

WODY PODZIEMNE PIWNICZNEJ-ZDROJU, ICH WIEK I OBSZARY ZASILANIA, WEDŁUG DANYCH IZOTOPOWYCH

GROUNDWATERS OF PIWNICZNA-SPA, THEIR AGES AND RECHARGE AREAS DEDUCED FROM ISOTOPE DATA

BOGUSŁAW PORWISZ¹, JAN RADWAN¹, JÓZEF CHOWANIEC², ANDRZEJ ZUBER²

Abstrakt. Wody podziemne Piwnicznej-Zdroju są głównie szczawami typu: $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$, $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg-Na}$, $\text{HCO}_3\text{-Mg-Na-Ca}$ i $\text{HCO}_3\text{-Na-Mg-Ca}$. W wodach współczesnych wśród kationów dominuje Ca^{2+} , a w wodach przedwspółczesnych obserwuje się podwyższoną mineralizację i zwiększone zawartości Mg^{2+} i Na^+ . Granice obszarów zasilania wyznaczono na podstawie rozpoznanej budowy geologicznej i średniej wysokości ich położenia nad poziomem morza, oszacowanej z badań izotopowych.

Słowa kluczowe: szczawy, tryt, izotopy trwałe, wiek wód, obszar zasilania, Karpaty zewnętrzne.

Abstract. Therapeutical waters of the Piwniczna-Spa are of $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$, $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg-Na}$, $\text{HCO}_3\text{-Mg-Na-Ca}$ and $\text{HCO}_3\text{-Na-Mg-Ca}$ types, rich in CO_2 . In modern waters, Ca^{2+} dominates among cations whereas in older waters Na^+ and Mg^{2+} dominate and mineralization is higher. Boundaries of the recharge areas were determined from the known geology and the mean elevation of recharge area estimated from the isotope data.

Key words: CO_2 -rich waters, tritium, stable isotopes, water age, recharge area, Outer Carpathians.

WPROWADZENIE

Wody lecznicze Piwnicznej-Zdroju były opisane przez Ostrowicką (1965) i w kilku dokumentacjach, a historia uzdrowiska przez Rajchel i Rajchel (2005). Zdrojowa część Piwnicznej mieści się na prawym brzegu Popradu, gdzie w obrębie obszaru górniczego zlokalizowane są ujęcia wody leczniczej: P-1, P-2, P-5, P-6, P-7, P-8, P-9, P-11 i P-14 oraz ujęcia wody zwykłej P-10 i P-12. Obszar badań o powierzchni $10,4 \text{ km}^2$ obejmuje zlewnie potoków Jaworzyna i Śmigowski oraz sąsiadujące przyrzeczca Popradu (fig. 1). Celem niniejszej pracy jest przedstawienie rezultatów badań

izotopowych wraz z ich interpretacją hydrogeologiczną dotyczącą ujęć wód podziemnych Piwnicznej-Zdroju.

Do interpretacji wyników badań wykorzystano arkusz Piwniczna Szczegółowej mapy geologicznej Polski, w skali 1:50 000 (Golonka, Rączkowski, 1981), wprowadzając zmiany na mapie w skali 1:10 000 (Porwisz i in., 2011), dotyczące głównie zasięgu poszczególnych utworów fliszowych, a wynikające z późniejszych wierceń, przy czym przebieg uskoku Kokuszki (uKo) i Walczaków (dW) podano według Fistek i Fistek (2002).

¹ Zespół Usług Hydrogeologicznych, ul. Wadowicka 3/426, 30-415 Kraków

² Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, ul. Skrzatów 1, 31-560 Kraków

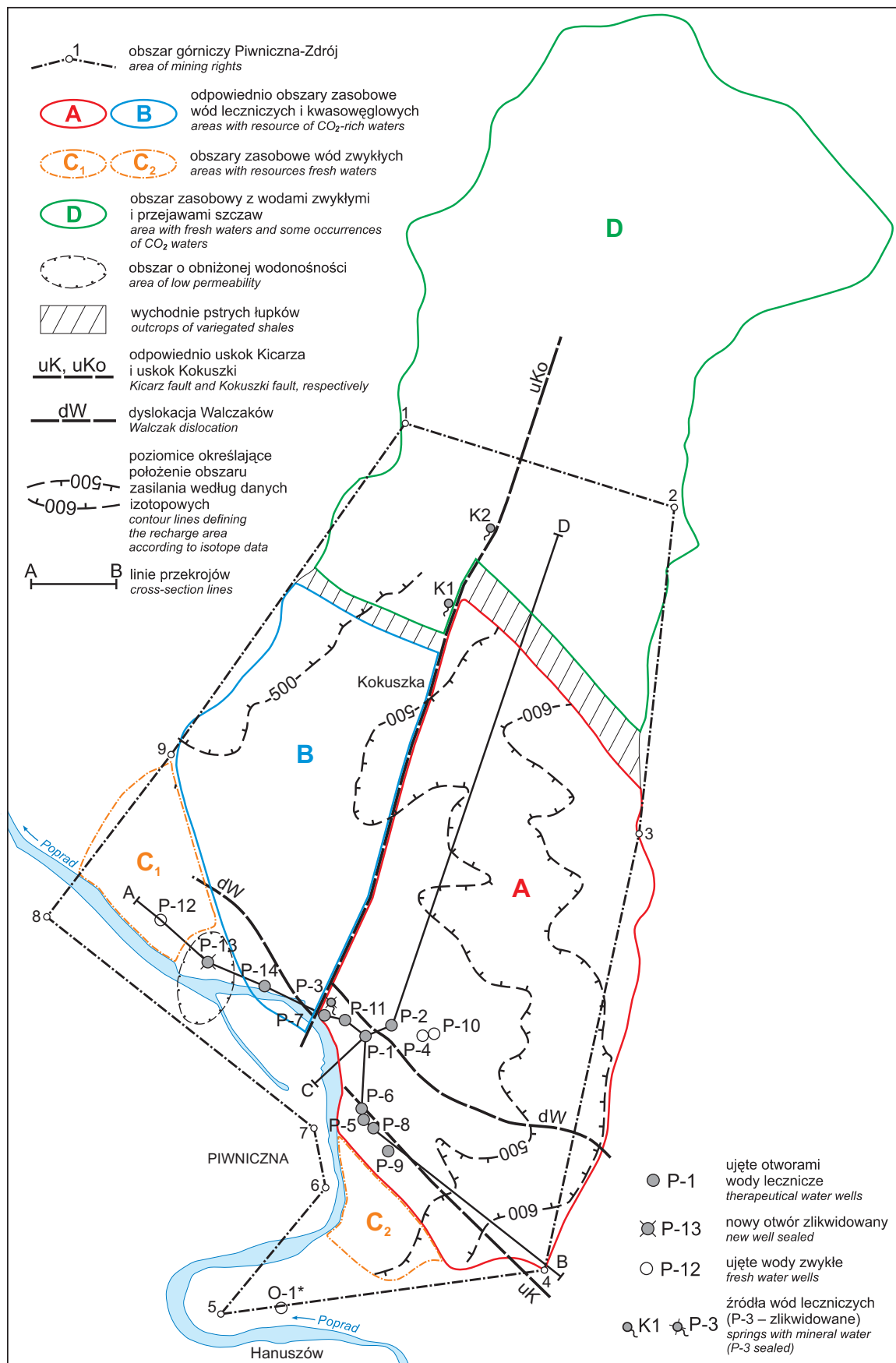


Fig. 1. Szkic hydrogeologiczny rejonu badań

Hydrogeologic schematic outline of the investigated area

ZARYS HYDROGEOLOGII OBSZARU BADAŃ

Obszar badań należy do strefy tektoniczno-facjalnej krynickiej (płaszczyzna magurska), osiągającej w rejonie Piwnicznej szerokość ok. 17 km. W skład tej strefy wchodzi piaskowce gruboławicowe i łupki (piaskowce z Piwnicznej – eocen), łupki i piaskowce (warstwy z Zarzecza – paleocen–eocen), piaskowce, zlepieńce, łupki (piaskowce z Życzanowa – paleocen), łupki i piaskowce (warstwy szczawnickie – paleocen), łupki pstrze (senon, paleocen). Wody szczelinowo-porowe, występują głównie w ławicach piaskowców, a łupki i urozmaicona tektonika powodują utrudnienia w kontaktach hydraulicznych.

W dolinie Popradu wody poziomu fliszowego i czwartorzędowego oddzielone są od wód rzecznych słabo przepuszczalnymi glinami aluwialnymi. Wody te stabilizują w przybliżeniu na tej samej wysokości (fig. 2, 3), przy czym wody fliszowe są napięte. Kierunek i intensywność przesączania się wód przez gliny zależą od wzajemnego położenia poziomów wód podziemnych i rzecznych.

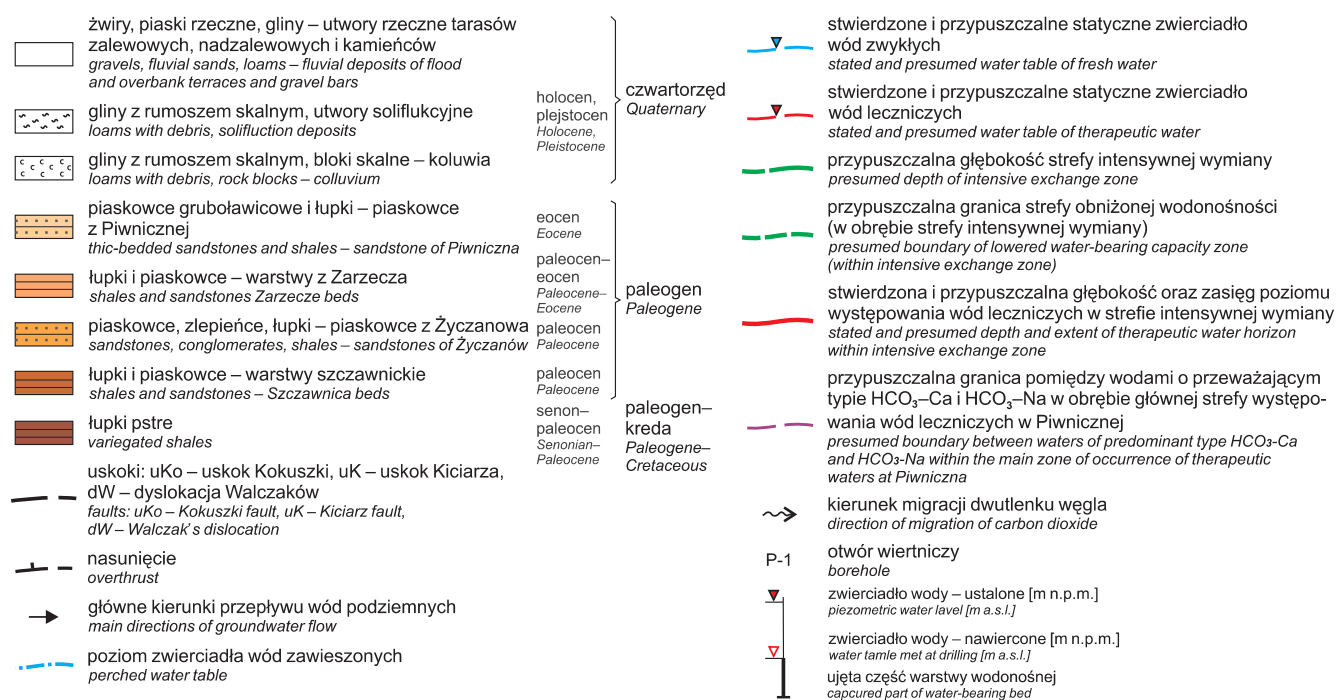
Poza doliną Popradu wyróżniono dwa poziomy: płytki i główny. Poziom płytki jest zawieszony i nieciągły, obejmuje wody w obrębie stropowej części utworów fliszowych, z wykluczeniem szczytowych partii wzgórz, będąc w więzi

z wodami potoków. Poziom główny (wglębny) ujmowany jest otworami w obrębie strefy intensywnej wymiany. Na figurach 2 i 3 przedstawiono zgeneralizowane położenie zwierciadła wody obu tych poziomów oraz orientacyjny zasięg strefy intensywnej wymiany.

Na podstawie rozpoznanych warunków hydrogeologicznych, w granicach obszaru górniczego, wyróżniono na figurze 1 obszary A, B, C₁, C₂ i D, przy czym granice między tymi obszarami mają przybliżony charakter. Obszar A obejmuje przypuszczalnie strefę zasilania wszystkich szczaw, ujętych dotychczasowymi wierceniami. Obszar B to obszar zasilania i występowania wód kwasowęglowych ujętych nowym otworem P-14. Oba te obszary oddzielone są od górniej części zlewni pasem wychodni pstrych łupków (fig. 1) i rozdzielone uskokiem Kokuszki (uKo), mającym tu prawdopodobnie charakter izolujący.

Na obszarach C₁ i C₂, sąsiadującymi odpowiednio z obszarami B i A, występują wody zwykłe. Słabo rozpoznana górna część zlewni potoku Jaworzyna, powyżej wychodni pstrych łupków, stanowi obszar D, z dominacją wód zwykłych i niewielkimi wpływami szczaw.

Objaśnienia do Fig. 2 i 3



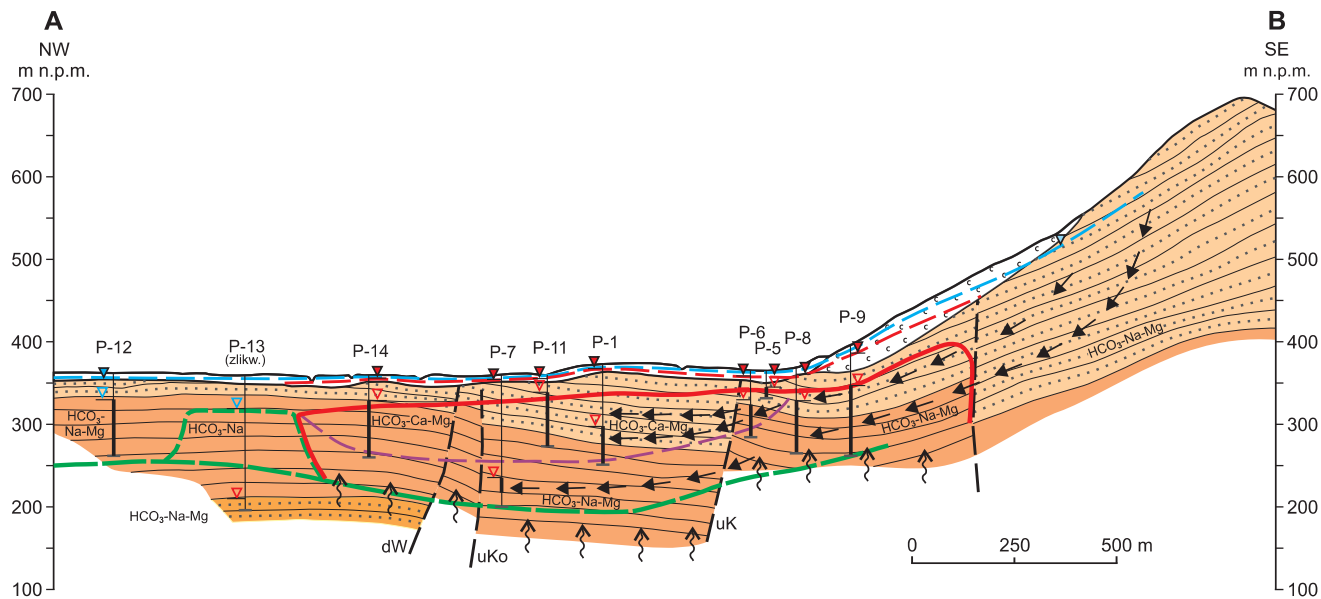


Fig. 2. Przekrój hydrogeologiczny A-B

Hydrogeological cross-section A-B

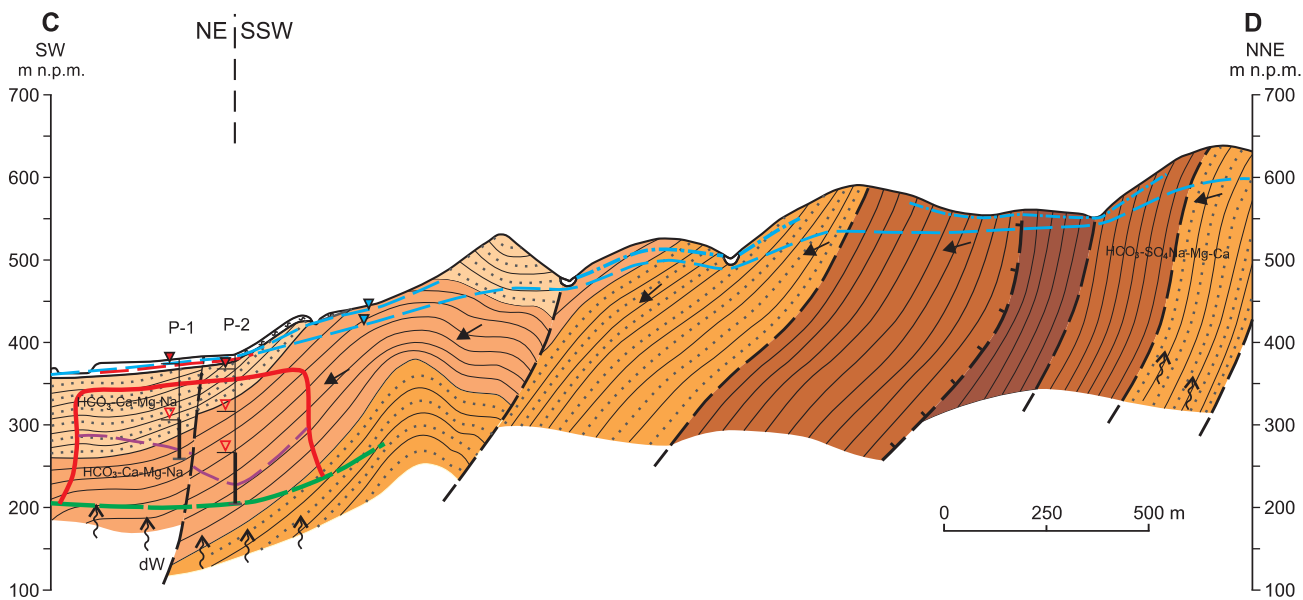


Fig. 3. Przekrój hydrogeologiczny C-D

Hydrogeological cross-section C-D

REZULTATY ANALIZ IZOTOPOWYCH I CHEMICZNYCH WÓD PIWNICZNEJ

Stężenia trytu w badanych wodach zestawione są w tabeli 1 razem z $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$, których średnie wartości pokazane są na figurze 4, na tle światowej linii opadów i regionalnej linii wód infiltracyjnych oraz jakościowych zakresów wieku wód. Według składu chemicznego i izotopowego badane wody są całkowicie pochodzenia meteorycznego. Wody lecznicze ujęte otworami P-5, P-6 i P-11 oraz wody zwykłe ujęte otworami P-12 i P-14 mają wielkości $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ przesunięte w kierunku wyższych wartości, przy czym stężenia trytu zmierzone w tych wodach sugerują ich współczesne zasilanie, tzn. po rozpoczęciu prób termojądrowych w atmosferze w 1952 r. Do tej grupy zalicza się także woda zwykła ze zlikwidowanego otworu P-13.

Skład izotopowy opadów, a co za tym idzie – wód infiltracyjnych, wykazuje tendencję malejącą wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza. Zjawisko to nosi nazwę efektu wysokościowego. Do jego określenia najlepiej nadają się źródła usytuowane na różnych wysokościach i zawierające wody o krótkim czasie przepływu (ale nie młodsze niż 3–5 lat z powodu konieczności wytlumienia tzw. efektu sezonowego). Z uwagi na ogólnie znany reżim pracy źródeł

ich opróbowanie powinno mieć miejsce w okresach niżówkowych, w celu zminimalizowania udziału składowej „szybkiej”. Oszacowanie wysokości położenia obszaru zasilania w polskich Karpatach fliszowych zgodnie z tymi wymogami jest trudne. Przede wszystkim składa się na to brak dostatecznej wiedzy odnośnie zmienności wydajności źródeł w czasie (niemożliwość stwierdzenia stanu niżówkowego w chwili poboru prób do analiz izotopowych) oraz w wielu przypadkach, nieznaną drogę migracji wody zarówno do naturalnych wypływów, jak i ujęć głębinowych. Według Ciężkowskiego i Zuber (1995), średnia wysokość położenia obszaru zasilania wód mineralnych Piwnicznej znajduje się przypuszczalnie w zakresie 620–700 m n.p.m., a według zależności określonych dla źródeł siarczkowych (Rajchel i in., 2005) na wysokości 600 m n.p.m., i ta ostatnia wysokość została przyjęta w ramach niniejszej pracy jako górna granica średniej wysokości wynikającej z mierzonych w Piwnicznej wyższych dodatnich wartości $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$.

Wszystkie pozostałe wody mają składy izotopowe o niższych wartościach, które mogą być wynikiem albo efektu wysokościowego, tzn. zasilania na większej wysokości, albo

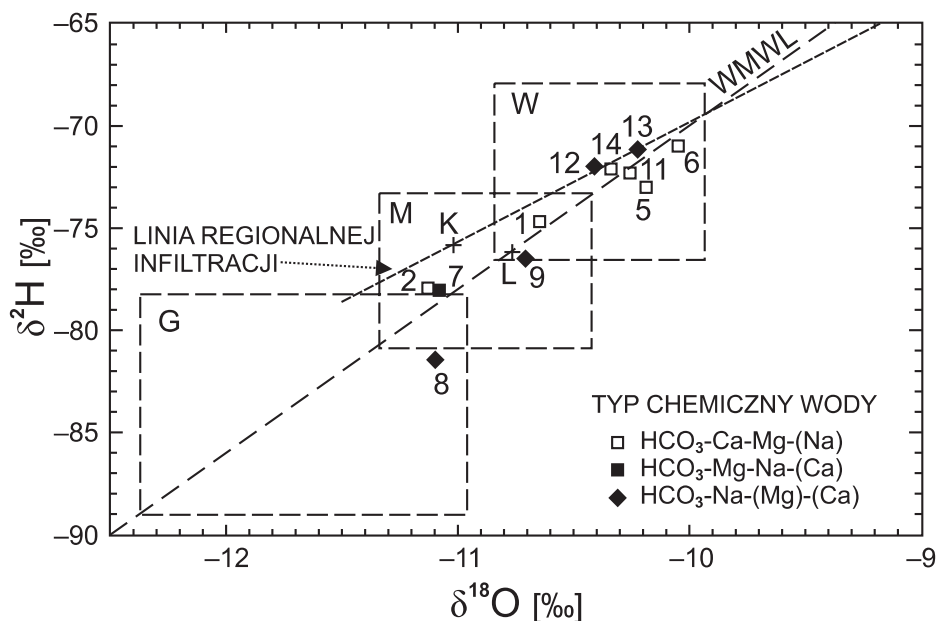


Fig. 4. Zależność $\delta^{18}\text{O}$ – $\delta^2\text{H}$ wód Piwnicznej na tle światowej linii opadów (WMWL) i regionalnej linii wód infiltracyjnych, według Ciężkowskiego i Zuber (1995)

Zaznaczono zakresy składu izotopowego typowe dla szczaw współczesnych (W), wieku glacialnego (G) i mieszanych (M) oraz typy chemiczne według Chowańca i in. (2009); K i L oznaczają odpowiednio wody zwykłe ujęte w Koszarzyskach i w Sanatorium „Limba”

$\delta^{18}\text{O}$ – $\delta^2\text{H}$ relation of Piwniczna waters in comparison with the WMWL and regional line of infiltrating waters (Ciężkowski and Zuber, 1995)

Typical ranges of isotopic composition representing modern (W), glacial (G) and mixed (M) CO_2 -rich waters are presented. Chemical types of waters are cited after Chowańiec *et al.* (2009); K and L stay for fresh water in Koszarzyska and in “Limba” sanatorium, respectively

Tabela 1

Dane izotopowe i chemiczne wód leczniczych i zwykłych Piwnicznej
Isotope and chemical data of therapeutical and fresh waters of Piwniczna

Miejsce poboru	Data	$\delta^{18}\text{O}$ [‰]	$\delta^2\text{H}$ [‰]	Tryt T.U.	Skład chemiczny i jego zmienność w latach 2005–2009, wzór Kurlowa
P-1	03.07.70 ^a	-10,60	-75,0	n.m.	$\text{CO}_2^{1,5-2,1}\text{M}^{2,2-2,8} \frac{\text{HCO}_3^{78-99}}{\text{Ca}^{40-52}\text{Mg}^{27-35}\text{Na}^{17-23}}$
	31.01.95 ^b	-10,50	-76,0	2,0 ± 0,5	
	14.11.95 ^b	-10,50	-74,0	1,3 ± 0,5	
	17.04.98 ^c	n.m.	n.m.	1,5 ± 0,5	
	02.10.09 ^c	-10,56	-74,3	1,6 ± 0,4	
P-2	03.07.70 ^a	-11,10	-78,0	n.m.	$\text{CO}_2^{2,0-3,0}\text{M}^{2,4-3,2} \frac{\text{HCO}_3^{98-99}}{\text{Ca}^{41-51}\text{Mg}^{26-31}\text{Na}^{20-34}}$
	25.11.80 ^c	-10,70	-74,0	n.m.	
	31.01.95 ^b	-11,10	-80,0	2,0 ± 0,5	
	14.11.95 ^b	-11,10	-78,0	0,9 ± 0,5	
	17.04.98 ^c	n.m.	n.m.	1,6 ± 0,5	
P-5	31.01.95 ^b	-10,10	-73,0	15,6 ± 0,8	$\text{CO}_2^{0,5-1,1}\text{M}^{1,0-1,4} \frac{\text{HCO}_3^{91-94}}{\text{Ca}^{43-50}\text{Mg}^{26-32}\text{Na}^{18-22}}$
	14.11.95 ^b	-10,20	-73,0	13,5 ± 0,8	
	17.04.98 ^c	n.m.	n.m.	13,3 ± 0,8	
	02.10.09 ^c	-10,19	-72,7	6,7 ± 0,5	
P-6	31.01.95 ^b	-10,10	-71,0	16,9 ± 0,9	$\text{CO}_2^{0,5-2,6}\text{M}^{1,5-2,3} \frac{\text{HCO}_3^{91-96}}{\text{Ca}^{27-52}\text{Mg}^{26-36}\text{Na}^{15-34}}$
	14.11.95 ^b	-10,00	-71,0	15,6 ± 0,8	
	17.04.98 ^c	n.m.	n.m.	13,6 ± 0,8	
P-7 przed pogłęb.	05.05.98 ^c	-10,60	-74,0	14,3 ± 0,8	$\text{CO}_2^{1,4}\text{M}^{1,9} \frac{\text{HCO}_3^{97}}{\text{Ca}^{34}\text{Mg}^{31}\text{Na}^{20}}$
P-7 po pogłęb.	2001 ^c	-11,10	-78,0	n.m.	$\text{CO}_2^{2,3-2,7}\text{M}^{3,9-5,6} \frac{\text{HCO}_3^{91-99}}{\text{Mg}^{33-40}\text{Na}^{32-39}\text{Ca}^{22-28}}$
P-8	02.10.09 ^c	-11,17	-81,2 -81,7	1,4 ± 0,4	$\text{CO}_2^{2,1-2,6}\text{M}^{5,9-7,2} \frac{\text{HCO}_3^{99}}{\text{Na}^{38-43}\text{Mg}^{35-40}\text{Ca}^{17-22}}$
P-9	02.10.09 ^c	-10,71	-76,5	3,9 ± 0,4	$\text{CO}_2^{1,9-2,9}\text{M}^{2,8-3,6} \frac{\text{HCO}_3^{97-99}}{\text{Na}^{30,39}\text{Mg}^{31-36}\text{Ca}^{20-35}}$
P-11	02.10.09 ^c	-10,26	-72,0 -72,6	7,4 ± 0,5	$\text{CO}_2^{0,3-1,4}\text{M}^{0,8-1,31} \frac{\text{HCO}_3^{90-95}}{\text{Ca}^{49-67}\text{Mg}^{24-32}\text{Na}^{6-17}}$
P-12	07.05.07 ^c	-10,40	-72,0	7,7 ± 0,4 8,0 ± 0,5	$\text{M}^{0,58} \frac{\text{HCO}_3^{86}\text{SO}_4^{10}}{\text{Na}^{53}\text{Ca}^{30}\text{Mg}^{16}}$
P-13 ^c	30.05.07 ^c	-10,22	-71,1	4,5 ± 0,3	$\text{M}^{0,54} \frac{\text{HCO}_3^{84}\text{SO}_4^8}{\text{Na}^{75}\text{Ca}^{11}\text{Mg}^{11}}$
P-14	04.07.07 ^c	-10,37	-73,6	4,2 ± 0,3	$\text{CO}_2^{0,70}\text{M}^{0,76} \frac{\text{HCO}_3^{90}}{\text{Ca}^{48}\text{Mg}^{32}\text{Na}^{19}}$
	10.02.09 ^c	-10,32	-72,1 -71,9	5,2 ± 0,4 –	
O-1, Sanat. „Limba”	05.02.95 ^{b,d}	-10,76	-76,2	n.m.	$\gamma = 320 \text{ mS/cm,}$ czyli $\text{M} \cong 247 \text{ mg/dm}^3$
	26.08.95 ^{b,d}	-10,50	–	n.m.	
Kosarzyska	05.02.95 ^{b,d}	-11,04	-76,2	n.m.	$\gamma = 140 \text{ mS/cm,}$ czyli $\text{M} \cong 110 \text{ mg/dm}^3$
	25.08.95 ^{b,d}	-11,06	-75,5	n.m.	

^a – Dowgiało (1973); ^b – Ciężkowski i in. (1996); ^c – „Piwniczanka” ZBNWM, w tym dane trytowe z 2009 r. wykonane na zlecenie PIG-PIB W-wa; ^d – właściwa przewodność elektryczna (γ) wg Ciężkowskiego i Zubera (1994); ^e – zlikwidowany, woda zwykła do głębokości 100 m, a na 164 m stwierdzono słaby dopływ 0,5% szczawy typu $\text{HCO}_3\text{-Na-Mg}$; n.m. – nie mierzono

efektu klimatycznego, tzn. obecności wody zasilanej w klimacie chłodniejszym od klimatu współczesnego. Dla wody z otworu P-8, o najbardziej ujemnych wartościach delt, wysokość obszaru zasilania według zależności tatrzańskiej (Zuber i in., 2008) wynosiłaby 1300–1450 m n.p.m., według danych Ciężkowskiego i Zuber (1995) około 800–1000 m n.p.m., a według ekstrapolowanej zależności (Rajchel i in., 2005) około 1400 m n.p.m. Biorąc pod uwagę morfologię rejonu badań, takie wysokości są mało prawdopodobne. Dodatkowym argumentem przeciwko hipotezie zależności składu izotopowego tej wody od efektu wysokościowego jest położenie tego składu poniżej światowej linii opadów, a nie na regionalnej linii współczesnych wód infiltracyjnych (fig. 4). Z powyższych względów przyjęto, że wody lecznicze o składach izotopowych niższych od składów wód z otworów P-5, P-6, P-11, P-12 i P-14 są w znacznym stopniu wynikiem efektu klimatycznego (Ciężkowski, Zuber, 1997; Różański, Zuber, 2000), przy czym w otworach P-7 i P-8 woda zasilana w klimacie chłodniejszym od panującego obecnie może nawet dominować. Woda zwykła w Koszarzyskach ma swój obszar zasilania na wysokości około 700 m n.p.m., a woda z ujęcia O-1 zawiera albo domieszkę wody zasilanej w chłodniejszym klimacie, lub wody rzecznej, gdyż zwierciadło wody w tym otworze ustabilizowane jest na poziomie wody rzecznej. Brak eksploatacji utrudnia jednak bliższe obserwacje.

W otworach P-1 i P-2 obserwuje się śladowe stężenia trytu, długo utrzymujące się na podobnie niskim poziomie, co sugeruje domieszkę wody współczesnej, tzn. zawierającej tryt z wybuchów termojądrowych prowadzonych w atmosfere

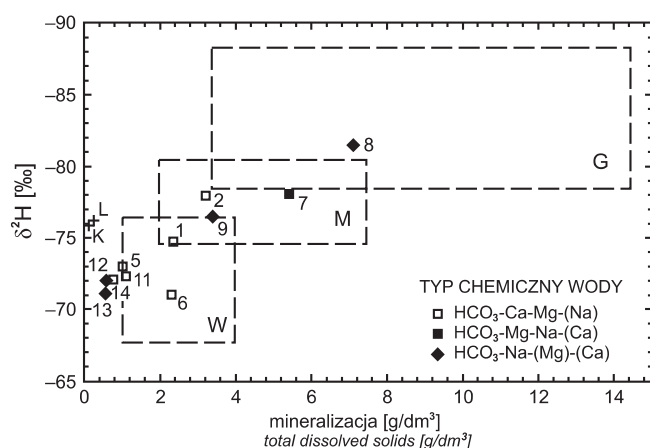


Fig. 5. Zależność mineralizacja- $\delta^2\text{H}$ wód Piwnicznej na tle typowych zakresów szcaw współczesnych (W), wieku glacialnego (G) i mieszanych (M) oraz typów chemicznych według Chowańca i in., 2009 (symbole jak na fig. 4)

TDS- $\delta^2\text{H}$ relation of Piwniczna waters compared with typical ranges of modern (W), glacial (G) and mixed (M) CO_2 -rich waters after Chowańec *et al.*, 2009 (symbols as in Fig. 4)

Tabela 2

Wyniki interpretacji stężeń trytu programem FLOWPC (Małoszewski, Zuber, 1996)

Results of the interpretation of tritium data with the FLOWPC programme

Ujęcie	Model	β	t_i (lata)	P_D	η
P-5	EPM	0,00	126	–	1,15
	DM	0,00	122	0,50	–
P-6	EPM	0,00	110	–	1,15
	DM	0,00	92	0,30	–
P-14	DM	0,00	73,3	0,03	–
P-1	DM	0,92	66	0,15	–
P-2	DM	0,92	68	0,15	–

β – frakcja wody bez trytu, czyli woda z trytem $(1 - \beta)$ w otworach P_1 i P_2 wynosi 8%, a w pozostałych 100%; t_i – średni wiek; P_D – parametr dyspersyjny w modelu dyspersyjnym (DM); η – parametr modelu tłokowo-eksponencjalnego (EPM) wyrażający stosunek objętości całego systemu do objętości z przepływem eksponencjalnym

rze od 1952 r., do wody bez trytu. Podobna sytuacja istnieje w otworze P-8 i przypuszczalnie w otworze P-7 po jego pogłębieniu. Do interpretacji danych trytowych z otworów P-5, P-6 i P-14 zastosowano program FLOWPC (Małoszewski, Zuber, 1996), przyjmując 100% udział wody współczesnej, co jest zgodne z jakościowym zakresem ich wieku, pokazanym na figurach 4 i 5.

Tabela 2 zawiera rezultaty interpretacji stężeń trytu, a na figurze 6 pokazano przykłady modeli dopasowanych do danych doświadczalnych. W przypadku skał szczelinowatych, uzyskany średni wiek wód i ich rozkłady (rozkłady czasów przepływu), pokazane na figurze 7, nie reprezentują jednak ruchu wody mobilnej w szczelinach, lecz migrację idealnego znacznika albo zanieczyszczenia, nieulegającego sorpcji lub

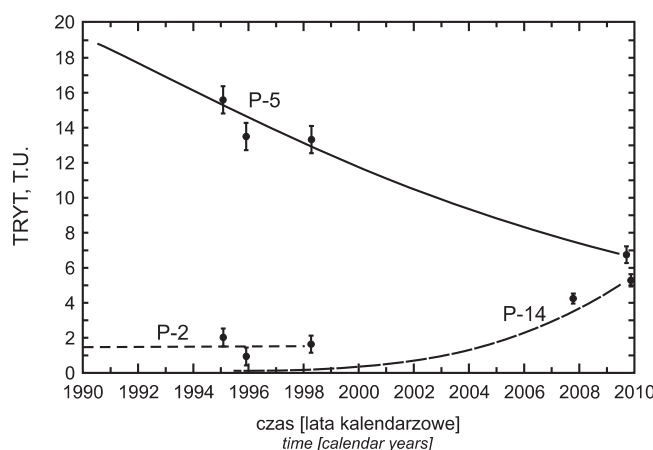


Fig. 6. Stężenia trytu mierzone w otworach P-2 (podobnie w P-1), P-5 (podobnie w P-6) i P-14 porównane z wartościami obliczonymi według dopasowanych modeli (tab. 2)

Tritium contents in the wells P-2 (similar also in P-1), P-5 (similar also in P-6) and P-14 compared with the values obtained from fitted models (Tab. 2)

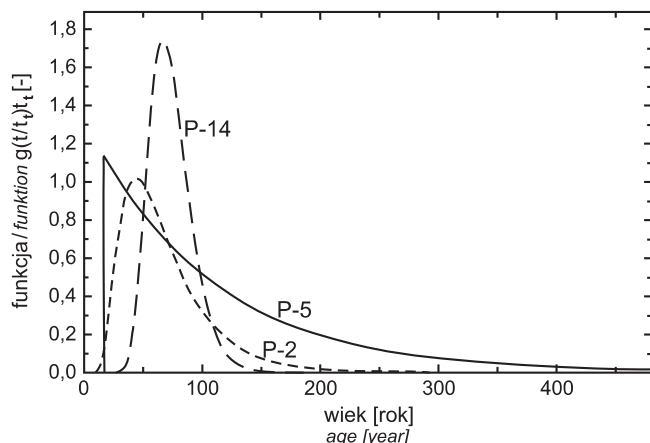


Fig. 7. Rozkłady czasów dopływu znacznika idealnego wg dopasowanych modeli; dla otworu P-2 jest to rozkład czasów składowej zawierającej tryt, wynoszącej tylko 8% całkowitego dopływu wody do otworu (p. tab. 2).

Residence time distributions of an ideal tracer according to fitted models; for the well P-2, it is the distribution of fraction with tritium that amounts only 8% of the total flow (see tab. 2)

rozpadowi. Takie substancje dyfundują ze szczelin z wodą mobilną do mikroporów skały zawierających wodę stagnacyjną. Wskutek tego, ich średnia prędkość przepływu jest mniejsza $(n_f + n_p)/n_f$ razy niż prędkość przepływu wody przez szczeliny, gdzie n_f jest współczynnikiem szczelinowatości, a n_p współczynnikiem mikroporowatości bloków skalnych (Motyka, Zuber, 1992; Zuber, Motyka, 1992, 1994).

Z **figury 7** wynika, że pomimo bardzo różnych modeli interpretacyjnych, dominuje wiek znacznikowy mieszczący się w przedziale od 20 do 80 lat. Wyjątek stanowią otwory P-1 i P-2, gdzie średnie wartości wieku są nieznane, gdyż uzyskane wartości dotyczą jedynie wody zawierającej tryt, oszacowanej na 8% całego dopływu ($1 - \beta = 0,08$). Szerokie

zakresy czasów przepływu wskazują na możliwość szybkiego dopływu zanieczyszczeń do niektórych ujęć, w czasach znacznie krótszych od podanych w **tabeli 2** wartości średnich.

Tabela 1 zawiera także składy chemiczne badanych wód. Szczawy i wody kwasowęgłowe są reprezentowane przez cztery podstawowe typy chemiczne (w P-11 – $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$, w P-1, P-2, P-5, P-6 i P-14 – $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg-Na}$, w P-7 – $\text{HCO}_3\text{-Mg-Na-Ca}$, a w P-8 i P-9 – $\text{HCO}_3\text{-Na-Mg-Ca}$), przy czym w niektórych ujęciach Na^+ i Ca^{2+} zmieniają się okresowo powyżej lub poniżej 20%. W ujęciu P-12 i w zlikwidowanym otworze P-13 do głębokości 100 m stwierdzono wodę zwykłą odmiennego typu chemicznego w szczawach współczesnych (p. **fig. 4, 5**), co należy wiązać z lokalną litologią warstwy wodonośnej.

Na podstawie składu chemicznego ujętych wód, stężenie trytu i wielkości dopływów do ujęć, wyznaczono orientacyjny zasięg głębokościowy strefy intensywnej wymiany na ok. 100 m (P-13), 125 m (P-8 i P-9) i 175 m (P-2). Maksymalny zasięg głębokościowy omawianej strefy w rejonie ujęć nie przekracza ok. 180 m, a formowanie się mineralizacji wód leczniczych ma miejsce przede wszystkim w obrębie strefy dopływu wgłębnego CO_2 . Silna stratyfikacja wiekowa i chemiczna badanych wód, stwierdzona zwłaszcza otworami P-7 i P-13, oznacza dominację przepływów poziomych w strefie ujęć, czyli nie jest to rejon ich naturalnego drenażu. Prawdopodobnie, drenaż naturalny zachodzi głównie w korycie Popradu.

Wraz z głębokością prędkości napływu wód podziemnych do strefy eksploatacji maleją, natomiast następuje wzrost ogólnej mineralizacji wody, czemu zazwyczaj towarzyszy zmiana dominującego udziału Ca^{2+} wśród kationów na przeważający udział Na^+ i Mg^{2+} . Otwory P-1 i P-2, należące do najgłębszych ujęć, nie podlegają jednak tej zasadzie, gdyż ich wody mają zachowaną dominację Ca^{2+} . Pod tym względem są one podobne do większości ujęć Powroźnika i niektórych ujęć w Miliku (Chowaniec i in., 2009).

PODSUMOWANIE

Celem pracy było określenie wieku i obszarów zasilania wód leczniczych w obszarze górniczym Piwniczna-Zdrój, który znajduje się w dolinie Popradu w polskich Karpatach zewnętrznych. Jest to rejon znany z licznego występowania różnego rodzaju wód z zawartością w CO_2 . W uzdrowisku Piwniczna-Zdrój wszystkie wody są pochodzenia meteorycznego, jak wynika z ich składu chemicznego i izotopowego. W przypadku wielu otworów, dostępne są liczne dane dotyczące zawartości trytu, co pozwoliło oszacować średni wiek współczesnych wód na około 70–130 lat. Współczesne wody z zawartością CO_2 są zwykle wodami typu wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowo-sodowego ($\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg-Na}$), natomiast w wodach starszych jony Na^+ i Mg^{2+} dominują wśród kationów.

Na podstawie szeregu wcześniejszych prac przeprowadzonych w polskich Karpatach, oszacowano, że średni poziom zasilania wód współczesnych znajduje się na wysokości 600 m n.p.m. Wody ze śladową zawartością trytu mają w większości odmienny skład izotopowy niż wody współczesne, czego nie można racjonalnie wyjaśnić efektem wysokościowym. Dlatego, poprzez analogie z innymi uzdrowiskami w dolinie Popradu, sugeruje się, że znaczne zasilanie omawianych wód zachodziło w chłodniejszych warunkach klimatycznych.

Wody lecznicze są silnie stratyfikowane, jak wynika z ich składu chemicznego i izotopowego.

LITERATURA

- CHOWANIEC J., CIĘŻKOWSKI W., DULIŃSKI M., JÓZEFKO I., PORWISZ B., ZUBER A., 2009 — Typy chemiczne szczaw w Karpatach fliszowych. *W: Współczesne problemy hydrogeologii. Biul. Państw. Inst. Geol. Hydrogeol.*, **436**, IX/1: 47–53.
- CIĘŻKOWSKI W., ZUBER A. 1994 — Skład izotopowy wód leczniczych obszarów górskich Polski południowej na tle składu izotopowego zwykłych wód podziemnych. Raport ser. SPR, nr 720, Inst. Geotechn. i Hydrotechn. PWroc., Wrocław.
- CIĘŻKOWSKI W., ZUBER A. 1995 — Stabilne izotopy tlenu i wodoru w zwykłych wodach podziemnych centralnej części Karpat polskich. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*, t. 7, 2: 245–250. Wyd. Profil, Kraków.
- CIĘŻKOWSKI W., ZUBER A. 1996 — Niepewności w określaniu wieku wód metodą trytową na przykładzie wód leczniczych Sudetów. *W: Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski: 255–262*. Dolnośląskie Wyd. Eduk., Wrocław.
- CIĘŻKOWSKI W., ZUBER A. 1997 — Wstępne dane o wodach glacialnych w niektórych ujęciach wód leczniczych Beskidu Sądeckiego. *W: Współczesne Problemy Hydrogeologii: 327–329*. Wyd. WIND, Wrocław.
- DOWGIAŁŁO J., 1973 — Wyniki badań składu izotopowego tlenu i wodoru w wodach podziemnych Polski południowej. *Biul. Inst. Geol.*, **277**: 319–338.
- FISTEK J., FISTEK A., 2002 — Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów eksploatacyjnych wód leczniczych (szczaw) z utworów trzeciorzędowych płaszczowiny magurskiej ujętych otworami P-7, P-8, P-9, P-11 w Piwnicznej-Zdroju. — UPIBG-H Wrocław.
- GOLONKA J., RĄCZKOWSKI W., 1981 — Szczegółowa mapa geologiczna Polski. Arkusz 1051 Piwniczna. Wyd. Geol., Warszawa.
- MAŁOSZEWSKI P., ZUBER A., 1996 — Lumped parameter models for the interpretation of environmental tracer data. *W: Manual on Mathematical Models in Isotope Hydrology. IAEA-TECDOC-910: 9-58*, IAEA, Vienna.
- MOTYKA J., ZUBER A., 1992 — Przepływ znaczników i polutantów przez węglanowe skały szczelinowate: 1 – Porowatość matrycy jako najważniejszy parametr. *W: Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski: 103–110*. Wyd. „SUDETY“, Wrocław.
- OSTROWICKA H., 1965 — Budowa geologiczna i wody mineralne Piwnicznej – Zesz. Nauk. AGH Krak., **81**, 6: 101–126.
- PORWISZ B., RADWAN J., ZUBER A., HAJDUGA M., PIECUCH A., GRZĄDZIEL A., 2011 — Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne ujęć wód leczniczych z utworów trzeciorzędowych „Piwniczanki” ZBNWM w Piwnicznej-Zdroju (ujęcia: P-1, P-2, P-5 do P-9, P-11 i P-14). ZUH s.c., Kraków.
- RAJCHEL L., RAJCHEL J., 2005 — Zasoby, chemizm i wykorzystanie wód mineralnych Piwnicznej. *W: Współczesne problemy hydrogeologii* (red. A. Sadurski i A. Krawiec), t. 12: 577–581. Wyd. UMK, Toruń.
- RAJCHEL L., ZUBER A., DULIŃSKI M., RAJCHEL J., 2005 — Składy izotopowe i chemiczne oraz wieki wody ze źródeł siarczkowych w polskich Karpatach. *W: Współczesne problemy hydrogeologii* (red. A. Sadurski i A. Krawiec), t. 12: 583–588. Wyd. UMK, Toruń.
- RÓŻAŃSKI K., ZUBER A., 2000 — Wody infiltracji glacialnej w Europie – mit czy rzeczywistość. *Prz. Geol.*, **48**, 9: 796–803.
- ZUBER A., MOTYKA J., 1992 — Przepływ znaczników i polutantów przez węglanowe skały szczelinowate: 2 – Weryfikacja doświadczalna w skali regionalnej. *W: Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski: 111–118*. Wyd. SUDETY, Wrocław.
- ZUBER A., MOTYKA J., 1994 — Matrix porosity as the most important parameter of fissured rocks for solute transport at large scales. *J. Hydrol.*, **158**: 19–46.
- ZUBER A., MAŁECKI J.J., DULIŃSKI M., 2008 — Groundwater ages and altitudes of recharge areas in the Polish Tatra Mts. as determined from ^3H , $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ data. *Geol. Quart.*, **52**: 71–80.

SUMMARY

The aim of the present study was to determine the age and recharge areas of therapeutical waters within the area of mining rights in Piwniczna-Zdrój (Piwniczna Spa) which is situated within the Poprad river valley, Polish Outer Carpathians, where numerous occurrences of different types of CO_2 -rich waters are known. In the Piwniczna Spa, all of them are purely of meteoric origin as deduced from their chemical and isotopic composition. For several wells, long records of tritium data are available, which allowed to estimate the mean ages of modern waters to be in the range of about 70 to 130 years. Modern CO_2 -rich waters are usually of the $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg-Na}$ type, whereas in older waters Na^+ and Mg^{2+} ions dominate among cations.

On the basis of several earlier works in the Polish Carpathians, the mean altitude of recharge of modern waters was estimated to be at about 600 m a.s.l., whereas waters with traces of tritium are in most cases characterized by isotopic composition distinctly lighter than that of modern waters, which cannot be reasonably explained by the altitude effect. Thus, by analogy to several other spas in the Poprad river valley, it is suggested that these waters contain a significant contribution of water recharged under cooler climatic conditions. Therapeutical waters are strongly stratified as indicated by their chemical and isotopic composition, which means that their natural drainage does not occur in the exploitation area, but somewhat further down stream, directly in the river bed.

