. 7)

C_t – aktywność trytu w punkcie poboru próbki wody

t – wiek wody (czas przebywania w środowisku skalnym wód drenowanych przez źródło)

λ – stała rozpadu trytu; $\lambda = \ln 2/T_{1/2}$

Po przekształceniu równanie przyjmuje postać:

$$t = \frac{\ln C_0 - \ln C_t}{\lambda}$$

Wykonane obliczenia i ich wyniki zaprezentowano w tabeli II.

WNIOSKI

1. Względnie długi czas przebywania w środowisku skalnym wody wypływającej w źródle Kotłowego Potoku (nr 2) zdaje się potwierdzać przypuszczenie o nieco głębszym krążeniu wód i ich wypływie wzdłuż strefy dyslokacyjnej, związanej z nasunięciem tektonicznym.

2. Wynik dla Źródła Stuletniego (nr 4) potwierdza i uwypukla stwierdzenie o dużej wrażliwości wód podziemnych Pienińskiego Parku Narodowego na antropopresję.

3. Zaskoczeniem jest stosunkowo krótki czas obliczony dla źródła pod Wysokim Działem (nr 7), zwłaszcza w świetle jego reżimu, który wskazywałby raczej na nieco dłuższe drogi krążenia (por. Wł. Humnicki – Reżim źródeł pienińskich w świetle obserwacji limnometrycznych, ss. 29–39).

4. Prezentowane wyniki oznaczeń izotopowych mają dla źródeł pienińskich charakter pionierski. Mimo wysokich kosztów badań, ze wszech miar zasadne jest ich powtarzanie.

PIŚMIENNICTWO

- Clark I., Fritz P. 1997. Environmental isotopes in hydrogeology. — Lewis Publ., New York.
- Craig H. 1961. Isotopic variations in meteoric water. — Science, **133**.
- Felter A., Nowicki Z. 1997. Tryt – bezpośredni wskaźnik wrażliwości warstwy wodonośnej na antropopresję. — Przegląd Geologiczny, **45(9)**: 862–864.
- Dowgiałło J., Nowicki Z. 1999. Ocena „wieku” wód podziemnych na podstawie wybranych metod izotopowych.

— Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, **388**: 61–78.

Zuber A. 1986. Mathematical models for the interpretation of environmental radioisotopes in groundwater systems. [W:] P. Fritz, J. Ch. Fo (red.), Handbook of Environmental Isotope Geochemistry.

SUMMARY

The isotopic composition of groundwaters in the area of the Pieniny National Park was determined within the scientific grant No 5 T 12B 001 23, sponsored by the Committee for Scientific Research (KBN). This study was undertaken in order to meet the needs and expectations of many hydrogeologists (Dowgiałło, Nowicki 1999).

As a part of this research the springs for isotopic study were selected by comparing their hydrogeological regime. Two springs were chosen where the occurrence of deeper circulating waters were expected, that is Kotłowy Potok Spring (No. 2) and Pod Wysokim Działem Spring (No. 7). The third chosen one was Stuletnie Spring (No. 4), with the highest discharge within the Pieniny National Park.

Stable isotopes of ^{18}O and ^2H composition of waters revealed their meteoric origin (Tab. I). They are depleted of ^{18}O and ^2H in relation to ocean water (VSMOW) and plotted close to the Global Meteoric Water Line (GMWL) (Fig. 1). Values of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ are typical for waters of modern hydrological cycle.

High ^3H content (from 10.7 to 13.6 TU) suggests strong relationship between the groundwater bodies discharged by the springs and the waters of modern infiltration. In order to estimate more precisely the age of the investigated waters the isotopic composition of rain water from Krościenko – Biały Potok (point No. 9) was measured, and the simple piston flow model (PFM) was applied (Tab. II).

The relatively long residence time of water from the Kotłowy Potok Spring (No. 2) in geologic environment seems to corroborate the hypothesis about somewhat deeper circulation system and the water outflow along dislocation zone associated with tectonic thrust.

The results obtained for Stuletnie Spring (No. 4) proved the thesis about the high sensitivity of groundwaters of the Pieniny National Park to anthropoppression.

The rather short residence time of water from the spring Pod Wysokim Działem (No. 7) in geologic environment is surprising while taking into account the regime of the spring which would rather suggest longer groundwater flow paths (Humnicki – The Limnometric Observations in the Pieniny Mts.).

Presented results of the isotopic study of spring waters within the Pieniny Mts. have a pioneering character. Despite the high costs of such measurements they are entirely justified and need to be continued.

