



WODY LECZNICZE DOLINY POPRADU – REJON MILIKA I ANDRZEJÓWKI

THERAPEUTIC WATER OF THE POPRAD VALLEY – THE MILIK AND ANDRZEJÓWKA AREA

JÓZEF CHOWANIEC¹, TOMASZ GAĞULSKI¹, GRAŻYNA GORCZYCA¹, PIOTR FREIWALD¹, TOMASZ OPERACZ¹

Abstrakt. Obszar badań, o łącznej powierzchni ok. 20 km², prawie w całości znajduje się w granicach GZWP nr 438 – Zbiornik warstw Magura (Nowy Sącz), w obrębie Popradzkiego Parku Krajobrazowego, a także na obszarze Natura 2000 – Ostoja Popradzka (PLH 120019). Występują tu dwa złoża wód leczniczych – Milik i Andrzejówka, stanowiące jeden system wodonośny, w którym współwystępują wody zwykłe i lecznicze, związane głównie z piaskowcami z Piwnicznej. Na badanym obszarze wyróżnia się wody lecznicze kwasowęgłowe typu: HCO₃–Mg–Na–Ca; HCO₃–Ca, Fe i szczawy typu HCO₃–Na–Mg–Ca; HCO₃–Na–Mg; HCO₃–Mg–Ca; HCO₃–Mg–Ca, Fe; HCO₃–Ca–Mg, Fe; HCO₃–Ca–Mg i HCO₃–Ca, Fe. Obserwuje się tutaj pionową strefowość hydrochemiczną wyrażoną wzrostem stopnia mineralizacji wód wraz z głębokością. Mineralizacja ogólna wyrażona sumą składników stałych wynosi od 1327,0 do 5529,0 mg/dm³. Na podstawie rezultatów dotychczasowych badań izotopowych wód podziemnych Milika i Andrzejówki wstępnie podzielono je na trzy grupy. Do grupy pierwszej zaliczono wody z dominującym udziałem zasilania w okresie klimatu wyraźnie zimniejszego niż klimat współczesny. W drugiej grupie przeważa udział wód zasilanych w okresach holocenu o klimacie takim jak współczesny. W trzeciej grupie dominuje udział wody holocenijskiej zasilanej w okresie nieco cieplejszego klimatu niż klimat współczesny.

Słowa kluczowe: wody lecznicze, szczawy, dolina Popradu, Milik, Andrzejówka.

Abstract. The study area (20 km²) is located almost entirely within the boundaries of MGWB No 438, Magura Beds (Nowy Sącz), within the Poprad Landscape Park and partially within the Natura 2000 area – Ostoja Popradzka. There are two deposits of therapeutic waters of Milik and Andrzejówka, forming an interconnected aquifer system, in which therapeutic and fresh waters coexist and occur mainly in the Piwniczna sandstones. The study area hosts therapeutic water of HCO₃–Mg–Na–Ca; HCO₃–Ca, Fe types and carbonated water of HCO₃–Na–Mg–Ca; HCO₃–Na–Mg; HCO₃–Mg–Ca; HCO₃–Mg–Ca, Fe; HCO₃–Ca–Mg, Fe; HCO₃–Ca–Mg and HCO₃–Ca, Fe types, all containing carbon dioxide. There is a hydrochemical vertical zonation expressed by increasing mineralization with depth. The total mineralization (total dissolved solids) ranges from 1,327.0 to 5,529.0 mg/dm³. Based on the results of isotopic studies the Andrzejówka and Milik therapeutic waters have been tentatively categorised into three groups. The first group includes water originating from recharge in much colder climate than the modern one. In the second group the prevalent water is that supplied during various periods of the Holocene under modern-like climate conditions. The third group is dominated by water originating from recharge taking place under Holocene climate conditions slightly warmer than present-day.

Key words: therapeutic water, carbonated water, Poprad River valley, Milik, Andrzejówka.

WSTĘP

Obszar badań jest położony w południowej części powierzchnię 670 km² (Kondracki, 2009). Beskid Sądecki województwa małopolskiego, w obrębie Beskidu Sądeckiego, który w granicach administracyjnych Polski zajmuje rozciąga się od doliny Dunajca na zachodzie po doliny Kamienicy, Mochnaczki i Muszynki na wschodzie. Na

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, ul. Skrzatów 1, 31-560 Kraków;
e-mail: jozef.chowaniec@pgi.gov.pl, tomasz.gagulski@pgi.gov.pl, grazyna.gorczyca@pgi.gov.pl, piotr.freiwald@pgi.gov.pl, tomasz.operacz@pgi.gov.pl.

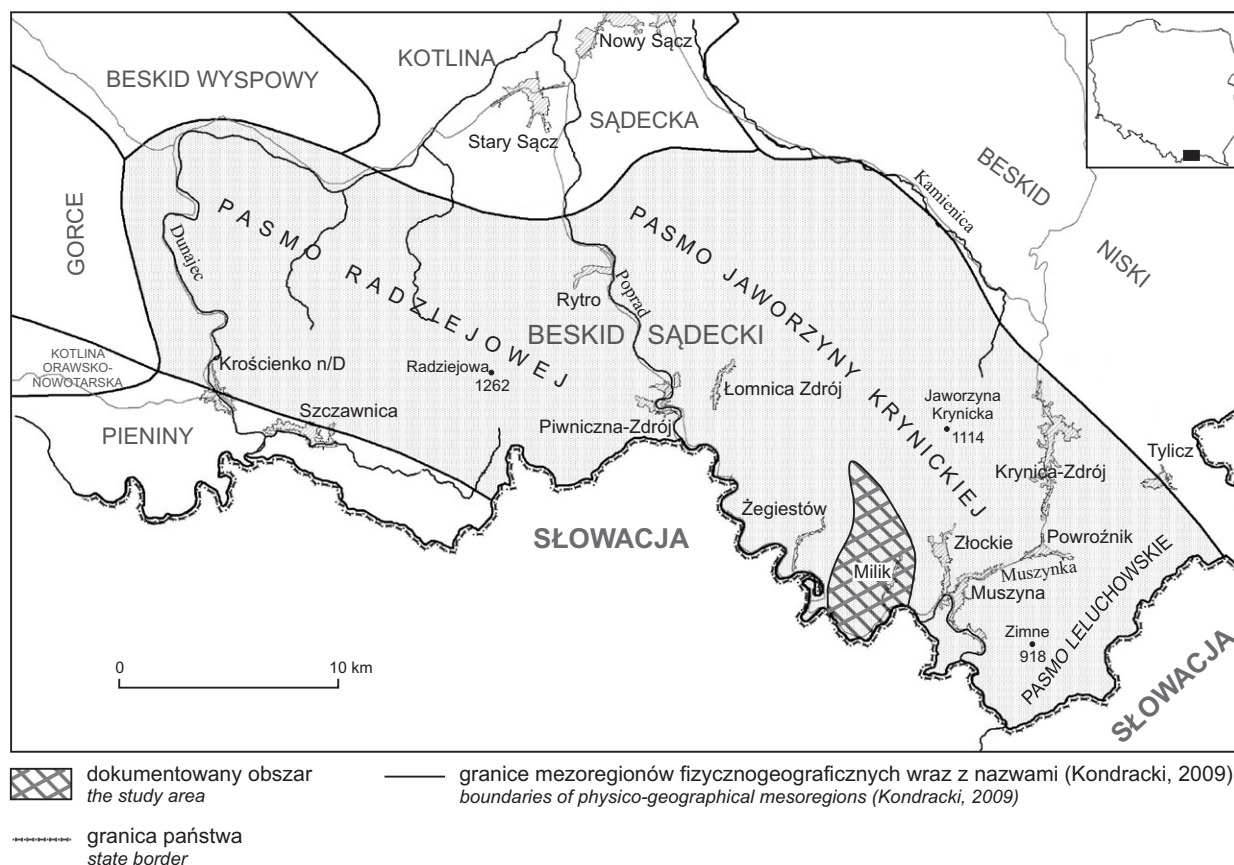


Fig. 1. Lokalizacja obszaru badań

Location of the study area

południu graniczy z Pieninami, na zachodzie z Kotliną Orawsko-Nowotarską i Gorcami, na północy z Beskidem Wyspowym i Kotliną Sądecką, a na północnym wschodzie z Beskidem Niskim (fig. 1).

Rejon Milika i Andrzejówki jest nie tylko bogaty w walory krajobrazowo-turystyczne, lecz przede wszystkim w uzdrowiskowe. Dzięki licznie występującym tu wodom leczniczym, szczególnie szczawom, region ten jest corocznie odwiedzany przez rzesze turystów. Współwystępujące tu wody zwykłe i lecznicze tworzą jeden, wspólny system wodonośny. Ochrona tego systemu, rozumiana jako troska o jakość i zasoby tych wód, jest gwarancją zachowania uzdrowiskowego charakteru tego regionu. W celu zabezpieczenia wód leczniczych wyznaczono obszar i teren górniczy „Muszynianka” o powierzchni 17,5 km². W jego sąsiedztwie znajduje się jeszcze siedem innych obszarów górniczych z wodami leczniczymi.

Stan jakościowy i ilościowy wód leczniczych rejonu Milika i Andrzejówki jest przedmiotem licznych prac o charakterze dokumentacyjnym. W niniejszy artykule przedstawiono wyniki najnowszych badań tej części doliny Popradu, ze szczególnym uwzględnieniem genezy wód leczniczych.

Obszar ten tworzą w głównej mierze zlewnie potoków Milik i Andrzejówka wraz z dopływami, które należą do prawobrzeżnej zlewni Popradu. Badany obszar leży w zasięgu Głównego Zbiornika Wód Podziemnych (GZWP) nr 438 – Zbiornik warstw Magura (Nowy Sącz) (Kleczkowski, 1990; Witek i in., 2013; Gągulski, 2014). Jest to zbiornik o charakterze szczelinowo-porowym o powierzchni 320,5 km². Zasoby dyspozycyjne tego zbiornika oszacowano na poziomie 40,6 tys. m³/d, moduł zasobów dyspozycyjnych określono natomiast na 1,5 l/s·km² (Witek i in., 2013).

WARUNKI WYSTĘPOWANIA WÓD LECZNICZYCH

Omawiany obszar znajduje się w obrębie polskich Karpat fliszowych, które są zbudowane ze skał osadowych powstałych w zbiorniku geosynkinalnym. Ze względu na zróżnicowanie litologiczne utworów i styl zaburzeń w Karpatach zewnętrznych wyróżniono kilka jednostek tektoniczno-

facjalnych. Na badanym terenie występuje jedynie, wysunięta najbardziej na południe w jednostce magurskiej, strefa facjalna krynicka (Chrzastowski i in. 1991, 1993; Żytka, 1999).

Występują tu utwory paleogeńskie reprezentowane przez warstwy z Zarzecza (paleocen–eocen), piaskowce krynickie

(eocen), piaskowce z Piwnicznej (eocen), łupki z Hanuszowa (eocen) i piaskowce magurskie (popradzkie, eocen) (fig. 2, 3). Wymienione utwory tworzą pakiety naprzemianległych piaskowców o różnej miąższości ławic oraz łupków z dominującym udziałem piaskowców. Wyjątkiem są łupki z Hanuszowa wykształcone jako łupki pstre i cienkoławicowe piaskowce.

Osady czwartorzędowe pochodzenia rzecznoego są reprezentowane przez osady tarasów erozyjno-akumulacyjnych (plejstocen) oraz tarasów akumulacyjnych (holocen), w postaci żwirów, piasków i glin (fig. 2, 3).

Poza dolinami utwory fliszowe są pokryte zwietrzeliną (holocen), lokalnie deluwiami i koluwiami osuwiskowymi (plejstocen–holocen).

Z południowego zachodu na północny wschód przez omawiany obszar przebiegają dwie główne strefy uskoku – uskok Andrzejówki–Roztoki oraz Milika–Szcawnika. Poprzecznie do tych struktur zaznaczają się osie synklin oraz antyklin. Jedną z synklin, o ogólnym przebiegu osi z północnego zachodu na południowy wschód, jest zlokalizowana w rejonie Milika (fig. 2).

Na omawianym obszarze występują dwa piętra wodonośne – czwartorzędowe i paleogeńskie (fliszowe) (Porwisz i in., 1997; Chowaniec i in., 2014). Wody lecznicze są związane jedynie z fliszowym piętrem wodonośnym.

Wody podziemne w utworach fliszowych nie zalegają w typowych, litostratygraficznych poziomach wodonośnych. Związane są ze strefą przypowierzchniową fliszu, mocno zwietrzałą i spękaną, składającą się z odmiennych litologicznie skał różnego wieku. Strefa zawodniona tworzy nieciągły poziom wodonośny o zróżnicowanych cechach, jak np. pojemność czy przepuszczalność (Oszczypko i in., 1981; Chowaniec, 2009). Zasilanie poziomu fliszowego odbywa się przez bezpośrednią infiltrację opadów atmosferycznych na powierzchni obszaru badań, a także w niewielkim stopniu przez ascenzyjny dopływ wód. Miąższość strefy aeracji w utworach fliszowych wynosi przeważnie 5,0–20,0 m. W sąsiedztwie dolin rzecznych, na terenie występowania pstrych łupków, wynosi zazwyczaj poniżej 5,0 m, a w szczytowych partiach wzgórz, zbudowanych z piaskowców z Piwnicznej, może przekraczać 20,0 m. Na ogół obszary zawodnione nie tworzą układów izolowanych i dlatego wody podziemne w strefie aktywnej wymiany na omawianym obszarze mogą przemieszczać się z jednego ośrodka do drugiego. Na podstawie wyników z otworów wiertniczych oceniono, że głębokość strefy aktywnej wymiany w rejonie badań sięga do ok. 150,0–200,0 m p.p.t. (fig. 3). Głównym zbiornikiem wód leczniczych w granicach omawianego złoża są piaskowce z Piwnicznej (Chowaniec i in., 2014). Obszar występowania szczaw w strefie aktywnej wymiany pokazano na figurze 3.

CHARAKTERYSTYKA HYDROCHEMICZNA I IZOTOPOWA WÓD LECZNICZYCH

Badane wody lecznicze to szczawy zwykłe i wody kwasowęgłowe, różniące się zawartością jonów, m.in.: Mg^{2+} , Na^+ , Ca^{2+} , które decydują o typie hydrochemicznym wody. Podstawowe dane dotyczące wód leczniczych eksploatowanych na obszarze górniczym „Muszynianka” przedstawiono w tabeli 1.

Badania składu izotopowego wód leczniczych i zwykłych występujących na omawianym obszarze prowadzono od początku lat 80. XX w. (Ciężkowski, Zuber, 1995, 1997; Ciężkowski, 2002; Zuber, 2007). Uzyskane dotychczas rezultaty badań izotopowych pozwoliły rozdzielić badane wody na trzy grupy (fig. 4). Do pierwszej grupy (1) zaliczono wody z dominującym udziałem zasilania w okresie klimatu wyraźnie zimniejszego niż klimat współczesny (ujęcia: M-2, M-3, M-4, M-6, M-9 i A-5). W drugiej grupie (2) dominuje udział wód zasilanych w holocen w klimacie zbliżonym do współczesnego (ujęcia: M-8, K-1, A-1, A-2, A-3, A-4 oraz źródło „Na Głębokiem”). W trzeciej grupie (3) dominuje natomiast udział wody holocenijskiej, zasilanej w okresie nieco cieplejszym niż klimat współczesny (ujęcia M-5 i M-7). Mierzalne zawartości trytu w większości ujęć, z wyjątkiem M-3, M-5, M-6, M-7, M-9 i A-5, oznaczają domieszkę wód współczesnych, tzn. zasilanych po 1952 r., czyli po rozpoczęciu atmosferycznych prób z bronią termo-

jądrową. W drugiej grupie można ponadto wyróżnić dwie podgrupy, wynikające najprawdopodobniej z różnic w wysokości położenia obszaru zasilania lub z domieszki wody typowej dla pierwszej grupy.

Wody całkowicie współczesne (lub z domieszką składowej współczesnej) przedstawiono na figurze 4 na podstawie mierzalnych stężeń trytu. Natomiast wody zasilane w klimacie wyraźnie chłodniejszym niż klimat holocenu, tzn. przypuszczalnie pod koniec ostatniego zlodowacenia, wyróżniono bazując na składach izotopowych (m.in. otwory M-3 i M-9). Pokazane na figurze 4 składy izotopowe szczaw zwykłych na omawianym obszarze układają się wzdłuż światowej linii opadów (WMWL), co potwierdza infiltracyjny charakter tych wód.

Wszystkie badane ujęcia wykazywały napięte zwierciadło wody, co oznacza zasilanie na obszarach położonych zdecydowanie wyżej niż rzędne stropu warstwy wodonośnej.

Niskie stężenia chlorków wskazują na brak domieszki wody pochodzenia nieatmosferycznego, typowej na przykład w szczawach chlorkowych występujących poza obszarem badań. Wzrost mineralizacji jest związany zatem z oddziaływaniem woda–skała w obecności wysokich zawartości CO_2 (tab. 2) (Dowgiałło, 1980; Leśniak, 1980; Oszczypko, Zuber, 2002).

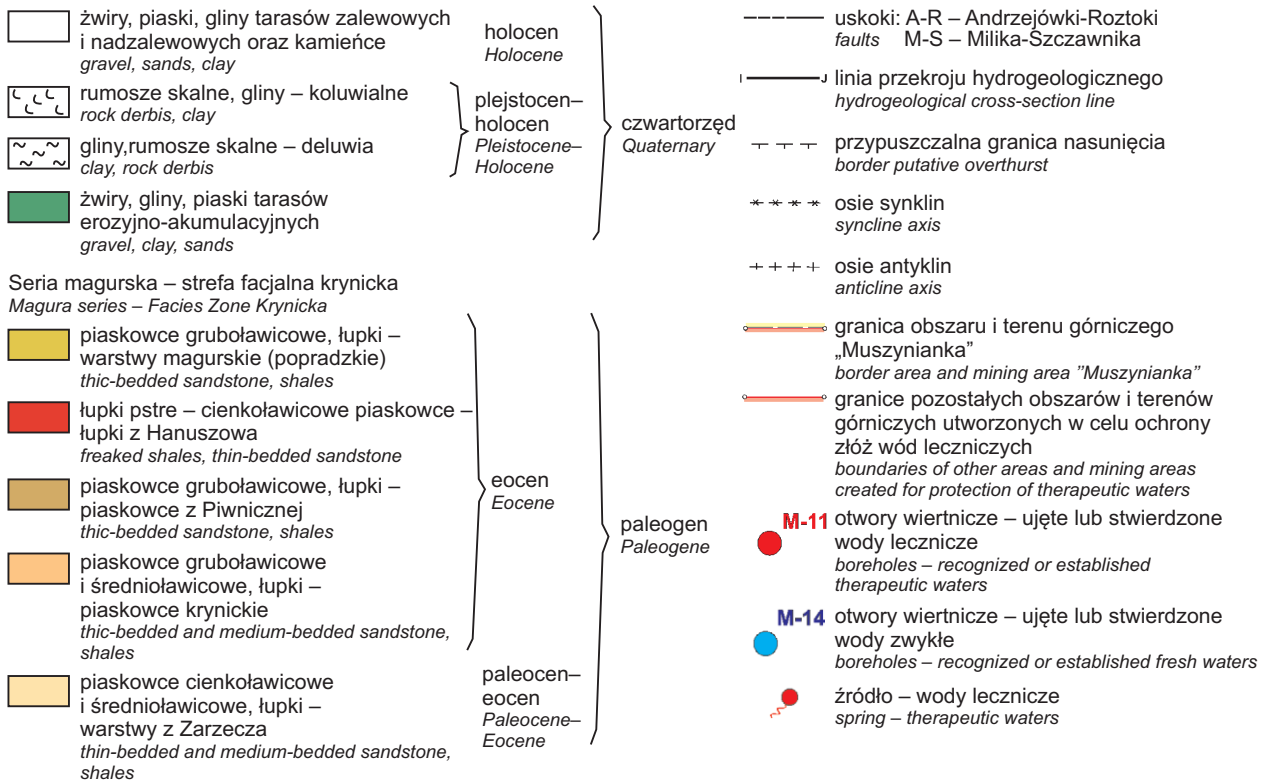
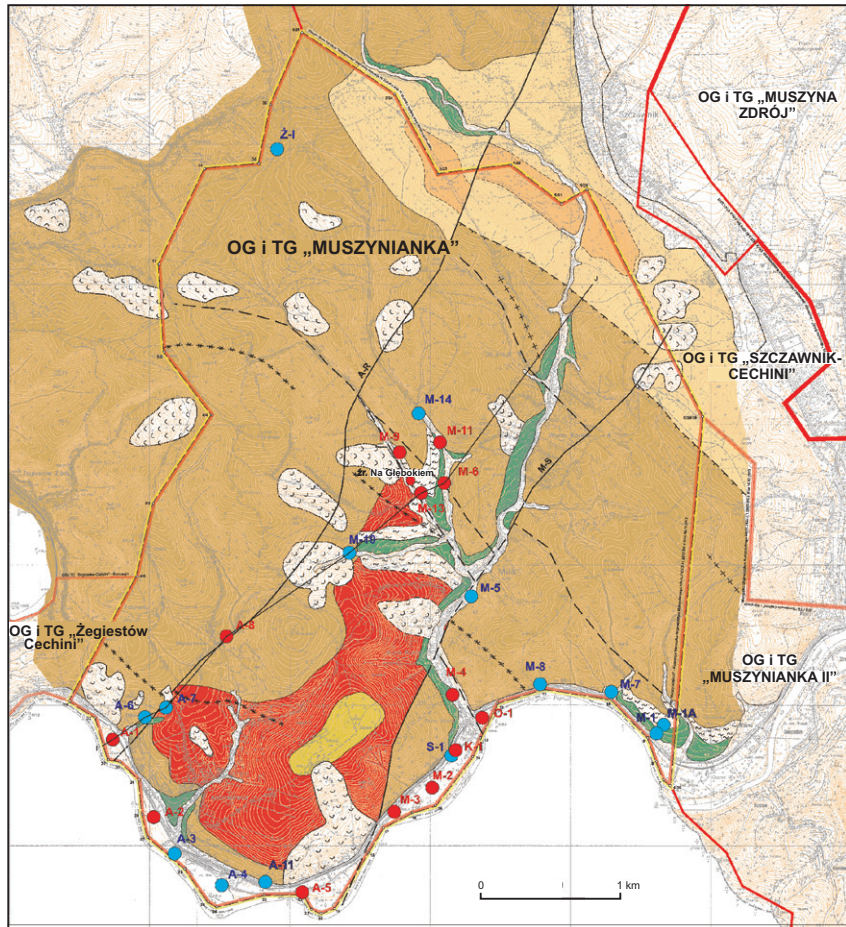


Fig. 2. Mapa geologiczna rejonu Milika i Andrzejówki (Chowaniec i in., 2014)

Geological map of the Milik and Andrzejówka area (Chowaniec *et al.*, 2014)

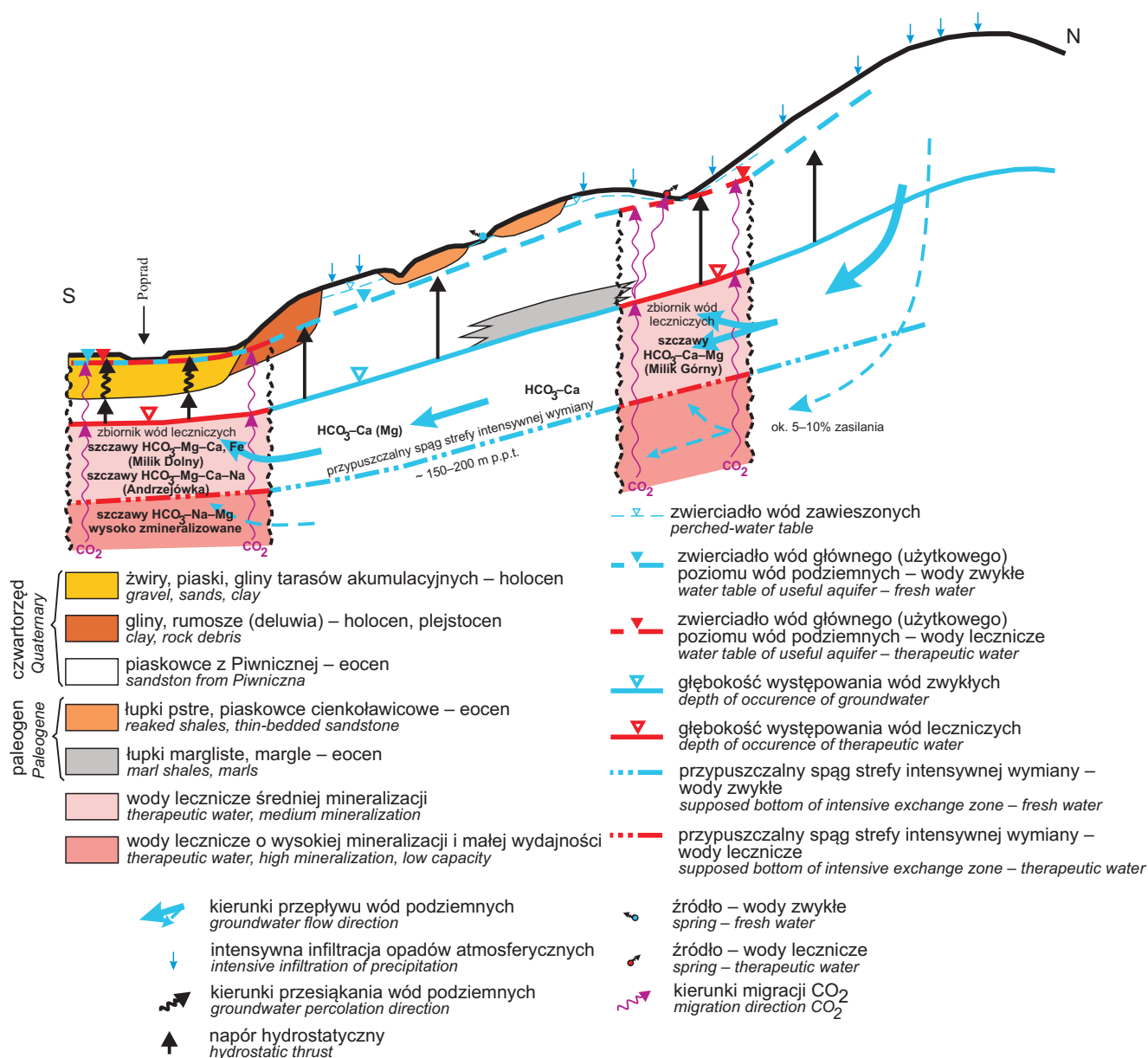


Fig. 3. Schemat ideowy (model konceptualny) występowania wód podziemnych w zlewni potoków Milik i Andrzejówka (Chowaniec i in., 2014)

Schematic diagram (conceptual model) of groundwater occurrence in the catchment areas of the Milik and Andrzejówka streams (Chowaniec *et al.*, 2014)

GENEZA WÓD I DWUTLENKU WĘGLA

Na obszarze Karpat szczawy powszechnie dzieli się na zwykłe i chlorkowe. Na powierzchni przejawy obu typów szczaw występują jedynie na obszarach z intensywnym dopływem CO₂ pochodzenia głębnego. Z pewnością w strefach uskokowych panowały szczególnie sprzyjające warunki dla wietrzenia skał i utworzenia się dolin rzecznych, takich jak dolina Popradu i niektórych dopływów tej rzeki, np. w rejonie Muszyny i Andrzejówki. Występowanie licznych spękań w strefach uskokowych sprzyja zarówno stosunkowo głębokiej penetracji wód opadowych, jak i mi-

gracji głębnego CO₂ ku powierzchni terenu, co jest decydujące w procesie tworzenia się szczaw, zwłaszcza w strefach aktywnej wymiany wody.

W drugiej połowie XX w. istniały różne poglądy na temat genezy intensywnych ekshalacji CO₂ biorącego udział w tworzeniu się szczaw. Przyjęto wówczas pogląd Świdzińskiego (1965) o wulkanicznym pochodzeniu tego gazu, tzn. z płaszcza Ziemi. Bardziej szczegółowe badania składu izotopowego węgla w CO₂ wykazały jego metamorficzne pochodzenie, zwłaszcza w rejonie Krynicy. Ponadto, bada-

Tabela 1

Eksploatowane ujęcia wód leczniczych na obszarze górniczym „Muszynianka” (Chowaniec i in., 2014)

Active wells of therapeutic waters in the “Muszynianka” mining area (Chowaniec *et al.*, 2014)

Nazwa ujęcia	Miejscowość	Rzędna terenu otworu [m n.p.m.]	Mineralizacja [g/dm ³]	Typ chemiczny wody	Zawartość CO ₂ [g/dm ³]
M-2	Milik	435,6	3,99	szczawa HCO ₃ -Mg-Ca	3,99
M-3	Milik	436,0	5,53	szczawa HCO ₃ -Mg-Ca, Fe	3,29
M-4	Milik	448,5	2,50	szczawa HCO ₃ -Ca-Mg	2,83
M-6	Milik	492,5	3,20	szczawa HCO ₃ -Ca, Fe	3,50
M-9	Milik	519,6	3,75	szczawa HCO ₃ -Ca-Mg, Fe	3,44
M-11	Milik	507,2	2,16	szczawa HCO ₃ -Ca-Mg	1,95
M-13	Milik	494,6	2,50	szczawa HCO ₃ -Ca, Fe	3,45
K-1	Milik	438,5	2,40	szczawa HCO ₃ -Ca-Mg	3,28
O-1	Milik	438,4	2,20	szczawa HCO ₃ -Ca-Mg	2,33
A-1	Andrzejówka	429,2	2,30	kwasowęglowa HCO ₃ -Mg-Na-Ca	0,77
A-5	Andrzejówka	434,1	4,90	szczawa HCO ₃ -Na-Mg	2,80
A-8	Andrzejówka	522,5	1,33	kwasowęglowa HCO ₃ -Ca, Fe	0,67

Tabela 2

Dane izotopowe, mineralizacja i stężenie Cl⁻ wód Milika i Andrzejówki oraz średnia wysokość obszaru zasilania w m n.p.m. (Porwisz i in., 2007; Chowaniec i in., 2014)

Isotopic data, mineralization and concentration of Cl⁻ waters in Milik and Andrzejówka the average height of recharge area in m.a.s.l. (Porwisz *et al.*, 2007; Chowaniec *et al.*, 2014)

Lp.	Nazwa ujęcia	Data	δ ¹⁸ O [‰]	δ ² H [‰]	Tryt TU	Min. [mg/l]	Cl ⁻ [mg/l]	H(δ ¹⁸ O) H(δ ² H) [m n.p.m.]
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Wody lecznicze								
1.	M-2	19.04.06	-11,04	-79,4	2,9 ±0,3	3613	7,1	$\frac{1020(?)}{1250(?)}$
2.	M-3	06.12.03	-11,42	-84,9 -83,6	0,3 ±0,3	5838	10,3	-
3.	M-4	06.12.03	-11,10	-80,0 -81,2	1,1 ±0,3	6239	12,4	$\frac{1100(?)}{1330(?)}$
		11.02.14	-10,53	-76,4	4,7 ±0,4	2505	7,09	-
4.	M-6	02.12.04	-11,30	-76,4 -76,7	0,1 ±0,4	3752	7,1	$\frac{1180(?)}{1000(?)}$
		29.10.14	-11,44 -11,49	-81,5	0,1 ±0,3	3272	2,2	-
5.	M-9	02.12.04	-12,28	-87,5 -87,5	0,2 ±0,3	3805	12,4	-
		29.10.14	-12,20 -12,20	-87,2 -88,6	0,1 ±0,3	3750	1,8	-
6.	M-11	23.09.13	-11,94	-86,5	0,7 ±0,4	2095	7,09	-
		29.10.14	-11,92 -11,94	-87,0	0,0 ±0,3	2156	3,2	-
7.	M-13	12.11.13	-11,26	-80,7	0,3 ±0,4	2998	8,86	-
		29.10.14	-11,02 -11,01	-79,0	1,4 ±0,4	2503	2,2	-

Tabela 2 cd.

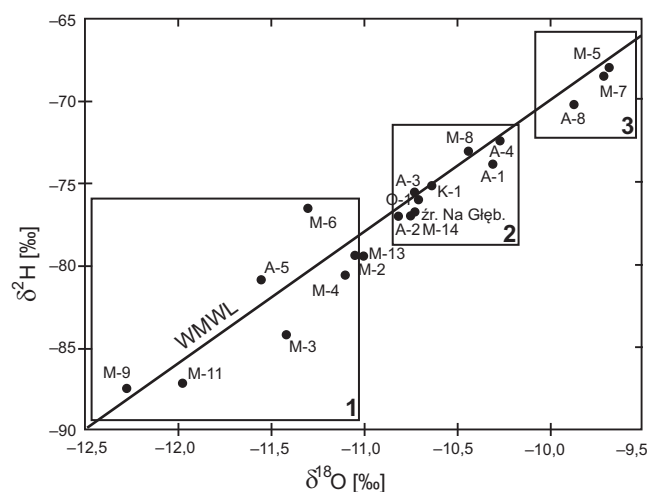
1	2	3	4	5	6	7	8	9
8.	K-1	19.04.06	-10,63	-75,5 -74,8	5,7 ±0,3	7196	0,78	$\frac{800}{900}$
		11.02.14	-10,60	-75,3	7,6 ±0,3	2403	17,73	–
9.	O-1	11.02.14	-10,73	-77,0	5,0 ±0,4	2200	10,64	–
10.	A-1	19.04.06	-10,30	-73,7 -73,9	1,3 ±0,3	1881	7,2	$\frac{600}{700}$
11.	A-2	19.04.06	-10,81	-77,0 -77,3	3,4 ±0,3	2850	2,9	$\frac{900}{1030}$
12.	A-5	19.04.06	-11,55	-80,9	0,0 ±0,3	4934	3,6	$\frac{1300(?)}{1380(?)}$
13.	A-8	26.02.14	-9,86	-70,8	0,0 ±0,3	1336	3,55	–
		29.10.14	-9,86 -9,83 -9,85	-70,3	0,0 ±0,3	1327	3,6	–
Wody zwykłe								
14.	M-1A	12.11.13	-10,19	-75,5	5,5 ±0,3	515	5,32	–
15.	M-5	20.05.04	-9,67	-68,4	0,0 ±0,5	825	3,6	$\frac{250(?)}{150(?)}$
			-9,67 -9,65	-67,4				
16.	M-7	06.12.03	-9,70	-68,3 -68,7	0,3 ±0,3	650	3,6	$\frac{270(?)}{270(?)}$
17.	M-8	20.05.04	-10,47	-72,9	10,4 ±0,3	430	1,8	$\frac{680}{700}$
			-10,45 -10,41 -10,36	-73,2				
18.	M-14	21.10.13	-10,45	-73,8	2,8 ±0,4	533	7,09	–
		29.10.14	-10,76 -10,70	-76,7	1,9 ±0,3	505	2,4	–
19.	A-3	19.04.06	-10,72	-75,3 -75,9	4,8 ±0,3	622	3,6	$\frac{880}{980}$
20.	A-4	19.04.06	-10,26	-72,4	6,9 ±0,3	5801	3,8	$\frac{600}{650}$
Źródło – szczawa								
21.	Na Głębokiem (nr 156)	21.06.95	-10,5	-76	23,9 ±1,2	ok. 1100	–	$\frac{900}{980}$
		12.11.95	-10,7	-76	21,4 ±1,0			
		20.01.01	-10,7	-75	14,9 ±1,5			
		16.03.02	-10,8	-77	n.m.			

Niepewność oznaczeń wynosi $\pm 0,1\%$ dla $\delta^{18}\text{O}$ oraz $\pm 1\%$ dla $\delta^2\text{H}$ (poj. odchylenie standardowe, $\pm 1\sigma$). Dane z 1995 r. wg Ciężkowskiego i in. (1996), pozostałe dane wg Zakładu Górniczego „Muszynianka”

Uncertainty of determinations is $\pm 0,1\%$ for $\delta^{18}\text{O}$, and $\pm 1\%$ for $\delta^2\text{H}$ (single standard deviation, $\pm 1\sigma$). Data from 1995 acc. to Ciężkowski *et al.* (1996), the other data acc. to Zakład Górniczy „Muszynianka”

Fig. 4. Składy izotopowe wód podziemnych Milika i Andrzejówki na tle światowej linii opadów (WMWL) z podziałem na wody zasilane w klimacie zimnym (1), klimacie współczesnym (2) i w cieplejszym okresie holocenu (3) (Chowaniec i in., 2014)

The isotopic compositions of the Milik and Andrzejówka groundwater against the background of the World Meteoric Water Line (WMWL) with subdivision into the water supplied in cold climate (1), modern climate (2) and a warmer Holocene period (3) (Chowaniec *et al.*, 2014)



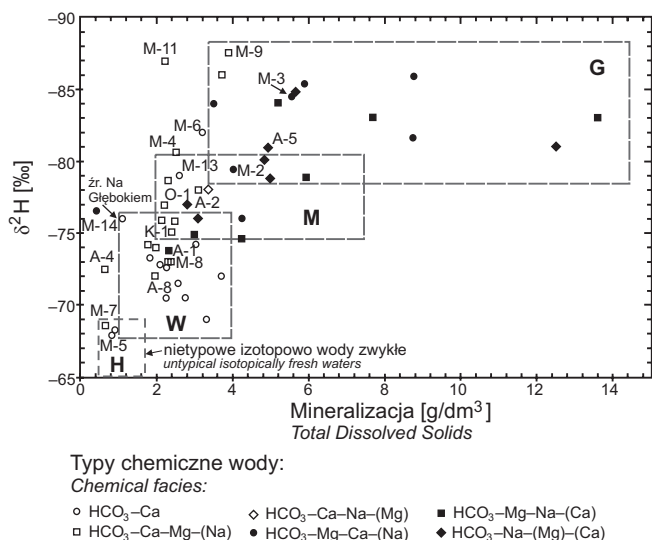


Fig. 5. Wykres zależności mineralizacji od typowych składów izotopowych szczaw zwykłych Karpat fliszowych (Chowaniec i in., 2014 oraz wg danych z prac cytowanych w tekście)

Mineralization against the typical isotopic composition of regular carbonated water in the Flysch Carpathians (Chowaniec *et al.*, 2014 and after papers cited therein)

nia składu izotopowego helu wykazały bardzo niski udział magmowego helu i to tylko w niektórych szczawach, co także zaprzecza hipotezie magmowego pochodzenia CO_2 , z którym taki hel powinien razem wędrować. Z wyników badań izotopowych wynika, że szczawy polskich Karpat fliszowych są formowane na obszarach metamorfizmu skał węglanowych, który zachodzi w głębokim podłożu fliszu, a powstające CO_2 wędruje ku powierzchni dzięki strefom uskoku (Leśniak, Węclawik, 1984; Duliński, 1999).

PODSUMOWANIE

Wieloletnie badania składu izotopowego wód rejonu Milika i Andrzejówki, a także pochodzenia dwutlenku węgla, mającego bezpośredni związek z wodami leczniczymi Karpat fliszowych, pozwalają na opracowanie schematu ideowego genezy i występowania wód leczniczych na omawianym terenie doliny Popradu. Wyróżniono tu dwa systemy krążenia wód – system lokalny i system regionalny (fig. 3).

System lokalny jest związany z płytkim krążeniem wód (do głębokości ok. 200 m p.p.t.). Wody infiltrujące z opadów migrują tu głównie lateralnie, wykorzystując przypowierzchniowe zeszcelinowane strefy wodonośne, które są drenowane przez lokalne ciekły powierzchniowe. W systemie tym dominują wody o niskiej mineralizacji (wody zwykłe).

Szczawy zwykle to młode lub relatywnie młode wody infiltracyjne, których składniki chemiczne są wynikiem oddziaływania woda–skała w zwiększonej obecności CO_2 .

Znaczne różnicowania składów izotopowych wzdłuż światowej linii opadów wynikają głównie z dwóch powodów. Po pierwsze, z tzw. efektu wysokościowego, który jednak w rejonie badań nie daje dobrego odwzorowania wysokości, najprawdopodobniej wskutek dużego różnicowania udziału opadów letnich i zimowych w poszczególnych ujęciach (Ciężkowski, Zuber, 1995). Drugim istotnym czynnikiem jest wpływ długookresowych zmian klimatu, a w szczególności możliwość występowania wód zasilanych w końcowym etapie ostatniego zlodowacenia, czyli w okresie znacznie chłodniejszym niż klimat holocenu (Ciężkowski, Zuber, 1997). Glacjalny wiek tych wód wiąże się z wartościami $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ tak bardzo ujemnymi, że trudno je przypisać efektowi wysokościowemu (fig. 4, 5).

W przypadku zanegowania hipotezy glacjalnego wieku tych wód i przyjęcia zasilania wód o tak ujemnych wartościach $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ na dużej wysokości, otrzymuje się również wydłużone drogi przepływu, co prowadzi do bardzo długiego czasu oddziaływania woda–skała, czego wynikiem jest wysoka mineralizacja (fig. 5). Podobne wody występują nie tylko na badanym obszarze, lecz również poza nim, w dolinie Popradu i w dolinach niektórych jego dopływów, jak np. w dolinie Muszynki (otwory: IN-1, IN-2 i IN-3) i Szczawnika (otwór Z-I) (Chowaniec, 2009). Na uwagę zasługują wody ujęte otworem M-11, które pomimo znacznie ujemnych wartości $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$, charakteryzują się stosunkowo niską mineralizacją w porównaniu z podobnymi wodami glacjalnymi. W efekcie prowadzonych od lat badań nad wiekiem i genezą wód obszaru Milika i Andrzejówki, można przypuszczać, że taka sytuacja jest wynikiem znacznie późniejszego dopływu strumienia agresywnego CO_2 w rejon otworu M-11 niż np. otworu M-9.

System regionalny obszary zasilania posiada głównie na wierzchołkach wzniesień. Wody infiltrujące z opadów w tym rejonie spływają lateralnie, uczestnicząc w najbliższym systemie lokalnym. Częściowo jednak przenikają wertykalnie do głębszych części stref wodonośnych, a następnie ascenzyjnie kierują się do stref drenażowych, którymi zazwyczaj są doliny głównych cieków. Przepływ w systemie regionalnym jest powolny i długotrwały, trwa od kilkudziesięciu do nawet kilkuset tysięcy lat (w skrajnych przypadkach). W tych warunkach wody mogą osiągnąć wyższe mineralizacje, szczególnie w strefach migracji CO_2 z głębszego podłoża. Tak ukształtowane wody systemu regionalnego w strefach drenażu mieszają się z wodami płytkiego krążenia (systemu lokalnego). Udział wód systemu głębokiego krążenia stanowi 5–10% wielkości zasilania (Chowaniec i in., 2014) (fig. 3).

LITERATURA

- CHOWANIEC J., 2009 — Studium hydrogeologii zachodniej części Karpat polskich. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **434**.
- CHOWANIEC J., FREIWALD P., GAĞULSKI T., GORCZYCA G., MICHALSKI A., OPERACZ T., PATORSKI R., SZKLARCZYK T., BUSZTA K., 2014 — Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych (leczniczych i zwykłych) w obrębie zlewni potoków Milik i Andrzejówka. Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa.
- CHRZAŚTOWSKI J., NESCIERUK P., WÓJCIK A., 1991 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000, arkusz Muszyna (1052). Polska Agencja Ekologiczna SA, Warszawa.
- CHRZAŚTOWSKI J., NESCIERUK P., WÓJCIK A., 1993 — Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000, arkusz Muszyna (1052). Polska Agencja Ekologiczna SA, Warszawa.
- CIEŻKOWSKI W., ZUBER A., 1995 — Stabilne izotopy tlenu i wodoru w zwykłych wodach podziemnych centralnej części Karpat polskich. *W: Współczesne problemy hydrogeologii: 245–250*. Wydaw. Profil, Kraków.
- CIEŻKOWSKI W., ZUBER A., 1997 — Wstępne dane o wodach glacialnych w niektórych ujęciach wód leczniczych Beskidu Sądeckiego. *W: Współczesne problemy hydrogeologii: 327–329*. Wydaw. WIND, Wrocław.
- CIEŻKOWSKI W., DULIŃSKI M., JÓZEFKO I., KIELCZAWA B., LIBER-MADZIARZ E., WITCZAK S., ZUBER A., ŻAK S., 2002 — Występowanie, dokumentowanie i eksploatacja endogenicznego dwutlenku węgla w Polsce. Wrocławskie Towarzystwo Naukowe, Wrocław.
- CIEŻKOWSKI W., DOKTOR S., GRANICZNY M., IZYDORSKA A., JÓZEFKO I., KOZŁOWSKI J., LIBER-MADZIARZ E., MATEŃKO T., PORWISZ B., PRZYLIBSKI T., TEISSEYRE B., WIŚNIEWSKA M., ZUBER A., 1996 — Próba określenia obszarów zasilania wód leczniczych pochodzenia infiltracyjnego w Polsce na podstawie badań izotopowych. *Arch. Zakładu Badawczo-Usługowego „Zdroje”*, Wrocław.
- DOWGIAŁŁO J., 1980 — Poligenetyczny model karpackich wód chlorkowych i niektóre jego konsekwencje. *W: Współczesne problemy hydrogeologii: 275–290*. Wydaw. UW, Warszawa.
- DULIŃSKI M., 1999 — Problem składu izotopowego dwutlenku węgla w wodach leczniczych Krynicy. *Prz. Geol.*, **47**: 567–570.
- GAĞULSKI T., 2014 — Charakterystyka hydrochemiczna wód podziemnych Beskidu Sądeckiego. *Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiectus*, **134**: 65–75.
- KLECZKOWSKI A.S. (red.), 1990 — Mapa obszarów Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony. Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej. Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.
- KONDRACKI J., 2009 — Geografia regionalna Polski. Wydaw. Nauk. PWN., Warszawa.
- LEŚNIAK P.M., 1980 — The origin of the chloride waters at Wysowa, West Carpathians – chemical and isotopic approach. *Acta Geol. Pol.*, **30**: 519–550.
- LEŚNIAK P.M., WĘCŁAWIK S., 1984 — Zbiorniki tzw. szczaw z płaszczowiny magurskiej jako otwarty względem CO₂ system wód podziemnych (polskie Karpaty fliszowe). *Prz. Geol.*, **11**: 591–595.
- OSZCZYPKO N., ZUBER A., 2002 — Geological and isotopic evidence of diagenetic waters in the Polish Flysch Carpathians. *Geol. Carpath.*, **53**, 4: 1–13.
- OSZCZYPKO N., CHOWANIEC J., KONCEWICZ A., 1981 — Wodonośność piaskowców magurskich w świetle badań wodochłonności. *Roczn. Pol. Tow. Geol.*, **51**: 273–303.
- PORWISZ B., MAĐRY J., OPERACZ T., 1997 — Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Muszyna (1052). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PORWISZ B., RADWAN J., DULIŃSKI M., ZUBER A., SZAREK W., 2007 — Projekt prac geologicznych dla ustalenia zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych (leczniczych i zwykłych) w obrębie zlewni potoków Milik i Andrzejówka. Zespół Usług Hydrogeologicznych s.c., Kraków.
- ŚWIDZIŃSKI H., 1965 — Naturalne ekshalacje dwutlenku węgla w Karpatach polskich. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, **35**, 4: 417–427.
- WITEK K., GAĞULSKI T., PATORSKI R., 2013 — Dokumentacja hydrogeologiczna określająca warunki hydrogeologiczne w związku z ustanowieniem obszarów ochronnych Głównego Zbiornika Wód Podziemnych nr 438 warstw Magura (Nowy Sącz). Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa.
- ZUBER A. (red.), 2007 — Metody znacznikowe w badaniach hydrogeologicznych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- ŻYTKO K., 1999 — Korelacja głównych strukturalnych jednostek Karpat Zachodnich i Wschodnich. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, **168**: 135–164.

SUMMARY

The study area is located within the Beskid Sądecki Mts, in the Poprad River valley, near the villages of Milik and Andrzejówka. In the study area, there are two aquifers: Quaternary and Palaeogene. The study deals with therapeutic water in the Palaeogene aquifer, which co-occurs with fresh water.

The study area hosts therapeutic water of HCO₃–Mg–Na–Ca; HCO₃–Ca, Fe types and carbonated water of HCO₃–

Na–Mg–Ca; HCO₃–Na–Mg; HCO₃–Mg–Ca; HCO₃–Mg–Ca, Fe; HCO₃–Ca–Mg, Fe; HCO₃–Ca–Mg and HCO₃–Ca, Fe types, all containing carbon dioxide. There is a hydrochemical vertical zonation expressed by an increase in mineralization with depth.

Chemical and isotopic studies of groundwater have been performed for many years, and resulted in categorising these waters into three groups. The first group includes water with

a dominant supply during a period of distinctly colder climate than the present-day one (wells: M-2, M-3, M-4, M-6, M-9 and A-5). In the second group the prevalent water was supplied during various periods of the Holocene under modern-like climate conditions (wells: M-8, K-1, A-1, A-2, A-3, A-4 and the „Na Głębokiem” spring). In the third group the dominant water was supplied under Holocene climate conditions slightly warmer than the present climate (wells: M-5 and M-7). The measurable content of tritium in most of the wells, except for M-3, M-5, M-6, M-7, M-9 and A-5, points to an admixture of contemporary water, i.e. recharged after 1952 that is after the start of atmospheric tests of thermonuclear weapons.

The presence of numerous cracks in the fault zones is favourable for both the relatively deep infiltration of meteoric water, as well as the migration of CO₂ from the deep towards the ground surface. It is a decisive factor in the process of creating carbonated water, especially in areas of active water exchange.

Summing up the results of many years' studies of the isotopic composition of groundwater in the Milik and Andrzejówka region and the origin of carbon dioxide, an attempt of developing a schematic diagram of occurrence and formation of therapeutic water in the Poprad River Valley was undertaken. In this region, we can distinguish two water circulation systems: the local system (shallow circulation) and the regional system (deep circulation).