

## Wody w otoczeniu Jaskini Radochowskiej (Góry Złote, Sudety)

Bartłomiej Rzonca\*, Sebastian Buczyński \*, Maciej Makarczuk\*\*, Tomasz Markiewicz\*\*,  
Krzysztof Okraj\*\*, Grzegorz Tytlak\*\*

**Waters in the surrounding of the Radochowska Cave (Sudety, SW Poland).** Prz. Geol., 52: 675–682.

*Summary.* The presented paper concerns the geochemistry of spring waters in the crystalline mountain region of south-west Poland (fig. 1). The research group has mapped all surface waters existing in the 4 km<sup>2</sup> study area. The resulting map (fig. 1) includes springs, wetlands and watercourses. Some points on the map represent entire spring zones (fig. 1: points 5, 11 and 13). The spring waters as well as waters from the Jaskinieć stream (fig. 1: point D) were sampled and sent for laboratory chemical analysis (results are presented in Table 1). In addition, the waters of Radochowska Cave (fig. 2) were also sampled (at points 20 and 21). The physical, field parameters of the investigated waters were checked in the field.

The chemical analyses of the 11 samples (8 spring water samples, 2 consisted of cave water samples and 1 water sample from the Jaskinieć stream) divided our samples to two groups (Table 1). The first group were slightly mineralized ( $M \approx 100$  mg/L) waters, strongly dominated by sulfate anions. Their cation composition showed magnesium and calcium are in similar equivalent concentrations (fig. 3). The waters are slightly acidic (pH 5.55–6.76). This water type was named the „sulfate waters” (springs 1, 5a, 5b, 13a, 13b i 19). The second group, „bicarbonate waters” were higher mineralized (over 200 mg/L), strongly dominated by bicarbonates and calcium (fig. 3), and with a neutral pH. Waters from the springs 11a and 11b and the sampled cave waters were of this type.

The chemical compositions of the investigated sulfate and bicarbonate waters are very different when considering equivalent proportions (fig. 4). However, in terms of absolute values (mg/L), only the calcium and bicarbonates concentrations differentiate the types (Table 1). All the other ions have similar concentrations in both types of waters (including sulfate). As shown in figure 5, the bicarbonate waters of the investigated area are always related to local marble outcrops. We believe that the sulfate waters, acidic and slightly mineralized, migrate down the natural groundwater flow gradient and then penetrate the marble lens. This aggressive water then dissolves the carbonates, and saturates with the products of this solution process: bicarbonates and calcium.

The study of the chemical compositions of the spring and cave waters resulted in an understanding of the water circulation system in the entire rock massif. Until now, it was reported that spring waters in hard rocks of the mountainous areas of the Sudety resulted from very shallow and low residence circulating waters. If this were the case, the various waters chemical types would not be representative of the host rock mineralogy.

**The key words:** mapping, springs, Sudety Mountains, crystalline rock waters, groundwater circulating model

Prezentowany artykuł zawiera wyniki hydrogeologicznego i hydrogeochemicznego kartowania otoczenia Jaskini Radochowskiej. Ta znacznych rozmiarów jaskinia, położona w zachodniej części Gór Złotych, jest znanym obiektem przyrodniczym Ziemi Kłodzkiej. Powstała w soczewie marmurów otoczonej innymi skałami metamorficznymi — łupkami łyszczykowymi i paragnejsami. Leży nad potokiem Jaskinieć, w górskim, zalesionym obszarze. Jaskinia Radochowska od 1964 r. jest chroniona jako pomnik przyrody nieożywionej (Walczak, 1956; Pulina, 1996; Gawlikowska, 2000; Wojtoń, 1998; Rzonca i in., 2003).

Po wstępnym rozpoznaniu wykonanym w lutym 2003 r. (Rzonca i in., 2003), do dalszych badań wytypowano dwie niewielkie zlewnie, stanowiące bezpośrednio otoczenie jaskini — w tym zlewnię Jaskińca. Wykonane na tym obszarze badania miały na celu zinventaryzowanie źródeł i wysięków oraz określenie cech fizyczno-chemicznych wód źródłanych, a także wód z samej jaskini i z potoku Jaskinieć. Niska mineralizacja wód powierzchniowych wskazywała na bardzo płytkie drogi krążenia wód. Jeśli jednak skomplikowana budowa geologiczna byłaby odwzorowywana przez zróżnicowanie składu chemicznego wód źródłanych, to świadczyłoby to o co najmniej domieszkach wód głębszego krążenia. Uzyskane dane, wraz z wynikami dalszych zaplanowanych prac, mają w przyszłości posłużyć skonstruowaniu modelu krążenia wód podziemnych w badanym rejonie Gór Złotych. Dodat-

kowo, badania miały na celu wykazanie ewentualnych symptomów antropopresji w tym obszarze — górskim, lesistym, i uważanym za nieskażony.

### Charakterystyka terenu badań

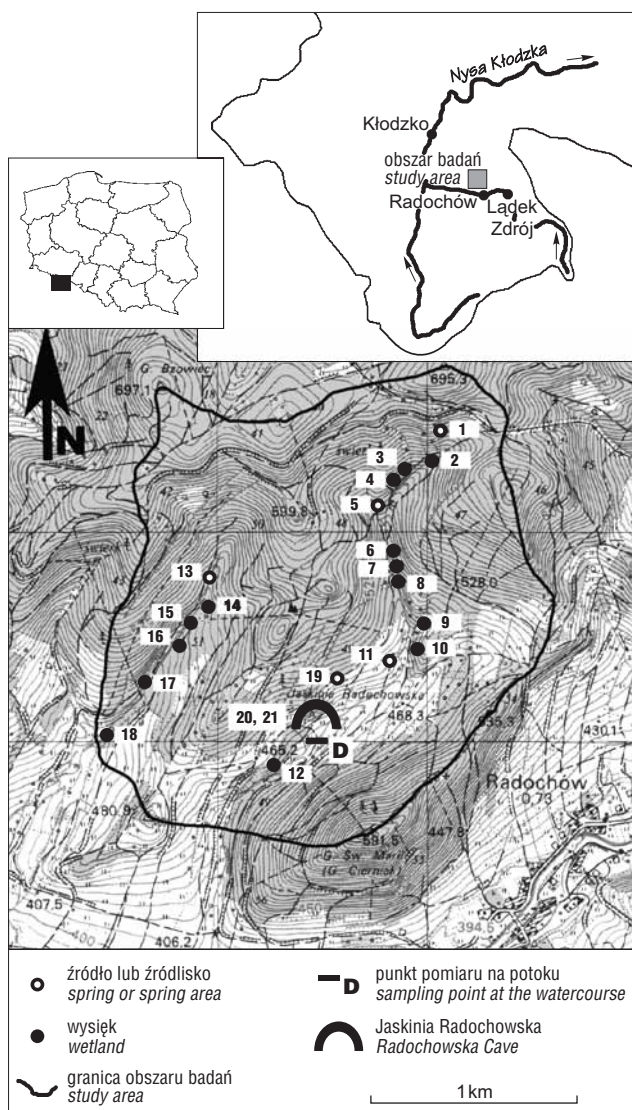
**Lokalizacja.** Badany teren jest położony w Górach Złotych, na północ od wsi Radochów i Trzebieszowice. Pracami objęto zlewnie dwóch potoków — obszar stanowiący bezpośrednio sąsiedztwo Jaskini Radochowskiej. Jeden z potoków to Jaskinieć, przy którym znajduje się jaskinia. Drugi, to bezimienny ciek, którego zlewnia graniczy od zachodu ze zlewnią Jaskińca. Pod względem hydrograficznym oba potoki są prawymi dopływami Białej Łądeckiej, której dolina jest bazą drenażu tego obszaru. Jaskinieć bierze swój początek na stokach Białego Kamienia (661 m n.p.m.) i płynąc w kierunku południowym odwadnia wschodnie stoki Bzowca (697 m n.p.m.) i zachodnie stoki Cierniaka (592 m n.p.m.). Potok drugi wypływa z południowych stoków Bzowca. Łącznie szczegółowym kartowaniem objęto obszar 4 km<sup>2</sup>. Badany teren leży w obrębie województwa dolnośląskiego, powiatu kłodzkiego i gminy Łądek Zdrój (ryc. 1).

**Klimat.** Średnia roczna temperatura powietrza na tym obszarze wynosi ok. 5–6°C. Opady atmosferyczne wynoszą ok. 850 mm rocznie, osiągając maksymalne wartości w lipcu. Średnia roczna liczba dni z zalegającą pokrywą śnieżną wynosi 80. Niskie temperatury powietrza i wysokie sumy opadów sprawiają, że klimatyczny bilans wodny dla tego obszaru jest dodatni i osiąga wartość ok. 300 mm (Kowalski, 1992).

**Budowa geologiczna.** Góry Złote są najdalej wysuniętym na wschód i jednym z najdłuższych pasm górskich w Sudetach. Ciągną się łukiem długości ok. 25 km od Przełęczcy

\*Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, pl. M. Borna 9, 50-205 Wrocław; br@ing.uni.wroc.pl

\*\*Wydział Nauk Przyrodniczych, Uniwersytet Wrocławski, pl. Uniwersytecki 1, 50-137 Wrocław

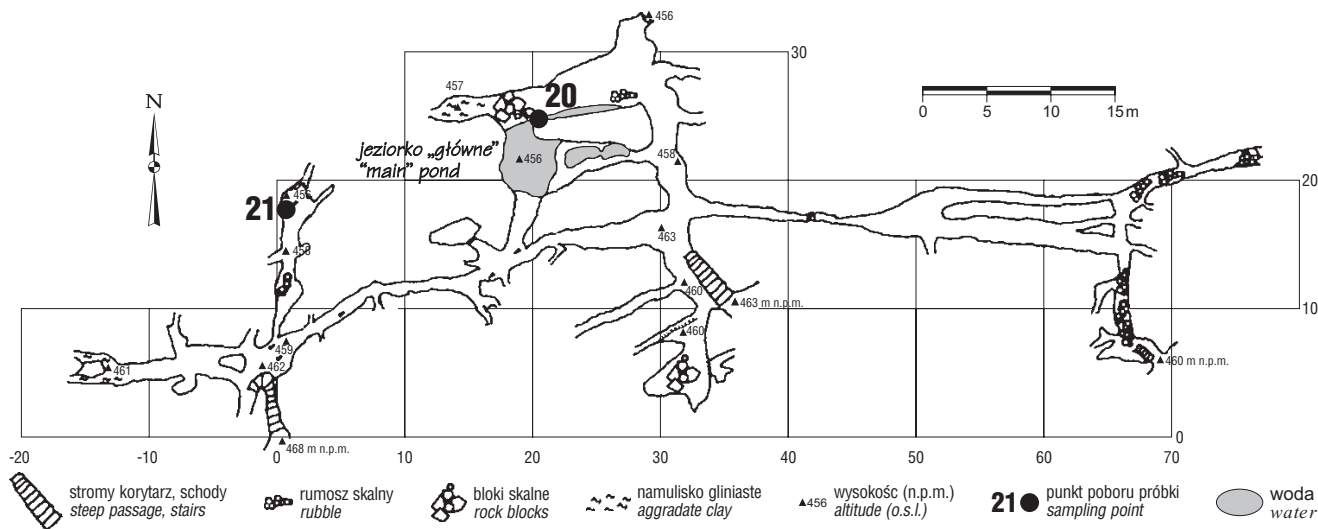


**Ryc. 1.** Mapa dokumentacyjna badanego obszaru. W prawym górnym rogu — obszar badań na tle Kotliny Kłodzkiej  
**Fig. 1.** Map documenting the study area. In the insert: the study area on the contour map of Kłodzko Basin

Kłodzkiej na północnym zachodzie i od obniżenia Laskówki na północy (graniczą tam z Górami Bardzkimi) do przełęczy między Pasiczną a Smrekiem na południu, gdzie stykają się z Górami Bialskimi (Muszer & Lubieniecki, 2001). Budowa geologiczna Gór Żółtych jest złożona. Według niektórych autorów (np. Giża, 1995) można je podzielić na trzy części, inni zaś (np. Cymerman, 1995; Wojciechowska, 1993) dzielą je tylko na dwie — wschodnią i zachodnią. Różnią się one litologią i orientacją struktur tektonicznych. Część zachodnia Gór Żółtych jest położona na zachód od Trzebieiszowic. Charakteryzuje się przebiegiem granic litologicznych w kierunku NW–SE i upadami ku NE. Zbudowana jest w głównej mierze z amfibolitów i gabbroamfibolitów oraz różnych odmian gnejsów. Miejscami występują sjenity oraz wapienie krystaliczne. W części wschodniej (między Trzebieiszowicami a Żółtym Stokiem) przeważają skały metamorficzne: gnejsy, łupki krystaliczne, którym towarzyszą wylewne bazalty (Cymerman, 1995).

Obszar badań znajduje się we wschodniej części Gór Żółtych, granicząc od południa z uskokiem Skrzyńka–Gierałtowska Kopa. Na tym terenie występują skały należące do różnych formacji i serii skalnych (Don i in., 2003). Największy obszar zajmują skały formacji strońskiej (wiek od proterozoiku do kambru). Należące do tej formacji wapienie krystaliczne występują pasem o przebiegu SW–NE w formie niewielkich soczewek. Ponadto występują tu skały proterozoiczne formacji Młynowca. Południowa część obszaru badań jest zbudowana ze skał należących do kompleksu gnejsów śnieżnickich (ordowik) oraz kompleksu gnejsów gierałtowskich (dewon–karbon). Wąskim pasem w środkowej części obszaru badań wychodzą na powierzchnię karbońskie skały intruzywne metamorfiku Śnieżnika i kopuły Velkovrbenskiej. Osady czwartorzędowe w postaci aluwialnych piasków i żwirów ograniczają się do wąskich, o niewielkiej miąższości, wystąpień w dolinach potoków górskich (Don i in., 2003).

**Warunki hydrogeologiczne.** Obszar Gór Żółtych jest skomplikowaną strukturą wodonośną o zróżnicowanych i złożonych warunkach zawodnienia. Ruch wody w skałach krystalicznych ogranicza się do szczelin, spękań, uskoków i rozluźnień stref tektonicznych, co sprawia, że skały krystaliczne są ośrodkiem bardzo niejednorodnym, w którym wodonośność jest determinowana głównie przez stopień zaangażowania tektonicznego.



**Ryc. 2.** Plan jaskini Radochowskiej z zaznaczonymi punktami poboru próbek (jeziorkami); wg Walczaka (1956), zmienione  
**Fig. 2.** Plan of the Radochowska cave, with marked water sampling points (ponds); after Walczak (1956), modified

Według Staški (1996, 2002) w krystalicznych skałach obszaru Sudetów wyróżnić można trzy strefy wodonośne o różnych właściwościach filtracyjnych, czasach reakcji na opad atmosferyczny oraz warunkach zasilania i drenażu. Są to: strefa utworów pokrywowych, strefa spękania szczelinowych skał krystalicznych i strefa skał szczelinowych z wodami głębokiego krążenia. Pierwsza strefa wodonośna, o miąższości do kilkunastu metrów od powierzchni terenu i korzystnych parametrach hydrogeologicznych, ułatwia infiltrację i gromadzenie zasobów wód roztopowych i opadowych. Druga strefa wodonośna występuje do głębokości ok. 50 m. Przepuszczalność jest nieznacznie niższa niż w utworach pokrywowych, jednak gwałtownie maleje wraz z głębokością. Strefa trzecia skał szczelinowych gromadzi wody głębokiego krążenia charakteryzując się najmniejszą pojemnością i przewodnością hydrauliczną. Obejmuje ona głównie strefy uskokowe o znaczeniu regionalnym i może zasilać pozostałe strefy w warunkach such hydrologicznych (Staško, 1996, 2002; Kowalski, 1978; Wojtkowiak, 2000).

Właściwości hydrogeologiczne skał krystalicznych na badanym obszarze nie pozwalają na wyodrębnienie użytkowego piętra wodonośnego. Wody podziemne występujące w skałach paleozoiczno-proterozoicznych — w płytkim poziomie obejmującym pokrywy rumoszowe i szczeliny, spękania oraz próżnie krasowe metamorficznego podłoża — zaliczają się do ultrasłodkich i słodkich. Lokalnie są przekroczone dopuszczalne zawartości jonów azotanowych i (sporadycznie) arsenu dla wód pitnych. Teren badań wchodzi w skład Obszaru Najwyższej Ochrony (ONO) dla współwystępowania wód słodkich i mineralnych w strefie przypowierzchniowej Masywu Sudeckiego (Kleczkowski, 1990; Mroczkowska, 2000).

Badany obszar, obejmujący w przewadze zalesione stoki gór, jest terenem o niskim stopniu narażenia na antropopresję. Ingerencja człowieka praktycznie ogranicza się do prowadzonych na niewielką skalę wycinek lasu. Brak przemysłu, zabudowy i działalności rolniczo-hodowlanej sprawia, że wody nie są tutaj bezpośrednio zagrożone antropogenicznymi zmianami składu chemicznego.

Jedynymi przejawami zawodnienia na tym obszarze są źródła i wysięki. Ciekawe są dwa jeziora występujące w głębszych partiach Jaskini Radochowskiej, która powstała we wkładce wapienia krystalicznego, częściowo na kontakcie z łupkami łyszczykowymi (Pulina, 1996; Rzonca i in., 2003). Studni na obszarze badań nie stwierdzono.

### Metodyka badań

Badania terenowe, wykonane w maju 2003 r., polegały na szczegółowym kartowaniu hydrogeologicznym i hydrogeochemicznym wybranego, niewielkiego obszaru Gór Żółtych. Składały się na nie: wyznaczenie położenia źródeł (odbiornikiem GPS), pomiary ich wydajności, polowe określenie cech fizyczno-chemicznych wody oraz pobór próbek wody do badań laboratoryjnych. Należy zaznaczyć, że badania prowadzono w okresie wilgotnym, przy dosyć wysokim stanie wód, chociaż nie bezpośrednio po opadach.

Każdy odnaleziony w terenie przejaw zawodnienia (źródło, wysięk) był nanoszony na mapę dokumentacyjną (ryc. 1). Jeśli źródła w danym miejscu występowały bardzo blisko siebie tworząc obszar źródliskowy, znaczone je na mapie dokumentacyjnej jako jeden punkt opisany jednym, wspólnym numerem. Poszczególne źródła wchodzące w skład źródliska były oznaczane kolejnymi literami (a, b, c, itd.). Dotyczy to punktów numer 5, 11 i 13 na mapie dokumentacyjnej (ryc. 1). Współrzędne geograficzne przejawów zawodnienia (w układzie 1942) wyznaczono przy użyciu urządzenia do nawigacji satelitarnej GPS SP 24 XC firmy MLR Electronique. Wydajności źródeł były mierzone metodą wolumetryczną, przez ujmowanie całego przepływu w metalową rynienkę. Do pomiarów terenowych temperatury wody, przewodnictwa elektrolitycznego właściwego, potencjału utleniająco-redukcyjnego (Eh) i zawartości tlenu rozpuszczonego w wodzie używaliśmy wieloparametrycznej sondy Quanta G firmy HydroLab.

Z ośmiu źródeł zostały pobrane próbki wody do laboratoryjnych badań składu chemicznego. W przypadku stref źródliskowych były opróbowywane po dwa różne źródła należące do tej samej strefy. Zachowano przy tym procedu-

**Tab. 1. Skrócone wyniki analiz laboratoryjnych wód**  
Table 1. Water chemical analysis results (short form)

Próbka Sample	Mineralizacja Mineralization	SiO <sub>2</sub>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
źródło (spring) 1	96,5	14,60	4,85	1,42	9,17	5,96	4,0	40,87	6,5	8,40
źródło 5a	109,2	16,50	5,70	1,25	11,40	6,35	4,1	42,61	11,5	9,00
źródło 5d	99,8	15,90	5,70	1,24	10,09	5,86	3,4	40,79	8,6	7,40
źródło 11a	241,8	14,60	4,49	1,06	45,59	6,33	3,4	31,22	128,0	6,10
źródło 11b	227,3	13,90	4,67	1,27	42,67	6,38	4,8	34,46	113,0	5,00
źródło 13a	108,6	18,70	6,90	1,27	10,56	6,05	5,2	37,36	12,5	9,30
źródło 13d	103,0	17,30	6,29	1,47	9,50	6,26	4,1	37,57	13,0	6,70
źródło 19	101,6	12,40	5,28	1,31	12,52	3,63	5,1	43,60	17,0	7,40
J. Radochowska, 20 Radochowska Cave, point 20	275,3	13,30	4,00	0,86	56,20	7,13	4,8	46,29	125,0	16,70
J. Radochowska, 21 Radochowska Cave, point 21	322,3	13,30	4,66	1,02	64,38	9,76	5,8	47,19	158,0	17,20
Jaskiniec, profil D watercourse Jaskiniec, point D	134,5	14,90	4,60	1,06	22,30	4,07	3,8	38,46	37,3	7,10

Wszystkie wartości wyrażono w mg/dm<sup>3</sup>, all values in mg/L

rę poboru i konserwacji próbek wymaganą przez laboratorium wykonujące analizy. Jednak z uwagi na trudne warunki terenowe i małe wydajności źródeł nie zawsze możliwe było pobranie próbek bez kontaktu z powietrzem atmosferycznym. Bezpośrednio po dostarczeniu próbek do laboratorium zostały wykonane oznaczenia odczynu wód — w praktyce było to mniej niż 8 godzin po pobraniu próbek. Zastosowano miernik pomiarowy Multi 340i SET z elektrodą kombinowaną (z czujnikiem temperatury) typu Sentix 41-3 (całość produkcji firmy WTW). W trakcie badań laboratoryjnych zawartości kationów i krzemionki oznaczono za pomocą spektrometru masowego z plazmą wzbudzoną indukcyjnie (ICP MS typu ELAN 6100 firmy Perkin Elmer), jonu azotanowego — fotometrycznie, a koncentracje pozostałych anionów metodą miareczkową.

Analizy zbadano wody i pobrano próbki z dwóch jeziorok w Jaskini Radochowskiej. Jedno z nich, ogólnie znane zwiedzającym, zostało na ryc. 2 zaznaczone jako punkt 20. Drugie jezioroko znajduje się w znacznie mniej dostępnej części jaskini, gdzie zachowały się jeszcze szczątki szaty naciekowej (punkt 21). Dodatkowa próbka wody pochodziła z potoku Jaskinieć i została pobrana na wysokości jaskini, w profilu D (ryc. 1). W sumie do badań laboratoryjnych pobraliśmy 11 próbek wody.

Podczas prac terenowych dokonano także makroskopowej oceny i opisu skał odsłaniających się w źródłach i ich bezpośrednim otoczeniu.

### Uzyskane wyniki

Wyniki kartowania hydrologicznego przedstawia mapa dokumentacyjna (ryc. 1). Na mapie tej zaznaczono: Jaskinię Radochowską, źródła i źródlika oraz wysięki, a zatem wszystkie w badanym terenie punkty występień wód podziemnych na powierzchnię.

Na badanym obszarze zinwentaryzowano 13 źródeł, których położenie i wydajność określono w terenie. Zbadano także parametry fizyczno-chemiczne wody w 12 źródłach (pomiar w źródle nr 19 nie był możliwy z uwagi na awarię aparatury). Parametry te zostały oznaczone także dla wód z dwóch jeziorok w Jaskini Radochowskiej (ryc. 2)

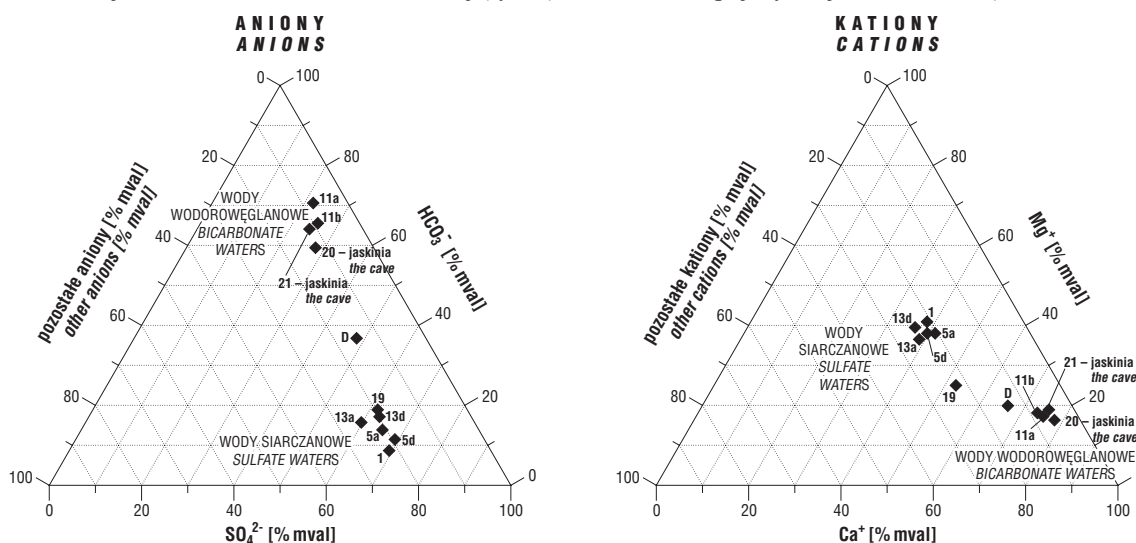
oraz wód potoku Jaskinieć. Wydajności badanych źródeł wynosiły od 0,04 do 1,50 dm<sup>3</sup>/s, temperatura zaś wód źródłanych od 6,20 do 9,23°C (wody w jaskini 9,48 i 10,2°C, a woda z potoku Jaskinieć 12,6°C). Przewodność elektrolityczna właściwa wód źródłanych zawierała się w przedziale od 0,126 do 0,272 mS/cm (w jaskini 0,383 i 0,389 mS/cm, w Jaskińcu 0,200 mS/cm). Wody źródlane charakteryzowały się ponadto zawartością tlenu rozpuszczonego od 8,44 do 9,90 mg/dm<sup>3</sup> oraz potencjałem utleniająco-redukcyjnym Eh od +309 do +421 mV. Wartości pH pochodzą z pomiaru laboratoryjnego, zawierając się w przedziale od 5,55 do 7,25 dla wód źródłanych (w obu próbkach z jaskini 6,98; w Jaskińcu 6,83).

W tabeli 1 przedstawiono skrócone wyniki analiz chemicznych. Mineralizacja badanych wód zawiera się w przedziale od 96,5 do 322,3 mg/dm<sup>3</sup>, przy czym źródła dzielą się na dwie grupy. W pierwszej grupie mineralizacja wynosi ok. 100 mg/dm<sup>3</sup> (źródła: 1, 5a, 5d, 13a, 13d i 19). Drugą grupę wód charakteryzuje wyższa mineralizacja — ponad 200 mg/dm<sup>3</sup> (źródła 11a i 11b oraz obie próbki z Jaskini Radochowskiej: 20 i 21). Grupa pierwsza (o niższych mineralizacjach) cechuje się zawartościami jonów wapnia od 9,17 do 12,52 mg/dm<sup>3</sup> i wodorowęglanowych od 6,5 do 17,0 mg/dm<sup>3</sup>, grupa zaś druga charakteryzuje się stężeniami wapnia od 42,67 do 64,38 mg/dm<sup>3</sup> i wodorowęglanów od 113,0 do 158,0 mg/dm<sup>3</sup>. Woda w Jaskińcu — w zakresie mineralizacji oraz zawartości jonów wapnia i wodorowęglanowych (tab. 1) — ma cechy pośrednie pomiędzy tymi dwoma grupami.

W badanych próbkach stężenia jonów magnezu oscylują pomiędzy 3,63 a 9,76 mg/dm<sup>3</sup>. Wartości najwyższe cechują wody z Jaskini Radochowskiej. Podobnie jest w przypadku zawartości jonów azotanowych (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), które przyjmują wartości z przedziału od 5,00 do 17,20 mg/dm<sup>3</sup> (dla całej populacji próbek).

Zawartości krzemionki zawierają się w przedziale od 12,40 do 18,70 mg SiO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>. Najwyższe wartości charakteryzują wody ze źródlika 13, wartości zaś najniższe — wody ze źródła 19 położonego obok Jaskini Radochowskiej oraz wody z samej jaskini.

We wszystkich próbkach odnotowano zbliżone zawartości następujących jonów: sodu (4,00–6,90 mg/dm<sup>3</sup>),



Ryc. 3. Równoważnikowe relacje w składzie jonowym badanych wód; „pozostałe aniony” to głównie Cl<sup>-</sup> i NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, a „pozostałe kationy” to głównie Na<sup>+</sup>. „D” to próbka wody z potoku Jaskinieć

Fig. 3. Equivalent relations within the ionic composition of analyzed waters; “other anions” are mainly Cl<sup>-</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; “other cations” are mainly Na<sup>+</sup>. “D” is a sample of water from the Jaskinieć stream

potasu (0,86–1,47 mg/dm<sup>3</sup>) oraz chlorkowego (3,4–5,8 mg/dm<sup>3</sup>) i siarczanowego (31,22–47,19 mg/dm<sup>3</sup>). Obecności żelaza oraz jonu azotynowego nie stwierdzono w żadnej z badanych próbek (Fe<sup>2+</sup> < 0,01 mg/dm<sup>3</sup>; NO<sub>2</sub> < 0,005 mg/dm<sup>3</sup>).

Podczas kartowania zaobserwowano różnicę temperatury (1,37°C) i odczynu (1,08 pH) wód w źródłach 5a i 5d (odległych o 12 m). W przypadku źródeł 5b i 5c, odległych od siebie zaledwie o 1 metr, różnica temperatury wynosiła 1,48°C.

Wyniki kartowania pokazały, że w obrębie drugiej (obok Jaskińca) badanej zlewni, źródła występują jedynie w strefie źródłiskowej, gdzie ciek ten się formuje (punkt 13, ryc. 1).

Dodatkowo została określona litologia skał towarzyszących źródłom. Były to paragnejsy, łupki łyszczykowe i leptynity serii strońskiej, na ogół silnie skataklazowane i zsylikowane.

### Dyskusja wyników

**Wyniki kartowania — krenologia.** Zasadniczym wynikiem kartowania hydrogeologicznego otoczenia Jaskini Radochowskiej, a ściślej mówiąc zlewni dwóch potoków (w tym Jaskińca), jest mapa dokumentacyjna (ryc. 1). Podczas prac terenowych odnaleziono w terenie 13 źródeł oraz 14 wysięków. Wskaźnik krenologiczny (dla źródeł i wysięków) na badanym obszarze jest równy 4,25. Wydajności źródeł są niewielkie (0,04–1,50 dm<sup>3</sup>/s) i lokują te wypływy w V–VII klasie wydajności wg Meinzera (Pazdro & Kozerski, 1990). Położenie źródeł nad poziom morza zamyka

się w przedziale 465–610 m. Taka charakterystyka krenologiczna nie odbiega od podawanych wcześniej dla sąsiednich obszarów: Masywu Śnieżnika i Gór Bystrzyckich, a także Sudetów Zachodnich (Ciężkowski i in., 1997a; Staško, 1996 i 2002; Wojtkowiak, 2000; Buczyński, 2001; Oli-chwer, 2003; Buczyński i in., 2003).

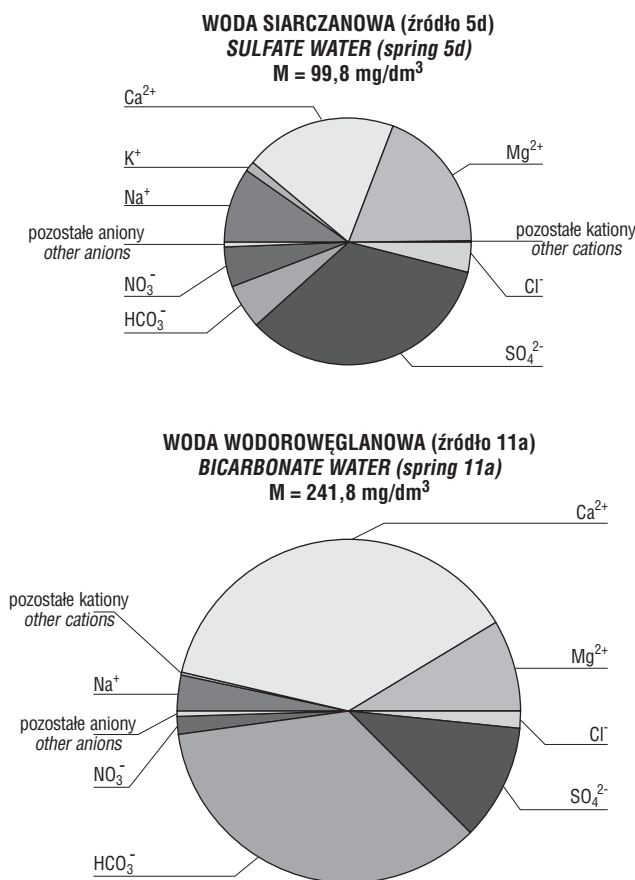
Praktycznie wszystkie powierzchniowe przejawy zawodnienia znajdują się w strefach przydennych dolin (wyjątkiem jest źródło nr 19). Takie występowanie źródeł mogłoby wskazywać, że na badanym terenie wody opadowe infiltrują bardzo płytko i migrując w obrębie pokryw zwietrzelinowych i gleby (oraz spływając po powierzchni) przemieszczają się w dół zboczy, gdzie drenowane są przez holocenijskie utwory rumoszowe wyścielające doliny. W formie rumoszowych źródeł dolinnych, wysięków i dopływu dokorytowego zasilają wody powierzchniowe. Za postawieniem takiej tezy mogła także przemawiać stwierdzona już wcześniej bardzo niska mineralizacja wód, potwierdzona zresztą przez prezentowane tutaj wyniki badań.

**Dwa chemiczne typy wód: wody siarczanowe i wody wodorowęglanowe.** Już z pobieżnej analizy wyników badań chemicznych wód wynika, że mineralizacja i skład chemiczny wyraźnie podzieliły badane próbki na dwie grupy.

Grupa pierwsza to próbki wód niskozmineralizowanych (M ≈ 100 mg/dm<sup>3</sup>), zbliżonych do ultrasłodkich według klasyfikacji Pazdry i Kozerskiego (1990). Mineralizacja tego rzędu jest typowa dla wód podziemnych występujących w skałach krystalicznych w górskich obszarach Sudetów (Staško, 1996; Ciężkowski i in., 1997a). W wodach tej grupy, wśród anionów, bardzo wyraźnie dominują siarczany — od 59,7 do 69,3% mval (ryc. 3). Jest to sytuacja nietypowa, gdyż w nisko zmineralizowanych, płytko krążących wodach dominującym anionem są zazwyczaj wodorowęglany (Macioszczyk & Dobrzyński, 2002). Jony wapnia i magnezu występują w zbliżonych ilościach, po ok. 40% mval (ryc. 3). Wody te są kwaśne — ich pH waha się w granicach 5,55–6,76. Wskaźnik rHCO<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> ma wartości w przedziale 0,44–1,35, co jednoznacznie wskazuje na wietrzenie krzemionów jako źródło krzemionki (Razowska, 1999). Dla potrzeb niniejszego opracowania nazwano wody o wymienionych cechach „wodami siarczanowymi”. Ich typ chemiczny według Altowskiego-Szwieca (Macioszczyk, 1987), to: SO<sub>4</sub>–Ca–Mg, SO<sub>4</sub>–Mg–Ca i SO<sub>4</sub>–HCO<sub>3</sub>–Ca–Mg. Do grupy tej zaliczają się wody ze źródeł 1, 5a, 5d, 13a, 13d i 19.

Drugi typ wód, to wody silniej zmineralizowane (227–322 mg/dm<sup>3</sup>). Wśród anionów dominują wodorowęglany (59,4–70,6 % mval, ryc. 3), z kationów zaś wapń (73,5–78,0 % mval, ryc. 3). Odczyn tych wód jest bliski obojętnemu: wartości pH wynoszą 6,79–7,25. Wskaźnik rHCO<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> ma tu wartości 8,01–11,70 (większe niż 10 wskazują na ługowanie węglanów — Razowska, 1999). Wody te, typu HCO<sub>3</sub>–SO<sub>4</sub>–Ca, różnią się wyraźnie od opisanych powyżej wód siarczanowych (ryc. 4). W niniejszej pracy określono je jako „wody wodorowęglanowe”. Do tej grupy zaliczają się obie próbki z Jaskini Radochowskiej (20 i 21) oraz ze źródeł 11a i 11b.

Woda z potoku Jaskiniec, pobrana w profilu obserwacyjnym „D” na wysokości Jaskini Radochowskiej, wyka-



Ryc. 4. Diagramy typów chemicznych wód (w % mval)  
 Fig. 4. Diagrams depicting the described water types (as % mval)

zuje cechy pośrednie między opisanymi grupami (ryc. 3) i najprawdopodobniej jest ich mieszaniną.

Należy tutaj zaznaczyć, że występowanie w górskich źródłach regionu Kotliny Kłodzkiej wód dwójakiego charakteru chemicznego (siarczanowych i wodorowęglanowych) nie jest wcale nowo stwierdzonym faktem. Wielokrotnie zwracali już na to uwagę badający wody źródlane obszarów górskich w Kotlinie Kłodzkiej. W Masywie Śnieżnika Ciężkowski z zespołem (1997a) opisali wody typu  $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Ca-Mg}$  oraz  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca(-Mg)}$  i  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ . Autorzy ci piszą, iż jest widoczna przestrzenna strefowość hydrochemiczna — przy wzroście wysokości nad poziom morza wzrasta rola jonów siarczanowych, jony zaś wodorowęglanowe stają się składnikiem podrzędnym. Na załączonej do tego opracowania *Mapie hydrogeochemicznej* (Ciężkowski i in., 1997b) widać, że wody o wyższej mineralizacji i charakterze  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$  i  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$  towarzyszą wychodniom wapieni i erlanów. Także Olichwer (2003) stwierdził istnienie analogicznych dwóch typów wód źródłanych w zlewni Małej Bystrzycy w Górach Bystrzyckich. Opisany przez niego „typ I” to kom-

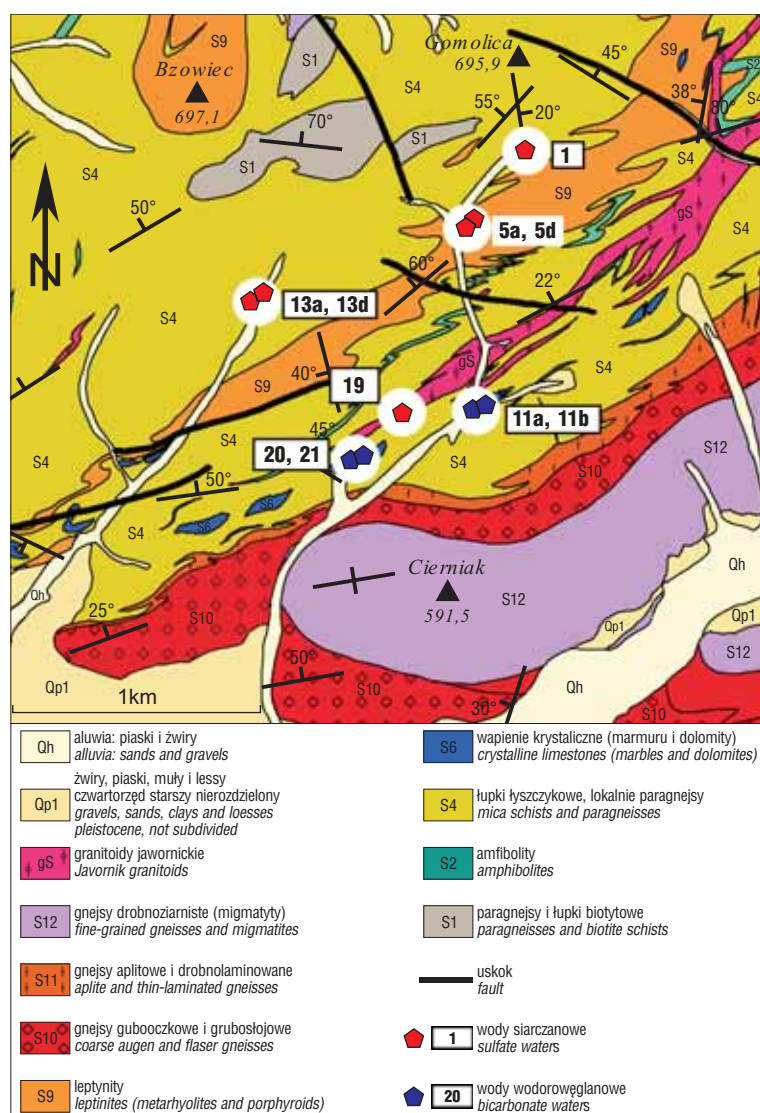
pozycja  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$ , zaś „typ II” to  $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Ca-Na}$  lub  $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Ca}$ . Badający wody źródlane w Górach Sowich Staško (1996) również stwierdził obecność dwóch typów wód: jednego z dominacją jonów wodorowęglanowych (przy wyższej mineralizacji) oraz drugiego, z dominacją jonów siarczanowych i o niższej mineralizacji.

**Podobieństwa między wodami siarczanowymi a wodorowęglanowymi.** Koncentracje jonu siarczanowego w obu grupach próbek mają podobne wartości (31,22–47,19  $\text{mg SO}_4/\text{dm}^3$ ) i nie różnicują tych wód na wody siarczanowe i wodorowęglanowe. Wynika z tego, że zarówno na dominację siarczanów (w wodach siarczanowych), jak i na brak tej dominacji (wody wodorowęglanowe), nie wpływają bezpośrednio zawartości tego jonu, ale wyższe lub niższe stężenia jonu wodorowęglanowego. Zanotowane koncentracje siarczanów należy uznać za wysokie. Witczak i Adamczyk (1995) podają wprawdzie wartości tła od 5 do 60  $\text{mg}/\text{dm}^3$ , ale już dla terenów górskich przyjmuje się 20,3  $\text{mg}/\text{dm}^3$  (Macioszczyk & Dobrzyński, 2002). Ciężkowski z zespołem (1997a) przyjęli tło siarczanów dla Masywu Śnieżnika w zakresie od 5 do 28  $\text{mg}/\text{dm}^3$ , zaś na *Mapie hydrogeochemicznej Masywu Śnieżnika* (Ciężkowski i in., 1997b)

specjalnie wyróżnili obszary, gdzie koncentracje przekraczają 20  $\text{mg}/\text{dm}^3$ . W badanych przez nas próbkach te wartości są wyraźnie wyższe (tab. 1). Źródła takich podwyższonych koncentracji siarczanów można upatrywać zarówno w naturalnych procesach (wietrzenie minerałów zawierających siarkę), jak i w imisjach antropogenicznych. Niezależnie od pochodzenia, wysokie zawartości jonów siarczanowych pozostają lokalną anomalią.

Jon azotanowy ma w badanych wodach koncentracje od 5,00 do 17,20  $\text{mg NO}_3/\text{dm}^3$ . Naturalne tło wg Witczaka i Adamczyka (1995) wynosi od 0 do 0,22  $\text{mg}/\text{dm}^3$  (azotu azotanowego), co odpowiada wartościom od 0 do 0,97  $\text{mg NO}_3/\text{dm}^3$ . Z kolei Macioszczyk i Dobrzyński (2002) podają dla terenów górskich średnią wartość 2,26  $\text{mg NO}_3/\text{dm}^3$ . Zanotowane w trakcie prowadzonych badań stężenia są zdecydowanie wyższe. Jest to o tyle zastanawiające, że teren badań leży w obrębie kompleksu lasów. Oprócz ekstensywnej gospodarki leśnej oraz turystyki pieszej (rozwinętej na bardzo niewielką skalę), brak tam jest działalności człowieka. Jednak Ciężkowski z zespołem (1997a) także wskazują na podwyższone zawartości azotanów w Masywie Śnieżnika i podają tło: od 3,5 do 15,5  $\text{mg NO}_3/\text{dm}^3$ . Również Staško (1996) dokumentuje ten rząd wielkości koncentracji jonu azotanowego w wodach źródłanych z Gór Sowich. Nie jest zatem wykluczone, że odnotowane stężenia jonu azotanowego są przejawem podwyższonego regionalnego tła hydrogeochemicznego, a nie tylko lokalną anomalią.

Najwyższe koncentracje jonu azotanowego (16,70 i 17,20  $\text{mg NO}_3/\text{dm}^3$ ) charakteryzują wody z Jaskini Radochowskiej. Pozostałe wartości (w źródłach i cieku) nie przekraczają 10  $\text{mg NO}_3/\text{dm}^3$  (tab. 1). Macioszczyk i Dobrzyński (2002) przytaczają przykład zawyżonych zawartości tego składnika w wodach w jaskiniach, co może być związane z obecnością



Ryc. 5. Lokalizacja punktów poboru próbek ze zróżnicowaniem według typu wody. Wykorzystano fragment mapy geologicznej (Don i in., 2003)

Fig. 5. The sampling points localization (differentiated according to their water types) plotted on the fragment of the geological map after Don et al.,

odchodów nietoperzy. Być może to mogłoby w pewnym stopniu wyjaśniać wyróżnianie się wód jaskini na tle pozostałych próbek (w zakresie zawartości azotanów).

We wszystkich badanych próbkach zanotowano podobne koncentracje jonów sodu ( $4,00\text{--}6,90\text{ mg/dm}^3$ ) i potasu ( $0,86\text{--}1,47\text{ mg/dm}^3$ ) oraz chlorkowego:  $3,4\text{--}5,8\text{ mg/dm}^3$  (tab. 1). Stężenia tych jonów (podobnie jak siarczanowych i azotanowych) są podobne w wodach siarczanowych i wodorowęglanowych. Zawartości jonów sodowego i chlorkowego w badanych wodach można uznać za bardzo niskie w stosunku do średnich wartości tła (Macioszczyk & Dobrzyński, 2002). Są one także niższe od stwierdzonych przez Staškę (1996) w wodach źródłanych w Górach Sowich. Ciężkowski z zespołem (1997a) podają następujące wartości tła dla Masywu Śnieżnika: sól od  $1,5$  do  $5,5\text{ mg/dm}^3$ , potas od  $0,5$  do  $2,0\text{ mg/dm}^3$  oraz jon chlorkowy od  $0,1$  do  $4,0\text{ mg/dm}^3$ . W zestawieniu z tymi wartościami widać, że zanotowane koncentracje nie odbiegają od tła regionalnego.

Opisanych typów wód nie różnicują także zawartości żelaza ( $\text{Fe}^{2+}$ ), którego obecności nie stwierdzono w żadnej próbce.

**Wysokie zawartości krzemionki w obu typach wód.** W obu opisanych grupach wód (czyli siarczanowych i wodorowęglanowych) koncentracje krzemionki są podobne — jest to przedział od  $12,40$  do  $18,70\text{ mg SiO}_2/\text{dm}^3$ . Zakres tła geochemicznego wynosi od  $1$  do  $30\text{ mg/dm}^3$  (Witczak & Adamczyk, 1995). W przypadku badanych wód udział krzemionki w ogólnej (niskiej lub bardzo niskiej) mineralizacji należy jednak uznać za istotny. Zwłaszcza, że w wodach opadowych w Kotlinie Kłodzkiej zanotowane zawartości krzemionki wahały się zaledwie od  $0,1$  do  $0,9\text{ mg SiO}_2/\text{dm}^3$  (Modelska, inf. ustna). Według Macioszczyk (1987) wody w skałach krystalicznych często charakteryzują się podwyższoną zawartością krzemionki, zwłaszcza przy niskim pH (jak to ma miejsce w badanych próbkach). Bardzo zbliżone do uzyskanych zawartości krzemionki podają Modelska i Staško (2003) dla wód źródłanych w Górach Bystrzyckich.

W badanych próbkach wskaźnik  $\text{SiO}_2/(\text{rNa}+\text{rK}-\text{rCl})$  ma wartości z przedziału od  $1,44$  do  $3,64$ . Według Razowskiej (1999) wskazuje to na pochodzenie krzemionki z wietrzenia skał (granitów, bazaltów, lub piaskowców kwarcytowych). Jeśli przyjąć za Hoeg i in. (2000), że krzemionka może być traktowana jako jeden ze wskaźników pochodzenia wód, to odnotowane w badanych próbkach podwyższone zawartości muszą świadczyć o istotnych domieszkach wód głębszego krążenia w badanych wodach źródłanych.

**Skład chemiczny a model przepływu wód.** Uzyskane wyniki analiz chemicznych wskazują, że chociaż wody należące do obu typów zdecydowanie różnią się chemizmem, to wynika to jedynie z różnej zawartości jonów wodorowęglanowych i wapniowych (tabela 1). Stężenia jonów siarczanowych (dosyć wysokie) i magnezowych, krzemionki oraz pozostałych składników są bardzo podobne w obu grupach. Zmieniają się tylko proporcje w kompozycjach jonowych między dwoma typami wód, gdyż wody wodorowęglanowe są wzbogacone w produkty ługowania wapieni. Ich skład chemiczny jest charakterystyczny dla wód krasowych (Macioszczyk, 1987).

Po naniesieniu lokalizacji punktów pobrania prób wody na fragment mapy geologicznej przedstawiający badany obszar (Don i in., 2003) powstał szkic, który zdaje się dobrze wyjaśniać zróżnicowanie chemiczne wód (ryc. 5). Widać, że wszystkie źródła, w których stwierdzono wody siarczanowe, znajdują się na obszarze wschodni krystalicznych skał niewęglanowych. Obszar badań jest przecięty wąską strefą skał węglanowych (marmurów) i wszystkie próbki wód wodorowęglanowych (ze źródeł i z jaskini) pochodzą właśnie z tej strefy (ryc. 5). Ponieważ źródła z wodami siarczanowymi występują powyżej wschodni marmurów (zarówno w sensie położenia, jak i kierunku spływu wód podziemnych), to można przypuszczać, że szczelinowe wody siarczanowe (kwaśne i agresywne) napotykają na drodze spływu strefę marmurów, i w jej obrębie zmieniają swój charakter, stając się wodami wodorowęglanowymi. Ich skład wzbogaca się w produkty ługowania skał węglanowych: jony wodorowęglanowe i wapniowe. Stwierdzona przez Ciężkowskiego z zespołem (1997a) w Masywie Śnieżnika przestrzenna strefowość geochemiczna i zmiana wód typu siarczanowego na wodorowęglanowe wraz ze zmniejszeniem wysokości, występuje także w badanym terenie. Jest jednak wyłącznie funkcją zmienności budowy geologicznej.

Zmiany składu chemicznego wody wymagają pewnego (dość znacznego) czasu jej przebywania w środowisku skalnym. Dlatego związek budowy geologicznej i składu chemicznego (typu) wód świadczy o ich pochodzeniu z głębszego krążenia. Na pewno nie może się zatem utrzymać postawiona powyżej robocza teza o drenowaniu przez badane źródła wód filtrujących jedynie w obrębie pokryw zwietrzelinowych. Dodatkowo różnice pH i temperatury wód w źródłisku 5 potwierdzają tezę o głębszym zasilaniu tych źródeł; jest prawdopodobne, że w obrębie jednego źródłiska na powierzchnię wydostają się wody pochodzące z różnych systemów szczelinowych. Wydaje się, że źródła w badanym obszarze są typu szczelinowego i są zasilane przez głębsze systemy krążenia — strefy drugą i trzecią wg Staški (2002), z mniejszym udziałem strefy pierwszej, najpłytszej. We wszystkich badanych źródłach odsłaniają się skały charakterystyczne dla stref silnie zaangażowanych tektonicznie, co może dodatkowo świadczyć o związkach tych źródeł z uskoki. Potwierdzają to także stosunkowo wysokie koncentracje krzemionki w badanych wodach. Dość wysokie są natomiast zawartości rozpuszczonego tlenu (od  $6,56$  do  $9,67\text{ mg/dm}^3$ ) w stosunku do tła wg Witczaka i Adamczyka (1995), które wynosi  $0\text{--}5\text{ mg/dm}^3$ . Te stężenia, oraz związane z nimi warunki utleniające (Eh od  $+268$  do  $+421\text{ mV}$ ), świadczą o istotnym udziale wód pochodzących z bieżącej infiltracji. Nie można zatem uznać badanych wód źródłanych za wody pochodzące wyłącznie z głębokiego krążenia.

**Wody w Jaskini Radochowskiej.** Osobną kwestią jest, czy jaskinia Radochowska sięga do strefy freaticznej (nasyconej) w marmurach, czy też jeziorka w niej występujące pochodzą wyłącznie z nagromadzenia wód wykraplających się w jaskini i tworzących lokalny poziom zawieszony na wkładce utworów niskoprzepuszczalnych. Według planu jaskini autorstwa Walczaka (1956) oba jeziorka mają rzędną zwierciadła wody  $456\text{ m n.p.m.}$  (ryc. 2). Rejon ten jest drenowany przez potok Jaskinię, który ok.  $100$  metrów od wejścia do jaskini ma rzędną zwier-

ciadła wody 445 m n.p.m. (ryc. 1). Trudno jednoznacznie powiedzieć, czy możliwe jest występowanie tam aż tak dużego spadku hydraulicznego. Zwierciadło wody w obu jeziorach leży na identycznej wysokości, co przemawia raczej za strefą freaticzną. Nie jest to jednak argument rozstrzygający, gdyż mogłoby tam istnieć bezpośrednie połączenie hydrauliczne między jeziorami tworzącymi poziom zawieszony w obrębie strefy wadycznej masywu. Z kolei przeciw wspólnemu poziomowi zawieszonemu (dwa połączone jeziora na nieprzepuszczalnym podłożu) świadczą wyraźne różnice cech fizyczno-chemicznych wód z obu jezior. Zatem za bardziej prawdopodobne należy uznać, że poziom wody w jeziorach w Jaskini Radochowskiej reprezentuje położenie zwierciadła wód podziemnych, zaś wody te pochodzą, przynajmniej częściowo, z lateralnych dopływów do jaskini (w strefie freaticznej). Potwierdzają to także wyniki analiz chemicznych, które sugerują wcześniejsze przebywanie badanych wód wodorowęglanowych w środowisku niewęglanowych skał metamorficznych.

### Podsumowanie

W ramach przeprowadzonych prac zinventaryzowano źródła i wysięki w otoczeniu Jaskini Radochowskiej w Górach Złotych (Wschodnie Sudety). W wyniku badań laboratoryjnych pobranych próbek wody (ze źródeł, jaskini i potoku Jaskiniec) możliwe było wydzielenie dwóch chemicznych typów wód, znacznie się od siebie różniących. Były to: związane z niewęglanowymi skałami metamorficznymi wody siarczanowe, oraz występujące w obrębie marmurów wody wodorowęglanowe. Skład wód wodorowęglanowych wskazuje na ich wcześniejsze przebywanie w środowisku analogicznym do tego, jakie reprezentują wody siarczanowe. Prawdopodobnie wody siarczanowe na drodze swej migracji przechodzą ze skał niewęglanowych w obręb soczewki marmurów i tu wzbogacają się w produkty ługowania węglanów: jony wapnia i wodorowęglanowe. Wykazano ścisłą korelację między budową geologiczną a typem chemicznym wód źródłanych: wszystkie badane wody wodorowęglanowe występują na obszarze wychodni marmurów. Stwierdzono, że to budowa geologiczna terenu decyduje o chemicznym charakterze wód, stwierdzona zaś przez Ciężkowskiego i in. (1997a) strefowość przestrzenna jest jej funkcją. Zarazem uzasadnione wydaje się twierdzenie, że wody źródlane w badanym obszarze nie pochodzą ze spływu pod powierzchniowego. W zbadanych próbkach dominują raczej wody pochodzące z głębszych systemów krążenia, czyli stref drugiej i trzeciej według Staški (2002). Pełne zrozumienie modelu przepływu wód podziemnych w badanym terenie wymaga jednak dalszych obserwacji.

W wyniku badań stwierdzono w wodach podwyższone zawartości jonów azotanowych i siarczanowych; ich pochodzenie pozostaje nie wyjaśnione.

Serdecznie dziękujemy prof. dr hab. S. Staśce za inspirację, pomoc i cenne uwagi. Bardzo dziękujemy także prof. dr hab. J. Donowi za udostępnienie niepublikowanej (gdy powstawał artykuł) mapy geologicznej (Don i in., 2003) oraz dr W. Sroce za pomoc w ocenie litologii skał.

Jesteśmy również bardzo wdzięczni za tłumaczenia na język angielski, które wykonał A. Drużyński.

Prace były finansowane z Badań Statutowych Uniwersytetu Wrocławskiego nr 1017/S/ING/03/XII oraz Badań Własnych Uniwersytetu Wrocławskiego 2022/W/ING/03-46.

### Literatura

- BUCZYŃSKI S., STAŠKO S. & RZONCA B. 2003 — O potrzebie stworzenia bazy danych źródeł. Współ. Probl. Hydrogeol., 11, 1: 253–258.
- BUCZYŃSKI S. 2001 — Wody podziemne źródłowego odcinka Nysy Kłodzkiej, ark. Międzylesie. Arch. Inst. Nauk Geol., Uniw. Wrocław.
- CIĘŻKOWSKI W., KRYZA H., KRYZA J., PULINA M., REHAK J., STAŠKO S. & TARKA R. 1997a — Rozdział 9: Wody podziemne i wpływ czynników antropogenicznych na ich zasoby i jakość. [W:] Jahn A., Kozłowski S. & Pulina M. (red.), Masyw Śnieżnika — zmiany w środowisku przyrodniczym. Wyd. PAE: 147–167.
- CIĘŻKOWSKI W., KRAWCZYK W., KRYZA H., KRYZA J. & REHAK J. 1997b — Mapa hydrogeochemiczna Masywu Śnieżnika (skład chemiczny i jakość wód podziemnych). [W:] Jahn A., Kozłowski S. & Pulina M. (red.), Masyw Śnieżnika — zmiany w środowisku przyrodniczym. Wyd. PAE, Warszawa. Załącznik 6.
- CYMERMAN Z. 1995 — Lewoskrętna strefa ścinania Złoty Stok–Trzebiezowice w Górach Złotych. [W:] Muszer A. (red.), Mat. Konf. Nauk. Góry Złote — geologia, okruszczenie, ekologia. Wrocław: 11–19.
- DON J., SKĄCEL J. & GOTOWAŁA R. 2003 — Mapa geologiczna metamorfiku Śnieżnika i Kopuły Velkovrbenskiej. Geol. Sudet., 35.
- GAWLIKOWSKA E. 2000 — Ochrona georóżnorodności na Dolnym Śląsku. Państw. Inst. Geol.
- GIŻA W. 1995 — Informacja na temat ekologii Gór Złotych. [W:] Muszer A. (red.), Mat. Konf. Nauk. Góry Złote — geologia, okruszczenie, ekologia. Wrocław: 78–85.
- HOEG S., UHLENBROOK S. & LEIBUNDGUT CH. 2000 — Hydrograph separation in a mountainous catchment combining hydrochemical and isotopic tracers. Hydrological Processes, 14: 1199–1216.
- KLECKOWSKI A.S. (red.) 1990 — Mapa obszarów Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony 1 : 500 000; z objaśnieniami tekstowymi. IHHI AGH, Kraków.
- KOWALSKI S. 1978 — Kilka obserwacji hydrogeologicznych na obszarze Masywu Śnieżnika. Acta Univ. Wratisl., 313. Pr. Geol.-Miner., 5: 343–348.
- KOWALSKI S. 1992 — Czynniki naturalne warunkujące występowanie wód podziemnych w regionie sudeckim. Acta Univ. Wratisl., 1324. Pr. Geol.-Miner., 25: 1–73.
- MACIOSZCZYK A. 1987 — Hydrogeochemia. Wyd. Geol.
- MACIOSZCZYK A. & DOBRZYŃSKI D. 2002 — Hydrogeochemia strefy aktywnej wymiany wód podziemnych. PWN.
- MODELSKA M. & STAŠKO S. 2003 — Skład chemiczny oraz oddziaływanie wód podziemnych na wody powierzchniowe w górnej części zlewni Kamienicy. Współ. Probl. Hydrogeol., 11, 2: 233–236.
- MROCKOWSKA B. 2000 — Objasnienia do mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1 : 50000, ark. Złoty Stok (0902). Państw. Inst. Geol.
- MUSZER A. & LUBIENIECKI W. 2001 — Złoty Stok i okolice. Wyd. KORAB, Wrocław.
- OLICHWER T. 2003 — Zasoby wodne w obszarach górskich i przedgórskich na przykładzie Masywu Śnieżnika, Gór Bystrzyckich oraz Rowu górnej Nysy Kłodzkiej. Arch. Uniw. Wrocław., nr W-V/4000/Olichwer.
- PAZDRO Z. & KOZERSKI B. 1990 — Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol.
- PULINA M. (red.) 1996 — Jaskinie Sudetów. PTPNoZ, Warszawa.
- RAZOWSKA L. 1999 — Wskaźniki hydrochemiczne — mało przydatne, czy niedoceniane? Współ. Probl. Hydrogeol., 9: 307–313.
- RZONCA B., BUCZYŃSKI S. & KRAŠNICKI S. 2003 — Wody krasowe wybranych obszarów Ziemi Kłodzkiej. Współ. Probl. Hydrogeol., 11, 1: 215–220.
- STAŠKO S. 1996 — Wody podziemne w skałach krystalicznych na podstawie badań wybranych obszarów Sudetów polskich. Acta Univ. Wratisl., 1870. Pr. Geol.-Miner., 53: 1–85.
- STAŠKO S. 2002 — Zawodnienie szczelinowych skał krystalicznych w Sudetach. Biul. Państw. Inst. Geol., 404: 249–262.
- WALCZAK W. 1956 — Największa jaskinia Sudetów. Wszechświat, 6: 133–135.
- WITCZAK S. & ADAMCZYK A.F. 1995 — Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczenia wód podziemnych i metod ich oznaczania. Tom II. Biblioteka Monitoringu Środowiska, PIOŠ, Warszawa.
- WOJCIECHOWSKA I. 1993 — Budowa geologiczna i tektonika Gór Złotych i Krowiarek jako tło rozwoju mineralizacji rudnej (Ziemia Kłodzka, Sudety). Acta Universitatis Wratislaviensis, 1412. Pr. Geol.-Miner., 33: 5–61.
- WOJTKOWIAK A. 2000 — Reżim źródeł obszarów krystalicznych Sudetów Zachodnich. Biul. Państw. Inst. Geol., 390: 167–206.
- WOJTON A. 1998 — Jaskinia Radochowska. Jaskinie, 3 (10): 5.