



Występowanie i reżim źródeł szczaw i wód kwasowęglowych w zlewni górnej Muszynki

Sebastian Buczyński¹, Magdalena Modelska¹, Marek Wcisło¹



S. Buczyński



M. Modelska



M. Wcisło

Occurrence and regimes of carbonated waters and carbonic acid water in the upper Muszynka River basin. Prz. Geol., 65: 23–31.

Abstract. CO₂-rich springs are the natural treasure of the Polish Carpathians, including the research region (ca. 11.5 km²) of the Muszynka River basin, located in the areas of Tylicz-Spa and Krynica-Spa with developed mineral water industry. Previous investigations suggest that springs are partially vanishing or their hydrochemical and hydrodynamic regime is disturbed. To clear this problem, the authors analyzed periodical or stationary measurements made in the course of documenting, water producer operation, and own observations within a period of good data availability (1973–2014) for CO₂-rich springs. The springs investigated in the Tylicz

region are characterized by a variable and strongly time-dependent CO₂ content (ranging from 352 mg/dm³ to 3 g/dm³). The discharge is relatively low and rarely exceeds 0.05 dm³/s. The research results show disappearance of two springs (T-10 and T-15) within the period of interest. Massive floods (in 1997, 1998, 2002–2004, 2010) are indicated as the probable main reason. In another three springs (T-13, T-14, T-17) the CO₂ content dropped below 250 mg/dm³. The stationary measurements of two springs (Zdrój Główny and Bradowiec in Tylicz) allow concluding about poor correlation between investigated parameters (temperature, pH, CO₂ content, electrical conductivity) and apparent influence of meteorological agents. Potential anthropogenic agents (borehole discharge, digging works) probably do not influence the CO₂-rich spring regime or it has not been detected yet.

Keywords: springs, CO₂-rich water, Carpathians, Tylicz

Znajomość reżimu źródeł stanowi jeden z ważniejszych elementów, które umożliwiają rozpoznanie warunków hydrogeologicznych obszaru. Już sama obecność wpływów była do niedawna najważniejszym wskaźnikiem świadczącym o dużej zasobności wodnej, a i dziś na terenach górskich, gdzie one występują powszechnie, odgrywa istotną rolę przy jej ocenie (Jokiel, 2007). Wieloletnie badania źródeł pozwalają również obserwować zmiany zachodzące w środowisku wód podziemnych i prześledzić zjawiska przyrodnicze w cyklu sezonowym, rocznym lub wieloletnim. Badania takie są prowadzone w różnych krajach od wielu lat (Moniewski, 2015), a na ich podstawie wnioskuje się o zmianach reżimu, stanu, współoddziaływania i zaniku źródeł (Pulido-Bosch i in., 1995; Baścik i in., 2001; Chełmicki, 2001; Liber, 2001, 2007; Liber-Markowska, 2011; Siwek & Baścik, 2013), obszarów zasilania, dróg przepływów i ich wydajności charakterystycznych (Humnicki, 2007; Gargini i in., 2014) lub czynników i procesów, które kształtują właściwości fizykochemiczne wód (Siwek, 2004). Niepokojącym zjawiskiem, na które zwraca uwagę m.in. Jokiel (2007) czy Chełmicki (2001), jest wysychanie źródeł. Wieloletnie badania krenologiczne wskazują na naturalny fakt istnienia źródeł okresowych (meteorycznych) lub, co bardziej niepokojące, na zanik źródeł. Problem ten występuje nie tylko na terenach zurbanizowanych, ale również na obszarach quasi-naturalnego krajobrazu (Jokiel, 2007). Sygnały o procesie wysychania źródeł dochodzą również ze zlewni Krynicy i Muszynki w Beskidzie Sądeckim (Ciężkowski i in., 2001; Buczyń-

ski i in., 2007; Rajchel, 2012a). Autorzy tych prac sugerują, że jest to prawdopodobnie związane z czynnikami naturalnymi lub prowadzoną w ostatnich latach intensywną eksploatacją wód na tym obszarze.

Do czynników naturalnych, które mogą mieć wpływ na wysychanie (zanik) źródeł, należy obserwowany i prognozowany wzrost częstotliwości zdarzeń ekstremalnych. Odwzorowania zmian klimatu i oraz modelowe zestawienia temperatury i opadu przeprowadzone na obszarze Polski wskazują, że istnieje szereg zagrożeń związanych z nasilaniem się zjawisk takich jak: fale upałów, intensywne opady atmosferyczne czy susze (Starkel & Kundzewicz, 2008). W raporcie opublikowanym przez Międzynarodowy Zespół ds. Zmian Klimatu podano, że konsekwencją wzrostu temperatury będą m.in. zmiany rozkładu opadów atmosferycznych (Sadowski, 2001). Spełnienie tych prognoz będzie bardzo niekorzystne dla środowiska, ponieważ mogą częściej występować nawalne deszcze oraz dzielące je długotrwałe, choć nieregularne okresy bezopadowe. Będzie to skutkowało obniżeniem zasobów wodnych na obszarach górskich w południowej Polsce (Kostuch, 2003; Buczyński & Wcisło, 2013). Również Górski i Przybyłek (1997) twierdzą, że niekorzystnym zjawiskiem kontynentalizmu w Polsce jest zwiększenie opadów w okresie zimowym i ich spadek latem. Może to mieć bardzo duży wpływ na niedobór ilości wody podziemnej w okresie letnich susz. Analiza danych meteorologicznych z Małopolski oraz z sąsiadującego z obszarem badań basenu karpackiego (Kotliny Panońskiej) dowodzi wzrostu indeksu HWDI

¹ Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, pl. Maksy Borna 9, 50-204 Wrocław; sebastian.buczynski@uwr.edu.pl.

(częstości i czasu trwania oraz intensywności fal ciepła). Jednocześnie obserwuje się zwiększenie ilości opadów ulewnych z jednoczesnym wydłużaniem się okresów bezopadowych i spadkiem liczby dni z opadami poniżej 5 mm (Łupikaszka & Bielec-Bąkowska, 2005; Bartholy & Pongrácz, 2007).

Długie okresy bezopadowe, fale ciepła czy występowanie ulew nie sprzyjają infiltracji wód opadowych, co może powodować zanik źródeł o małych wydajnościach. Z drugiej strony występowanie stanów powodziowych powoduje zmiany naturalnego układu krążenia wód podziemnych. Powstaje nowa skomplikowana hydrodynamicznie i hydrochemicznie równowaga, która może wpłynąć na zmianę reżimu źródeł szczaw i wód kwasowęglowych (Buczynski i in., 2007; Rajchel, 2012a). W zlewni górnej Muszynki źródła szczaw i wód kwasowęglowych, ze względu na położenie morfologiczne (Dynowska & Tlałka, 1982), są często źródłami tarasowymi lub przykorytowymi. Lokalizacja ta powoduje, że po powodzi może dojść do zaniku wypływów w wyniku zmiany nurtu cieku, skarpy brzegowej lub obniżenia bazy drenażu.

Z kolei przykłady udokumentowanego wyraźnego wpływu czynników antropogenicznych na zmiany wydajności i jakości wód leczniczych dotyczą przeciekania wód z rurociągu wodociągowego, który przebiega powyżej Zdroju Głównego w Krynicy. Jego awarie z lat 1974, 1998 i 1979–1989 doprowadzały do wzrostu wydajności i demineralizacji wód w źródle. Mniej wyraźne oddziaływanie czynników antropogenicznych zaobserwowano również w przypadku źródła Jan i Józef. Prowadzona w sąsiedztwie źródeł regulacja potoku Palenica doprowadziła do tymczasowego spadku ich wydajności w latach 1996–1998 (Ciężkowski, 2007). Innymi czynnikami antropogenicznymi, które wpływały na zniszczenie lub zaburzenie wypływów szczaw i wód kwasowęglowych, były prace ziemne, drenaż wód zwykłych lub rozwój obiektów do uprawiania sportów zimowych (Ciężkowski, 2007; Rajchel, 2012a). W rejonie Tylicza kilka wypływów zostało zlikwidowanych (2) lub zniszczonych (1) w wyniku prac ziemnych prowadzonych np. w ramach regulacji potoku Bradowiec (Porwisz i in., 1998). Do tej pory w rejonie Tylicza, w przeciwieństwie do obszaru Sudetów (Ciężkowski, 2007), nie zaobserwowano wpływu eksploatacji wód studniami na zanik lub spadek wydajności źródeł szczaw i wód kwasowęglowych. Ten złożony proces wymaga jednak kompleksowych badań i długotrwałych obserwacji stacjonarnych.

W Karpatach wody szczaw i wód kwasowęglowych są udostępnione w 25 miejscowościach – 73 źródła i 153 odwierty. Wody te występują w sześciu rejonach, stanowiąc naturalne bogactwo Karpat (Rajchel, 2007, 2012a, b). Źródła szczaw i wód kwasowęglowych będąc obiektami atrakcyjnymi turystycznie oraz w wielu przypadkach punktami objętymi prawną ochroną, jako pomniki przyrody nieożywionej, zasługują na szczególną uwagę (Rajchel & Rajchel, 1999; Baścik & Urban, 2007; Chowaniec & Freiwald, 2010; Porwisz, 2013). Wartość przyrodnicza oraz stosunkowo bogaty zbiór danych archiwalnych stały się przyczynkiem do przeanalizowania stanu źródeł szczaw i wód kwasowęglowych występujących w rejonie Tylicza. Oprócz wytypowania źródeł, w których stwierdzono zanik wypływu, przeanalizowano również reżim wydajności i wskaźników fizyko-chemicznych wód na wypływie (temperatury, odczynu, przewodności elektrolitycznej właściwej, zawartości CO₂). Problematyka ta wpisuje się w badania kreno-

logiczne wód zwykłych i mineralnych prowadzone na obszarach Polski południowej.

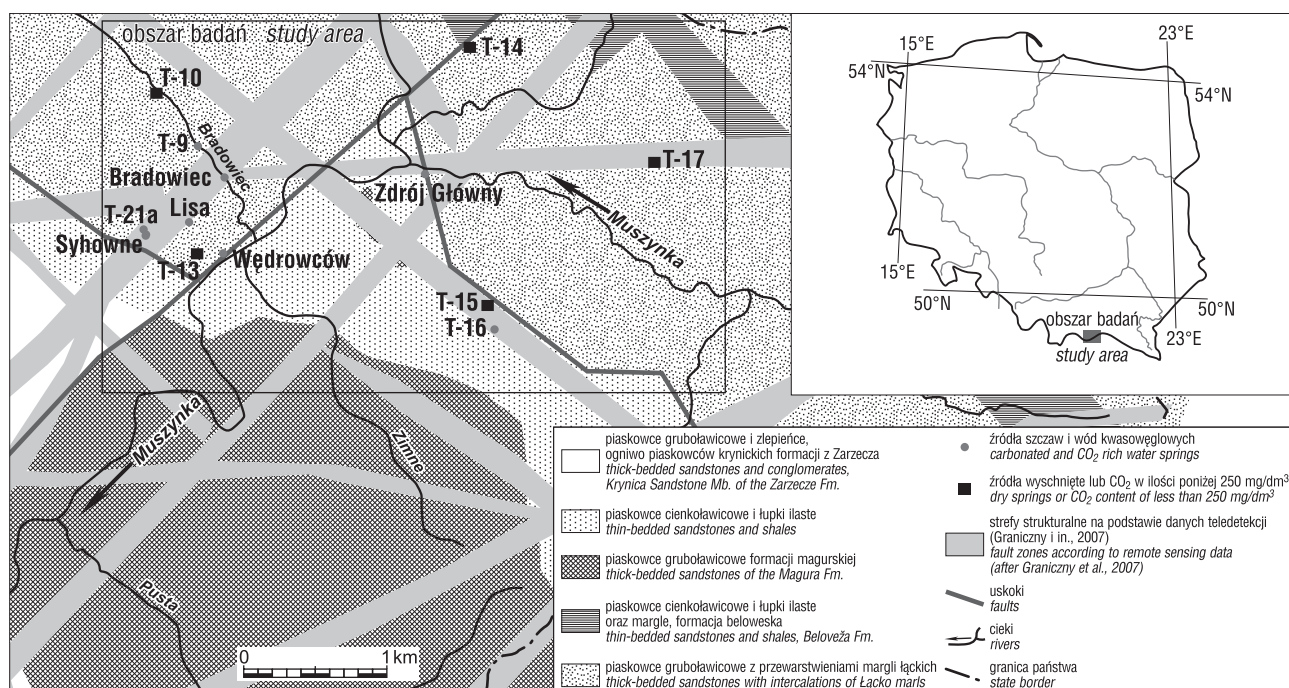
CEL PRACY

Celem pracy była dokumentacja terenowa występowania oraz stanu źródeł szczaw i wód kwasowęglowych na podstawie danych archiwalnych pochodzących z dokumentacji hydrogeologicznych, opracowań dla przemysłu i monografii. Zestawienie wyników archiwalnych (okresowych) oraz badań własnych pozwoliło wytypować ewentualne miejsca zaniku wypływów oraz określić zmiany reżimu wydajności i parametrów fizyko-chemicznych wód (temperatury, odczynu, przewodności elektrolitycznej właściwej – PEW, zawartości CO₂) w źródłach obserwowanych w okresie ostatnich 40–50 lat. Dodatkowo reżim źródła Zdrój Główny i Bradowiec scharakteryzowano na podstawie ciągłych (cotygodniowych) obserwacji z wielolecia 1993–2014.

OBSZAR BADAŃ

Obszar badań jest położony w południowej Polsce, w województwie małopolskim, w gminie Krynica-Zdrój (ryc. 1). Badaniami objęto źródła położone w zlewni górnej Muszynki, ich wody wg analiz archiwalnych wykazywały zawartość CO₂ powyżej 250 mg/dm³. Teren badań to 11,5 km², obejmował on m.in. centralną część obszaru górniczego „Tylicz I”, wg Kondrackiego (2002) jest on w całości położony w Zewnętrznych Karpatach Zachodnich, makroregionie Beskid Zachodni i mezoregionie Beskid Sądecki. Pod względem geologicznym omawiany teren południowo-wschodnią część płaszczowiny magurskiej i charakteryzuje się on blokowo-fałdową budową oraz obecnością uskokuw zrzutowo-przesuwczych. W zlewni górnej Muszynki można wyróżnić trzy jednostki zbudowane z utworów fliszowych: bystrzycką, krynicką oraz tylicką (Oszczypko & Oszczypko-Clowes, 2010). Jednostka bystrzycka kontaktuje z utworami jednostki krynickiej na linii inwersyjnego uskoku (dyslokacji krynickiej) zapadającego na NE (Oszczypko i in., 1999), natomiast jednostka tylicka została opisana przez Węclawika (1969) jako facjalna strefa przejściowa pomiędzy strefami bystrzycką i krynicką. Strefa bystrzycka i tylicka jest zbudowana z piaskowców (niekiedy wapnistych), łupków i margli należących do formacji z Łabowej, belowskiej, żeleźnikowej i magurskiej. Strefa krynicka to osady formacji szczawnickiej, zarzeckiej oraz magurskiej wykształconych w postaci łupków, piaskowców grubo-, cienko- i średnioławicowych oraz zlepieńców (Oszczypko & Oszczypko-Clowes, 2010) (ryc. 1). Wody kwasowęglowe i szczawy z rejonu Tylicza należą do płytkich wód szczelinowych i szczelinowo-porowych o głębokości krążenia najczęściej rzędu kilkudziesięciu metrów. Z obszarów zasilania przepływają one do źródeł niezależnymi systemami, żeby w końcowym etapie ulec zmieszaniu z płytkimi wodami zwykłymi. Są to wody zwykłe lub mineralne, typów głównie wodorowęglanowo-wapniowego i wodorowęglanowo-magnezowego (Pilich i in., 1979; Ciężkowski, 2007).

Średnia roczna suma opadów na posterunku w Tyliczu dla okresu 1993–2014 wynosiła 862 mm. Na tle wielolecia wyjątkowo wypadł rok 2010, dla którego roczny opad sumaryczny wyniósł 1159 mm, a zanotowana maksymalna wysokość opadu dobowego (3.06.2010), wg danych z mo-



Ryc. 1. Lokalizacja źródeł szczaw i wód kwasowęglowych w zlewni górnej Muszynki

Fig. 1. Location of carbonated water springs and carbonic acid water springs in the upper Muszynka River basin

nitroingu prowadzonego przez pracowników Zakładu Górniczego „Tylicz”, przekroczyła 88 mm.

Od 1992 r. w Tyliczu rozlewa się wody źródlane i naturalne wody mineralne. Obecnie woda jest eksploatowana 19 studniami (trzema studniami ujmuje się wodę leczniczą) o głębokościach do 120 m, które są zlokalizowane na obszarze ok. 40 km² w promieniu 8 km wokół rozlewni. Od 2003 r., wraz z przejściem działającej na tym terenie firmy „Multivita” (spółka Multico), rozlewnia wód stała się własnością spółki Coca-Cola HBC Polska.

ŹRÓDŁA DANYCH I METODY BADAWCZE

Ze względu na najdłuższy cykl obserwacyjny do analizy reżimu włączono 13 źródeł szczaw i wód kwasowęglowych, które na obszarze Tylicza zarejestrowali Węclawik i Chrzaszcz (1973). Miejsca wypływu tych wód określono na podstawie niepublikowanych wyników badań szczegółowego kartowania hydrogeologicznego zamieszczonych w dokumentacji i opracowaniu z lat 90. XX w. (Porwisz i in., 1995, 1998). Do bazy danych oprócz współrzędnych geograficznych wypływu włączono informację o wydajności wypływów, temperaturze wód, pH, PEW i zawartości CO₂. Jeśli źródło posiadało swoją nazwę (Zdrój Główny, Bradowiec, Lisa, Syhowne, Wędrowców) to używano jej w artykule. W przeciwnym wypadku zastosowano symbole (T-9, T-10, T-13, T-14, T-15, T-16, T-17, T-21a) z „Dokumentacji...” Porwisza i in. (1995). Najstarsze nieliczne dane, które zostały włączone do analizy (bazy danych), pochodzą z lat 1963, 1968, 1971 i 1972. Informacje archiwalne z pracy Węclawika i Chrzaszcz (1973) oraz Porwisza i in. (1995, 1998) uzupełniono o wyniki badań tych samych punktów, które przeprowadzili Staško i in. (2007). Dane z 2004, 2005, 2007, 2011 r. zestawione w tabeli 1 pochodzą z monografii Rajchel (2012a). Aktualną dokumentację terenową stanu wypływów szczaw i wód kwasowęglowych przeprowadzono w dniach 6–7.11.2014. Wydajność wypływów określano metodą wolumetryczną.

Odczyn wód, przewodność elektrolityczną właściwą (PEW) i temperaturę na wypływie wskazywano przy zastosowaniu miernika wieloparametrycznego Elmetron CX-401. Zawartość wolnego CO₂ (jako kwasowość ogólna) oznaczano w terenie metodą miareczkowania silną zasadą (NaOH) w obecności wskaźnika (fenoloftaleiny) (Hermanowicz i in., 1999).

Szczegółowy reżim wydajności źródeł, temperatury wód, pH, PEW i zawartości CO₂ w wodzie przeanalizowano również na podstawie niepublikowanych ciągłych cotygodniowych pomiarów z lat 1993–2014, które wykonywali pracownicy Zakładu Górniczego „Tylicz” w Zdroju Głównym i źródle Bradowiec, funkcjonującym obecnie pod nazwą „Źródło Miłości”. Wydajność źródeł mierzono metodą wolumetryczną, do pomiaru pH i PEW wykorzystywano mierniki WTW Cond340 i pH330i, natomiast CO₂ – aparat Karat (Żak, 2005).

Stworzoną bazę danych powiązano jako tabelę atrybutów z oprogramowaniem ArcGIS, co umożliwiło wykonanie mapy dokumentującej wyniki badań z opracowań archiwalnych (Węclawik & Chrzaszcz, 1973; Porwisz i in. 1995, 1998; Staško i in., 2007; Rajchel, 2012a) oraz badań własnych z listopada 2014 r. Na mapie wynikowej (ryc. 1) przedstawiono występowanie wypływów na tle budowy geologicznej oraz przebiegu stref strukturalnych. Jako podkład geologiczny wykorzystano „Mapę Geologiczną Odkrytą” w skali 1 : 10 000 wykonaną przez Oszczytko na potrzeby „Dokumentacji...” (Staško i in., 2007). Wykorzystując opracowanie Granicznego i in. (2007), naniesiono przebieg stref strukturalnych (liniowych elementów strukturalnych). Zostały one wyznaczone na podstawie interpretacji przebiegu lineamentów, określanych jako wszelkiej natury cechy liniowe powierzchni (elementy sieci drenazowej, skarpy, grzbiety górskie, strefy fototonalne itp., dające się odczytać na mapach topograficznych, geologicznych oraz geofizycznych, a także zdjęciach lotniczych i satelitarnych). Strefy strukturalne mogą odzwierciedlać powierzchniowy przebieg uskoku, sękań, a nawet głą-

Tab. 1. Zestawienie pomiarów okresowych w źródłach szczaw i wód kwasowęglowych
Table 1. Summary of periodic measurements of carbonated and carbonic acid waters

Nazwa Name	Rzędna [m n.p.m.] Elevation [m a.s.l.]	Współrzędne geograficzne (ukł. WGS 84) Coordinates	Data pomiaru Measurement date	Wydajność [dm ³ /s] Discharge rate	Temperatura [°C] Temperature	pH	PEW [mS/cm]	CO ₂ [mg/dm ³]
Zródło Główny	600	X – 21.0318 Y – 49.3937	01.09.1993	0,03	10	–	–	2585
			28.06.1994	0,07	–	–	–	–
			16.07.1995	0,06	8,5	–	–	2580
			13.10.1995	0,05	11,3	–	2,52	2350
			09.10.2005	0,07	9,7	5,95	2,42	2580
			30.05.2006	0,05	7,9	6,18	2,6	1214
			14.09.2006	0,04	9,2	6,06	2,58	1540
			2007	–	10,9	6,1	M 2,665	2353
07.11.2014	0,05	8,5	6,3	1,945	2085,6			
Bradowiec	578	X – 21.0115 Y – 49.3939	20.04.1994	0,025	7,5	6,29	2,64	1320
			13.10.1995	0,025	9	–	3,19	1565
			01.06.2006	0,017	8,3	6,22	2,8	1760
			14.09.2006	–	9,3	6,35	2,79	880
			2005	–	8	6,2	M 2,912	2317
			07.11.2014	0,037	8,5	5,93	2,94	1117,6
T-9	590	X – 21.0089 Y – 49.3960	20.04.1994	0,03	9,9	–	–	2400
			01.06.2006	–	8,1	5,3	1,335	847
			07.11.2014	–	8,9	6,18	1,25	563,2
T-10	608	X – 21.0032 Y – 49.3992	7.1971	0,02–0,05	9,5	6,2	–	1968
			20.04.1994	0,05	8,4	6,28	1,628	726
			13.10.1995	–	9,1	–	0,96	550
			15.05.1998	–	9	6,1	1,24	1454
			01.06.2006	–	8,1	6,17	1,624	921,8
			14.09.2006	–	8,8	6,08	1,544	682
			07.11.2014	0	–	–	–	–
Wędrowców	565	X – 21.0092 Y – 49.3881	7.1971	0,01–0,05	10	5,6	–	1908
			13.10.1995	–	13,3	–	1,41	–
			15.05.1998	0,02	9	5,4	0,36	1632
			31.05.2006	–	7	5,49	0,385	984
			14.09.2006	–	12,1	5,18	0,333	682
			2007	–	12,2	5,3	M 0,309	1176
			07.11.2014	0,02	10,8	5,22	0,46	352
Lisa	578	X – 21.0059 Y – 49.3904	8.1963	0,07	12	–	–	940
			20.04.1994	0,03	12	–	–	940
			15.05.1998	0,02	–	–	–	–
			25.06.1998	–	10	–	0,33	2292
			01.06.2006	–	9,5	4,19	0,08	1100
			14.09.2006	–	10,4	5,28	0,445	1166
			2011	–	6,1	6	M 1,113	1809
			07.11.2014	–	8,8	5,57	0,945	796,4
T-13	561	X – 21.0063 Y – 49.3886	7.1971	–	10,9	5,9	–	1912
			13.10.1995	0,03	11,1	–	1,87	1903
			31.05.2006	0	–	–	–	–
			07.11.2014	–	7,9	7,12	0,336	35,2
T-14	605	X – 21.0346 Y – 49.4016	1968	–	18,2	–	–	1899
			1972	–	–	–	–	2122
			04.05.1994	0,05	–	–	–	–
			31.05.2006	0	–	–	–	–
			07.11.2014	0,15	9,5	6,99	0,35	35,2
T-15	622	X – 21.0360 Y – 49.3846	1968	–	9,6	–	–	1380
			06.05.1994	0,008	–	–	–	–
			31.05.2006	0	–	–	–	–
			07.11.2014	0	–	–	–	–
T-16	630	X – 21.0367 Y – 49.3829	05.06.1998	–	11	6,1	1,2	1510
			09.10.2005	0,01	7	b,d	0,85	–
			02.06.2006	–	6,4	6,09	1,394	880
			07.11.2014	0,01	8	5,88	1,52	704
T-17	608	X – 21.0550 Y – 49.3941	9.1968	–	15,9	–	–	1636
			10.1972	–	–	–	–	640
			05.05.1994	0,06	–	–	–	–
			13.10.1995	–	9,6	–	0,47	–
			01.06.2006	–	13,6	6,17	0,93	770
			07.11.2014	–	10,5	7,32	0,486	127,6

Tab. 1. Zestawienie pomiarów okresowych w źródłach szczaw i wód kwasowęglowych (cd.)
Table. 1. Summary of periodic measurements of carbonated and carbonic acid waters (cont.)

Nazwa <i>Name</i>	Rzędna [m n.p.m.] <i>Elevation</i> [m a.s.l.]	Współrzędne geograficzne (ukł. WGS 84) <i>Coordinates</i>	Data pomiaru <i>Measurement</i> <i>date</i>	Wydajność [dm ³ /s] <i>Discharge rate</i>	Temperatura [°C] <i>Temperature</i>	pH	PEW [mS/cm]	CO ₂ [mg/dm ³]
Syhowne	582	X – 21.0034 Y – 49.3902	10.1972	–	8	6,5	–	2246
			05.05.1994	0,01	7,3	6,1	–	1196
			15.05.1998	–	7,7	5,6	0,69	2140
			2004	–	7,7	6,3	M 3,01	2144
			31.05.2006	–	6,9	5,67	0,71	1305
			14.09.2006	–	8,8	5,61	0,952	1087
			07.11.2014	0,017	8,6	5,37	0,68	1847
T-21a	585	X – 21.0032 Y – 49.3906	7.1971	–	7,8	6,2	–	1888
			12.05.1994	0,008	–	–	–	–
			15.05.1995	–	9	5,9	0,8	1454
			01.06.2006	0,009	9,4	7,13	0,118	550
			07.11.2014	0,009	9,1	5,48	0,603	616

M – mineralizacja / *water mineralization* [g/dm³]

pomiary archiwalne / *archival data* (Węclawik & Chrzęszcz, 1973; Porwisz i in., 1995, 1998; Rajchel, 2012a)

pomiary wykonane przez autorów artykułu w ramach „Dokumentacji...” (Staško i in., 2007) / *data collected by the authors as part of the “Documentation...”* (Staško et al., 2007)

pomiary wykonane przez autorów artykułu w listopadzie 2014 r. / *data collected by the authors in November 2014*

bokich rozłamów (Graniczny i in., 2007). Ciężkowski (2007) oraz Graniczny i in. (2007) podkreślają, że strefy strukturalne we fliszu oraz stopień ich rozcięcia erozyjnego są jednymi z czynników decydujących o występowaniu wypływów wód mineralnych. W obrębie tych stref obserwuje się zgrupowanie źródeł szczelinowych lub szczelinowo-zboczowych a system szczelin sięgających do znacznych głębokości stanowi dogodną drogę do migracji wolnego CO₂.

Obliczenia statystyczne (podstawowe parametry oraz współczynniki korelacji liniowej) wykonano przy zastosowaniu programu Statistica 12 firmy StatSoft.

WYNIKI

Rejon doliny Popradu jest największy i najzasobniejszy pod względem występowania szczaw i wód kwasowęglowych w Karpatach i w Polsce. Zostało tam wydzielonych 18 obszarów, w których udokumentowano występowanie wspomnianych wód. Teren badań objął, zgodnie z podziałem przyjętym za Rajchel (2012a), jedynie obszar Tylicza. W zależności od autorów, przyjmuje się, że w tym obszarze liczba ważniejszych/udostępniających tego typu wodę źródeł wynosi od 1 (Chowaniec i in., 2007; Chowaniec & Freiwald, 2010) do 5 (Rajchel, 2012a).

Badania prezentowane w tej pracy wskazują, że w zależności od okresu prac terenowych na obszarze Tylicza (na powierzchni 11,5 km²) udokumentowano od 8 (listopad 2014 r.) do 13 (Porwisz i in., 1995, 1998) źródeł szczaw i wód kwasowęglowych (tab. 1, ryc. 1). Wskaźnik krenologiczny dla tych wypływów wynosi 0,7–1,1. Większość z analizowanej grupy źródeł szczaw i wód kwasowęglowych (ryc. 1) wypływa na pograniczu piaskowców gruboławicowych z przewarstwieniami margli łąckich oraz piaskowców cienkoławicowych i łupków ilastych (Zródło Główny, Wędrowców, Syhowne, T-13, T-14, T-15, T-16, T-21a). Pozostałe źródła występują w obrębie piaskowców gruboławicowych z przewarstwieniami margli łąckich. Wszystkie źródła szczaw i wód kwasowęglowych są położone na uskawkach lub w odległości do kilkudziesięciu

metrów od nich (Zródło Główny, Wędrowców, Syhowne, T-13, T-14, T-15, T-16, T-17, T-21a), strefach strukturalnych (Bradowiec, Lisa, T-17) lub na terasach zalewowych rzek (T-9, T-10). W przypadku prac terenowych przeprowadzonych przez Porwisz i in. (1995, 1998) udokumentowano występowanie wszystkich 13 wypływów, które ok. 20 lat wcześniej wykartowali Węclawik i Chrzęszcz (1973). W 2006 r. na podstawie badań terenowych przeprowadzonych przez zespół Staško i in. (2007) stwierdzono zanik trzech źródeł T-13, T-14 i T-15. Nie wiadomo jednak, kiedy nastąpiło faktyczne wyschnięcie źródeł, ponieważ wcześniejsze wyniki pochodziły sprzed 20 lat (Porwisz i in., 1995, 1998).

Następnie w 2014 r. również nie udało się odszukać w terenie źródła T-15 oraz dodatkowo T-10. Ponownie wykartowano natomiast wypływy T-13 i T-14, ale zawartość CO₂ spadła poniżej 250 mg/dm³, co dyskwalifikuje te wody z grupy wód kwasowęglowych (tab. 1). Zawartość CO₂ poniżej 250 mg/dm³ stwierdzono również w źródle T-17. Źródła T-13 i T-14 występują podobnie jak Wędrowców przy uskoku tylickim. W 2014 r. również zaobserwowano w nim wyraźny spadek zawartości CO₂ do 352 mg/dm³ (tab. 1). Była to najniższa wartość zanotowana od lat 70. XX w.

Źródło T-15, którego zanik utrzymuje się co najmniej od 2006 r. (tab. 1), było położone w wyższych partiach zlewni (rzędna wypływu 622 m n.p.m.). Pomimo lokalizacji w bezpośrednim sąsiedztwie dyslokacji krynickiej charakteryzowało się jednymi z najmniejszych wydajności spośród analizowanej grupy wypływów. Zmierzone ją tylko raz w 1994 r. i wynosiła 0,008 dm³/s. Innym przykładem zaniku źródła jest wypływ T-10, którego nie stwierdzono w trakcie ostatnich badań terenowych (listopad 2014). Położone na rzędnej 608 m n.p.m., bezpośrednio przy korycie potoku Bradowiec, było ujęte niewielką drewnianą obudową (ryc. 2) i charakteryzowało się wydajnościami w przedziale 0,02–0,05 dm³/s (ryc. 1, tab. 1). Na podstawie położenia źródła T-10 można stwierdzić, że mogło być ono okresowo zatapiane przez wody potoku Bradowiec.



Ryc. 2. Źródło T-10, obecnie nieistniejące. Fot. S. Buczyński, 1.06.2006

Fig. 2. Currently non-existent spring T-10. Photo by S. Buczyński, 1/06/2006

Z wywiadu terenowego wynika, że fakt zaniku wypływów szczaw i wód kwasowęglowych na tym obszarze stwierdzono po powodziach z lat 1997, 1998, 2002–2004 oraz 2010. Otrzymane wyniki (tab. 1) mogą potwierdzać te obserwacje. Pomimo stosunkowo długich okresów pomiędzy poszczególnymi badaniami zmiany w występowaniu (zanik lub zanik i ponowne pojawienie się) źródeł zaobserwowano pomiędzy rokiem 1994/1995 i 2006 oraz 2006 i 2014, co odpowiadałoby powodziom z lat 1997, 1998, 2002–2004 oraz 2010. Niewykluczone, że podobnych epizodów zaniku i pojawiania się źródeł było na tym obszarze więcej, jednak stosunkowo odległe okresy pomiarowe nie pozwalają na wyciągnięcie bardziej szczegółowych wniosków.

Reżim hydrochemiczny źródeł w świetle obserwacji okresowych

Szczawy i wody kwasowęglowe obszaru Tylicza drenowane przez źródła to wody mineralne lub zwykłe o różnicowanej zawartości CO_2 (od 352 mg/dm^3 do prawie 3 g/dm^3), o kwaśnym lub słabo kwaśnym odczynie (tab. 1). Dodatkowo uwagę zwracają silne wahania zarówno mineralizacji ogólnej wód, jak i zawartości CO_2 , dotyczące w zasadzie wszystkich wypływów. Zmiany te w ekstremalnych przypadkach (T-13, T-14) prowadziły do całkowitego zaniku obecności CO_2 w wodzie (tab. 1). Największą stabilność parametrów fizykochemicznych wody wykazywały źródła Zdrój Główny i Bradowiec, które utrzymywały wysoką mineralizację wód oraz znaczną zawartość CO_2 (zwykle $>1,0\text{--}2,0 \text{ g/dm}^3$). Nie zaobserwowano wzajemnych zależności między przewodnością elektrolityczną właściwą, zawartością CO_2 i wydajnością źródeł. Sugeruje to, że geniza procesów formujących ostateczny skład chemiczny źródeł szczaw i wód kwasowęglowych tego obszaru jest związana z dopływem wód zwykłych, zależnych od lokalnych zmiennych czynników geologicznych, meteorologicznych i antropogenicznych. Prawdopodobnie czynniki te wpływają również na stężenia CO_2 , na co wskazują jego wahania. Dopływ CO_2 odbywa się jednak innymi drogami, dlatego jego relacje z mineralizacją ogólną i wydajnością źródeł nie są liniowe (Ciężkowski, 2007; Rajchel, 2012a).

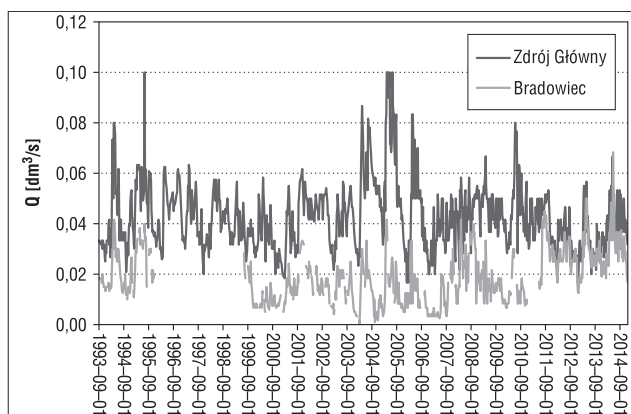
Pod względem wydajności badane wypływy szczaw i wód kwasowęglowych można w większości zaliczyć do klasy VII (wg podziału Meinzera). Jedynie źródła oznaczone w „Dokumentacji...” Porwisza i in. (1995) symbolami T-15 i T-21 w trakcie wszystkich pomiarów charakteryzowały się wydajnością poniżej $0,01 \text{ dm}^3/\text{s}$ oraz zawartością CO_2 , która wynosiła 1380 mg/dm^3 (T-15) i $550\text{--}1888 \text{ mg/dm}^3$ (T-21a) (tab. 1). Okresowo tylko trzy (Zdrój Główny, Lisa i T-17) spośród analizowanych 13 źródeł szczaw i wód kwasowęglowych osiągały wydajność powyżej $0,05 \text{ dm}^3/\text{s}$, natomiast największą zanotowano w trakcie ostatnich pomiarów (7.11.2014) w źródle T-14 ($0,15 \text{ dm}^3/\text{s}$) (tab. 1). Wody źródła w trakcie pomiarów z listopada 2014 r. nie zawierały CO_2 .

Temperatura źródeł szczaw i wód kwasowęglowych mieściła się w przedziale $6,1\text{--}18,2^\circ\text{C}$, najniższą zanotowano w źródle Lisa w 2011 r. (tab. 1), natomiast najwyższą w T-14 w 1968 r. Najmniejszą amplitudę wahań temperatury na podstawie badań okresowych wykazywały źródła: T-10 ($1,4^\circ\text{C}$) oraz Zdrój Główny i Syhowne ($1,5^\circ\text{C}$). W przypadku pozostałych wypływów różnice między najniższą i najwyższą zanotowaną temperaturą wyniosły od $1,6$ do $8,7^\circ\text{C}$, przy średniej $3,7^\circ\text{C}$.

Z całej populacji źródeł szczaw i wód kwasowęglowych na uwagę zasługują te, w których stwierdzono zanik CO_2 (T-14, T-13). Pierwsze pomiary wykonane w źródle T-14 pochodzą z okresu 1968–1972. Zmierzona wówczas zawartość CO_2 wyniosła $1899\text{--}2122 \text{ mg/dm}^3$, a wydajność źródła kształtowała się na poziomie $0,05 \text{ dm}^3/\text{s}$. W trakcie kartowania przeprowadzonego w 2006 r. (Staško i in., 2007) nie stwierdzono wypływu T-14 w terenie (tab. 1). W trakcie kolejnej serii prac w 2014 r. źródło T-14 wykartowano ponownie. Jego wydajność wyniosła aż $0,15 \text{ dm}^3/\text{s}$, jednak zawartość CO_2 spadła do $35,2 \text{ mg/dm}^3$, co dyskwalifikuje badane źródło z grupy szczaw i wód kwasowęglowych. Podobnie źródło T-13 (ryc. 1) w latach 1971 i 1995 charakteryzowało się znaczną zawartością CO_2 (ok. 1900 mg/dm^3) i wysoką mineralizacją (PEW $1,87 \text{ mS/cm}$). Obecnie w terenie stwierdzono jedynie wyciek, którego wody uległy wysłodzeniu i nie zaobserwowano obecności CO_2 (tab. 1).

Reżim hydrochemiczny źródła Zdrój Główny i Bradowiec w świetle obserwacji ciągłych (1993–2014)

Ciągłe (cotygodniowe) obserwacje źródeł Zdrój Główny i Bradowiec, prowadzone od 1993 r. przez pracowników Zakładu Górniczego „Tylicz”, wykazały, że wydajności źródeł wahała się od $0,017 \text{ dm}^3/\text{s}$ (I, II.2006; XII.2012) do $0,1 \text{ dm}^3/\text{s}$ (VII.1995; IV, V, VII.2005) w Zdroju Głównym oraz od $0,00$ (I.2006) do $0,078 \text{ dm}^3/\text{s}$ (IX.2014) w źródle Bradowiec (ryc. 3, tab. 2, 3). Średnia roczna wydajność źródła Zdrój Główny wyniosła $0,043 \text{ dm}^3/\text{s}$ i mieściła się w przedziale od $0,032 \text{ dm}^3/\text{s}$ w 2012 r. do $0,056 \text{ dm}^3/\text{s}$ w 2004 r. W przypadku źródła Bradowiec uzyskano odpowiednio wartości $Q_{\text{śred}} = 0,019 \text{ dm}^3/\text{s}$; $Q_{\text{min}} = 0,01 \text{ dm}^3/\text{s}$ (2007 r.) i $Q_{\text{max}} = 0,032 \text{ dm}^3/\text{s}$ (2014 r.). Wskaźnik zmienności wieloletniej dla źródła Zdrój Główny wyniósł 6, co klasyfikuje je w grupie mało zmiennych wg klasyfikacji Mailleta (1905), natomiast przypadku Bradowca – 25 (źródło zmienne). Reżim wydajności tych źródeł (Q_{min} w miesiącach zimowych oraz Q_{max} w mie-



Ryc. 3. Wydajność źródeł Zdrój Główny i Bradowiec
Fig. 3. Discharge rates of the Zdrój Główny and Bradowiec springs

Tab. 2. Podstawowe parametry statystyczne wydajności oraz wskaźników fizykochemicznych dla wód źródła Zdrój Główny (na podstawie danych z lat 1993–2014)

Table 2. Basic statistical parameters of discharge and physico-chemical indicators of Zdrój Główny spring water (based on data from 1993–2014)

Parametr Parameter	N	Średnia Average	Mediana Median	Min. Min.	Maks. Max.	Dolny kwartył Lower quartile	Górny kwartył Upper quartile	Odch. std Std. dev.
Q [dm ³ /s]	961	0,043	0,042	0,017	0,100	0,033	0,050	0,013
Temp [°C]	961	7,7	7,6	5,0	11,3	7,0	8,2	1,0
PEW [mS/cm]	834	2,52	2,62	1,05	6,59	2,37	2,70	0,33
CO ₂ [mg/dm ³]	961	2633	2643	1214	2955	2568	2710	123
pH [-]	482	6,17	6,17	5,20	6,74	6,08	6,25	0,14

Tab. 3. Podstawowe parametry statystyczne wydajności oraz wskaźników fizykochemicznych dla wód źródła Bradowiec (na podstawie danych z lat 1993–2014)

Table 3. Basic statistical parameters of discharge and physico-chemical indicators of Bradowiec spring water (based on data from 1993–2014)

Parametr Parameter	N	Średnia Average	Mediana Median	Min. Min.	Maks. Max.	Dolny kwartył Lower quartile	Górny kwartył Upper quartile	Odch. std Std. dev.
Q [dm ³ /s]	774	0,019	0,017	0,001	0,078	0,012	0,027	0,011
Temp [°C]	911	7,7	7,7	5,0	12,0	7,0	8,5	1,0
PEW [mS/cm]	792	2,73	2,83	1,40	4,42	2,53	2,98	0,36
CO ₂ [mg/dm ³]	911	2295	2302	880	2778	2219	2381	156
pH [-]	469	6,28	6,28	5,39	6,97	6,21	6,35	0,13

Tab. 4. Współczynniki korelacji Pearsona ($p > 0,05$) dla wydajności oraz wskaźników fizykochemicznych dla wód źródła Zdrój Główny (na podstawie danych z lat 1993–2014)

Table 4. Pearson correlation coefficients ($p > 0.05$) for discharge and physico-chemical indicators of Zdrój Główny spring water (based on data from 1993–2014)

Parametr Parameter	Q [dm ³ /s]	Temp [°C]	PEW [mS/cm]	CO ₂ [mg/dm ³]
Temp [°C]	0,19	–	–	–
PEW [mS/cm]	–	–	–	–
CO ₂ [mg/dm ³]	–	-0,49	–	–
pH [-]	-0,13	0,14	0,12	–

rolę w zasilaniu źródeł typu szczawy. Z drugiej strony, pomimo reżimu roztopowo-opadowego stwierdzonego w obu źródłach, dokładniejsza analiza danych wykazuje, że powiązanie ze sobą charakterystycznych wielkości wydajności źródeł Zdrój Główny i Bradowiec (jak Q_{max} , Q_{min} , amplituda wydajności lub średnia wydajność roczna) nie wykazuje zbieżności. Dane te potwierdzają opisane przez Ciężkowskiego (2007) zasilanie źródeł szczaw wodami, które przepływają z obszaru zasilania do wypływu niezależnymi systemami.

Cotygodniowa obserwacja mineralizacji, odczynu i zawartości CO₂ wód źródeł Zdrój Główny i Bradowiec (lata 1993–2014) wykazała ich znaczne podobieństwo chemiczne (tab. 1, 2). Charakteryzowały się one zbliżoną mineralizacją ogólną (średnio $>2,5$ g/dm³), podobnym słabo kwaśnym odczynem i zbliżoną zawartością CO₂

Tab. 5. Współczynniki korelacji Pearsona ($p > 0,05$) dla wydajności oraz wskaźników fizykochemicznych dla wód źródła Bradowiec (na podstawie danych z lat 1993–2014)

Table 5. Pearson correlation coefficients ($p > 0.05$) for discharge and physico-chemical indicators of Bradowiec spring water (based on data from 1993–2014)

Parametr Parameter	Q [dm ³ /s]	Temp [°C]	PEW [mS/cm]	CO ₂ [mg/dm ³]
Temp [°C]	0,20	–	–	–
PEW [mS/cm]	0,39	–	–	–
CO ₂ [mg/dm ³]	0,13	-0,19	0,24	–
pH [-]	–	-0,10	–	–

siągach wiosennych i wczesną wiosną) dowodzi, że źródła mają reżim roztopowo-opadowy, a na ich wydajność wyraźny wpływ ma sytuacja meteorologiczna. Wskazuje to, że wysokość opadów atmosferycznych odgrywa istotną

(średnio 2633 mg/dm³ – Zdrój Główny, 2295 mg/dm³ – Bradowiec). Analiza korelacyjna wykonana dla wzajemnych zależności wydajności obu źródeł oraz ich wskaźników fizykochemicznych (tab. 4, 5) wykazała, że jedynie

dla wód Bradowca istnieje pewna niewielka pozytywna zależność pomiędzy przewodnością elektryczną właściwą a wydajnością (0,39) oraz zawartością CO₂ (0,24). Zależność stężeń wolnego CO₂ w wodzie od jej temperatury jest wywołana zasadami rozpuszczalności tego gazu w cieczy (spadkiem rozpuszczalności gazu wraz ze wzrostem temperatury) i może mieć największy wpływ na jego wahania obserwowane w badanych źródłach. Z kolei korelacyjna analiza statystyczna badanych wskaźników fizykochemicznych (mineralizacji, odczynu i zawartości CO₂) pomiędzy źródłami Zdrój Główny i Bradowiec wykazała korelację przeciętną (współczynnik korelacji Pearsona 0,42) jedynie w przypadku temperatury wód obu źródeł. Pozostałe wskaźniki fizykochemiczne w wodach obu wypływów (podobnie jak wydajności) mają inny przebieg zmienności i nie wykazują korelacji. Wyniki te potwierdzają obserwacje Ciężkowskiego (2007), który wskazuje na niezależne drogi przepływu wód z obszaru zasilania do źródeł, co wpływa na odrębne formowania się składu chemicznego wód szczaw obszaru Tylicza.

DYSKUSJA

Wszystkie źródła szczaw i wód kwasowęglowych na obszarze Tylicza są położone na uskokach, strefach strukturalnych lub na terasach zalewowych rzek. Źródła te, podobnie jak miało to miejsce w przypadku źródeł szczaw i wód kwasowęglowych w zlewni Kryniczanki, występują głównie w najniższych partiach zlewni i są związane z dnami dolin (Ciężkowski i in., 2001). Wskaźnik krenologiczny źródeł szczaw i wód kwasowęglowych na obszarze Tylicza (0,7–1,1) jest mniejszy niż w sąsiednim rejonie Krynicy (1,6), ale większość wypływów należy do tej samej VII klasy wydajności. W rejonie zlewni Kryniczanki nieliczne źródła zaklasyfikowano również do VI grupy, natomiast w przypadku obszaru Tylicza nie stwierdzono tak wydajnych źródeł. Badania krenologiczne wskazują, że zanik źródeł nie ma charakteru powszechnego (Chelmiński, 2001). Chelmiński porównując wyniki wieloletnich badań (1973–2000) źródeł wód zwykłych Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej i Miechowskiej, stwierdził zupełny zanik tylko 6% wypływów, wskazując przy tym, że 9 spośród 14 wyschniętych źródeł znajdowało się w bezpośrednim zasięgu odwodnień górniczych. W przypadku zestawienia badania źródeł szczaw w zlewni Kryniczanki z okresu (1972–1999) Ciężkowski i in., (2001) stwierdzili zanik 13 wypływów, co stanowiło już 18% populacji. W przypadku obszaru Tylicza (wyniki z lat 1963–2014), ze względu na zanik wypływu lub spadek zawartości CO₂, populacja źródeł szczaw i wód kwasowęglowych zmalała aż o 38%. Przy czym zmiany te nastąpiły w okresie ostatniego 20-lecia. Tymczasowy zanik wypływu lub wysychanie źródeł szczaw i wód kwasowęglowych nie jest zjawiskiem nowym. Doniesienia historyczne i obserwacje terenowe dowodzą, że w najbliższym sąsiedztwie obszaru badań w miejscowości Wojkowa i Muszynka istniały wcześniej źródła szczaw, które obecnie zanikły (Porwisi i in., 1995; Buczyński i in., 2007). W przypadku źródła Wojkowa znane jest jedynie w przybliżeniu miejsce jego historycznego wypływu. Natomiast jeśli chodzi o drugie źródło, to w latach 1994–1995 wykonano pomiary i uzyskano następujące wartości: wydajność – 0,002 dm³/s, temperatura wód na wypływie – 9,5°C, PEW – 2,67 mS/cm i zawartość

CO₂ – 1565 mg/dm³. W trakcie prac terenowych prowadzonych w późniejszym okresie obu źródeł nie stwierdzono. Trwałe lub okresowe zaniki wypływów szczaw są jeszcze częstsze w przypadku wycieków lub wysięków. W ramach wykonywanych badań terenowych autorzy oprócz źródeł szczaw i wód kwasowęglowych wielokrotnie lokalizowali szereg ekshalacji CO₂ lub miejsc o rdzawym zabarwieniu („rudawka”), w których znikomy, rozproszony lub dokorytowy wpływ uniemożliwia wykonanie pomiarów. W 2014 r. największą liczbę takich miejsc stwierdzono w zlewni potoku Błatnik oraz w górnych partiach cieków Hotarny i Szczawnik. Liczba ekshalacji i przejawów zawodnienia z wodami zawierającymi CO₂ (często w ilości mniejszej niż 250 mg/dm³) i wytrącającymi się na wypływie związkami żelaza i wapnia przekraczała 60, jednak wód z tych punktów, zgodnie z celem i metodyką pracy, nie uwzględniono w analizie wyników badań.

Zbieżność uzyskanych wyników badań jest widoczna w przypadku obliczeń statystycznych. Zarówno źródła szczaw i wód kwasowęglowych z obszaru Tylicza, jak i zlewni Kryniczanki (Ciężkowski i in., 2001) nie wykazują korelacji pomiędzy wydajnością a ich temperaturą, PEW i CO₂.

PODSUMOWANIE

Badania źródeł szczaw i wód kwasowęglowych prowadzone na obszarze Tylicza od lat 60. XX w. wykazały zanik wydajności dwóch udokumentowanych wypływów (T-10, T-15). W przypadku trzech kolejnych (T-13, T-14, T-17) stwierdzono zanik zawartości CO₂, co wyklucza te wody z grupy wód kwasowęglowych. Z wywiadu terenowego wynika, że zanik źródeł miał charakter gwałtowny i nastąpił prawdopodobnie po dużych powodziach, co sugeruje, że ekstremalne zjawiska hydrologiczne były główną przyczyną zaniku źródła o bardzo niskich wydajnościach (T-15) i źródła przykorytowego (T-10). Niestety stosunkowo długie okresy pomiędzy poszczególnymi badaniami nie pozwalają wyciągnąć niepodważalnych i szczegółowych wniosków. Niewykluczone, że epizodów zaniku i pojawiania się źródeł było na tym obszarze więcej, a ich zanik nie był związany wyłącznie z powodzią.

Zjawiska ekstremalne nie wpłynęły jednak na reżim źródeł o stosunkowo wysokich wydajnościach (Zdrój Główny i Bradowiec). Były one obserwowane są w sposób ciągły od 1993 r. i pomimo eksploatacji wód podziemnych studniami (najbliższe czynne studnie są położone w odległości 120 i 820 m od źródeł) oraz zachodzących niekorzystnych dla zasilania wód podziemnych zmian klimatycznych nie wykazywały spadków wydajności. W wyposażonym w nową zabudowę źródle Bradowiec od 2010 r. jest nawet widoczny wzrost wydajności. Jednocześnie cotygodniowe badania wydajności i parametrów fizykochemicznych wód źródeł Zdrój Główny i Bradowiec potwierdzają istnienie sugerowanych przez Ciężkowskiego (2007) niezależnych dróg zasilania, które kształtują reżim źródeł wód leczniczych tego rejonu.

Autorzy składają podziękowania Recenzentom artykułu za wnikliwe i rzeczowe merytoryczne recenzje. Uwagi w nich zamieszczone były bardzo pomocne w zredagowaniu tekstu. Badania zrealizowano w ramach dotacji podmiotowej na utrzymanie potencjału badawczego MNiSW. Dziękujemy pracownikom „MULTIVITA” Sp. z o.o. w Warszawie – Panu Tomaszowi

Mateńko i Adamowi Zwolenikowi, za konstruktywne komentarze oraz udostępnienie wyników pomiarów prowadzonych przez pracowników Zakładu Górniczego Tylicz. Do powstania artykułu przyczynili się również studenci Koła Naukowego Geologów UW., którzy brali udział w pracach terenowych w listopadzie 2014 – Marek Błachowicz, Olga Grzęda, Monika Heidemann i Łukasz Karkoszka.

LITERATURA

- BARTHOLY J. & PONGRÁCZ R. 2007 – Regional analysis of extreme temperature and precipitation indices for Carpathian Basin from 1946 to 2001. *Glob. Planet. Change*, 57: 83–95.
- BAŚCIK M., CHEŁMIŃSKI W., KORSKA A., POCIASK-KARTECZKA J., SIWEK J. & ŻELAZNY M. 2001 – Porównanie stanu źródeł Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej i Miechowskiej w latach 1973–1974 i 1999–2000. [W:] Balon J. & German K. (red.), *Przemiany środowiska a jego funkcjonowanie, Problemy ekologii krajobrazu*. Inst. Geogr. i Gosp. Przestrz. UJ, Kraków: 10: 383–388.
- BAŚCIK M. & URBAN J. 2007 – Konserwatorska ochrona źródeł w Polsce. [W:] Jokiel P., Moniewski P. & Ziulkiewicz M. (red.), *Źródła Polski. Wybrane problemy krenologiczne*. Wyd. Regina Poloniae, Częstochowa: 320–329.
- BUCZYŃSKI S., OLICHWER T., TARKA R. & STAŚKO S. 2007 – Zawodnienie formacji fliszowej Karpat w oparciu o wyniki badań źródeł Beskidu Krynickiego w rejonie Tylicza. *WPH*, 12 (2): 403–412. Kraków–Krynica.
- BUCZYŃSKI S. & WCISŁO M. 2013 – Predicting climate-induced changes in groundwater resources on the basis of hydrogeological model research: Case study of the Carpathian flysch belt. *Episodes*, 36 (2): 105–114.
- CHEŁMIŃSKI W. (red.) 2001 – *Źródła Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej i Miechowskiej. Zmiany w latach 1973–2000*. Inst. Geogr. i Gosp. Przestrz. UJ, Kraków.
- CHOWANIEC J., ZUBER A. & CIĘŻKOWSKI W. 2007 – Prowincja karpacka. [W:] Paczyński B. & Sadurski A. (red.), *Hydrogeologia regionalna Polski, tom II, Wody mineralne, lecznicze i termalne oraz kopalniane*. PIG Warszawa.
- CHOWANIEC J. & FREIWALD P. (red.) 2010 – *Atlas hydrogeoróżnorodności województwa małopolskiego*. Departament Rolnictwa i Geologii Urzędu Marszałkowskiego Województwa Małopolskiego, Kraków.
- CIĘŻKOWSKI W., SCHMALZ A. & ŻAK S. 2001 – Charakterystyka krenologiczna zlewni Kryniczanki w Beskidzie Sudeckim. *WPH*, 10: 141–148. Wrocław.
- CIĘŻKOWSKI W. (red.) 2007 – *Współdziałanie wód zwykłych i leczniczych – zasady dokumentowania, ochrony i gospodarki wodnej*. Oficyna Wydaw. Polit. Wroc., Wrocław.
- DYNOWSKA I. & TLAŁKA A. 1982 – *Hydrografia*. PWN. Warszawa.
- GARGINI A., DE NARDO M.T., PICCINI L., SEGADELLI S. & VINCEZI V. 2014 – Spring discharge and groundwater flow system in sedimentary and ophiolitic hard rock aquifers: Experiences from Northern Apennines (Italy). [W:] John M. & Shapr Jr. (red.), *Fractured Rock Hydrogeology. Selected papers on hydrogeology 20*, IAH: 129–146.
- GÓRSKI J. & PRZYBYŁEK J., 1997 – Wpływ suszy w latach 1989–1992 na warunki eksploatacji infiltracyjnych ujęć wody w dolinie Warty. *WPH*, 8: 1–8. Poznań.
- GRANICZNY M., PIĄTKOWSKA A. & KOWALSKI Z. 2007 – Wykonanie mapy lineamentów (fotolineamentów) obszaru górniczego „Tylicz I”. *Hydrokonos*. Warszawa.
- HERMANOWICZ W., DOJLIDO J., DOŻAŃSKA W., KOZIOROWSKI B. & ZERBE J. 1999 – Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków, Arkady.
- HUMNICKI W. 2007 – Reżim hydrogeologiczny źródeł pienińskich na przykładzie źródła Balarówka w Tyliczu. [W:] Jokiel P., Moniewski P. & Ziulkiewicz M. (red.), *Źródła Polski. Wybrane problemy krenologiczne*. Wyd. Regina Poloniae, Częstochowa: 85–97.
- JOKIEL P. 2007 – Źródła – wodne perełki na granicy Terry i Hadesu. [W:] Jokiel P., Moniewski P. & Ziulkiewicz M. (red.), *Źródła Polski. Wybrane problemy krenologiczne*. Wyd. Regina Poloniae, Częstochowa: 7–13.
- KONDRACKI J. 2002 – *Geografia regionalna Polski*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- KOSTUCH M. 2003 – Odpiły podziemne i niskie w potokach górskich. *Woda–Środowisko–Obszary wiejskie*, t. 3, z. 1 (7): 193–203.
- LIBER E. 2001 – Zmienność wydajności wód leczniczych eksploatowanych samoczynnie ze źródeł sudeckich. *Praca doktorska. Raporty Inst. Gór. Ser. PRE nr 3*. Politechnika Wrocławska.
- LIBER E. 2007 – Współdziałanie pomiędzy źródłami wód termalnych w Łądku Zdroju. *Górnictwo i geologia*, 9: 81–88.
- LIBER-MAKOWSKA E. 2011 – Dynamiczne oddziaływanie pomiędzy ujęciami wód termalnych Łądku-Zdroju. *Technika Poszukiwań Geologicznych*, 50 (1/2): 71–79.
- ŁUPIKASZA E. & BIELEC-BAKOWSKA Z. 2005 – Synoptyczne uwarunkowania dni ekstremalnych pod względem termicznym w Małopolsce w drugiej połowie XX wieku. *Folia Geographica ser. Geographica-Physica*, 35–36 (35–36): 93–112.
- MAILLET E. 1905 – *Essais d'hydraulique souterraine et fluviale* [Testing of groundwater and surface water]. Herman et Cie, Paris.
- MONIEWSKI P. 2015 – Seasonal variability of discharge from selected springs in central Europe. *Episodes*, 38 (3): 189–196.
- OSZCZYPKO N., MALATA E., OSZCZYPKO-CLOWES M. & DUŃCZYK L. 1999 – Budowa geologiczna Krynicy (płaszczowina Magurska). *Prz. Geol.*, 47: 549–559.
- OSZCZYPKO N. & OSZCZYPKO-CLOWES M. 2010 – The Paleogene and nearly Neogene stratigraphy of the Beskid Sądecki Range and Lubovnianska Vrchovina (Magura Nappe Western Outer Carpathians). *Acta Geol. Pol.*, 60: 317–348.
- PILICH A., KULIKOWSKA J. & MADEYSKI A. 1979 – Ujęcia wód mineralnych i słabo zmineralizowanych w Polsce. *Zbiór podstawowych danych hydrogeologicznych i technicznych. Zjednoczone Uzdrawiska Polskie*, Warszawa.
- PORWISZ B., RADWAN J., ZUBER A., KOWALSKI J., MĄDRY J. & CISEK J. 1995 – Określenie obszarów alimentacji złóż wód podziemnych (zwykłych, mineralnych i leczniczych) eksploatowanych otworami studziennymi przez Zakład Produkcji Wód Mineralnych „Multico”. *Archiwum PG*, Kraków.
- PORWISZ B., RADWAN J., ZUBER A., KOWALSKI J., MĄDRY J. & CISEK J. 1998 – Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów eksploatacyjnych wód podziemnych z utworów trzeciorzędowych ujętych dla potrzeb ZPVM „Multico” w Tyliczu. *Przedsiębiorstwo Naukowo-Techniczne „OMEGA”*, Kraków.
- PORWISZ B. 2013 – Szlakiem wód leczniczych i termalnych w Małopolsce. *Departament Środowiska Urzędu Marszałkowskiego Województwa Małopolskiego*, Kraków.
- PULIDO-BOSCH A., PADILLA A., DIMITROV D. & MACHKOVA M. 1995 – The discharge variability of some karst springs in Bulgaria studied by time series analysis. *J. Sci. Hydrolog.*, 40 (4): 517–532.
- RAJCHEL L. 2007 – Fascynujące źródła Karpacie. [W:] Jokiel P., Moniewski P. & Ziulkiewicz M. (red.), *Źródła Polski. Wybrane problemy krenologiczne*. Wyd. Regina Poloniae, Częstochowa: 285–290.
- RAJCHEL L. 2012a – Szczywy i wody kwasowęglowe Karpat polskich. *Wydawnictwa AGH*, Kraków.
- RAJCHEL L. 2012b – Występowanie i wykorzystanie wód mineralnych i leczniczych na obszarze Karpat Polskich i ich przedpola. *Możliwości wykorzystania zasobów wodnych na obszarze Karpat. Materiały międzynarodowej konferencji naukowej*. Trańów: 58–79.
- RAJCHEL L. & RAJCHEL J. 1999 – Karpacie źródła wód mineralnych i swoitych – pomnikami przyrody nieożywionej. *Prz. Geol.*, 47 (10): 911–919.
- SADOWSKI M. 2001 – *Zasoby i gospodarka wodna w warunkach globalnego ocieplenia*. Warszawa: *Gosp. Wod.* nr 4 s. 140–142.
- SIWEK J. 2004 – Źródła w zlewniach Prądnika, Dłubni i Szreniawy. *Naturalne i antropogeniczne uwarunkowania jakości wód*. Inst. Geogr. i Gosp. Przestrz. UJ, Kraków.
- SIWEK J. & BAŚCIK M. 2013 – Przyrodnicze i antropogeniczne przemiany źródeł Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej i Miechowskiej oraz ich rola w krajobrazie naturalnym i kulturowym. *Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego*. Kraków.
- STARKEL L. & KUNDZEWICZ Z. W. 2008 – *Konsekwencje zmian klimatu dla zagospodarowania przestrzennego kraju*. Nauka, 1: 85–101.
- STAŚKO S., CIĘŻKOWSKI W., OSZCZYPKO N., MODELSKA M., BUCZYŃSKI S., OLICHWER T., TARKA R. & WCISŁO M. 2007 – Dokumentacja hydrogeologiczna w celu ustalenia zasobów zwykłych i mineralnych wód podziemnych dla górnej zlewni Muszynki. *Uniwersytet Wrocławski*, Wrocław.
- WEĆLAWIK S. 1969 – The geological structure of the Magura Nappe between Ujście Gorlickie and Tylicz, Carpathians (Lower Beskid). *Prace Geologiczne Komisji Nauk Geologicznych PAN Oddział w Krakowie*, 59: 1–96.
- WEĆLAWIK S. & CHRZAŚCZ K. 1973 – Dokumentacja geologiczna i projekt badań geologicznych dla ujęcia podziemnych wód mineralnych z utworów paleogeńskich płaszczowiny magurskiej w Tyliczu. *AGH Kraków*.
- ŻAK S. 2005 – Oznaczanie zawartości dwutlenku węgla w wodzie za pomocą aparatu Karat. *Pr. Nauk. Inst. Gór. Polit. Wroc.* nr 113, *Stud. Mat.*, 31: 207–218.

Praca wpłynęła do redakcji 24.06.2015 r.
Akceptowano do druku 15.04.2016 r.