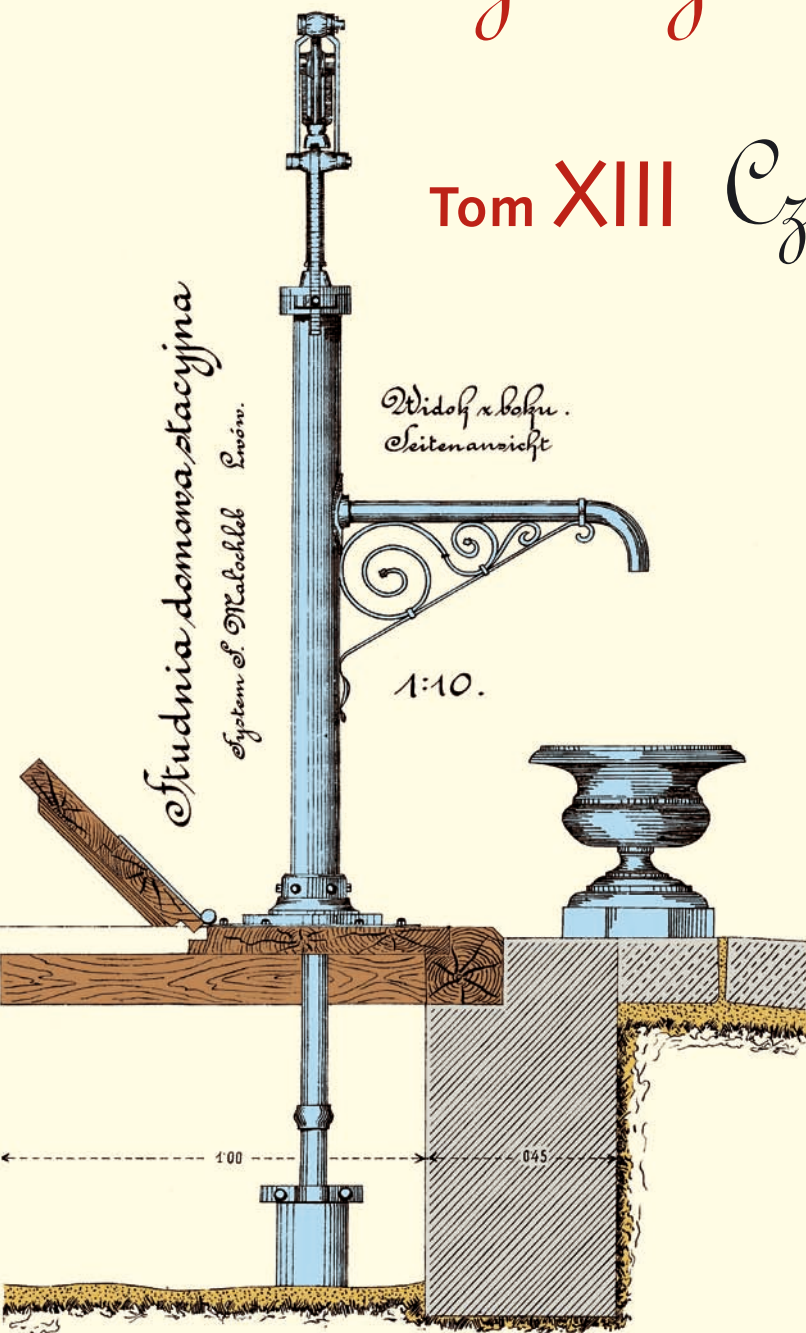


Współczesne problemy hydrogeologii

Tom XIII Część 3.





Wydanie publikacji zostało sfinansowane przez
Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

Recenzenci:

Jadwiga Szczepańska
Wojciech Ciężkowski
Józef Górski
Andrzej Kowalczyk
Ewa Krogulec
Grzegorz Malina
Jerzy Małecki
Marek Marciniak
Jacek Motyka
Marek Nawalany
Jan Przybyłek
Andrzej Rózkowski
Andrzej Sadurski
Andrzej Szczepański
Stanisław Staško
Stanisław Witczak
Andrzej Zuber

Redakcja: Andrzej Szczepański, Ewa Kmiecik, Anna Żurek

Teksty artykułów w częściach 2. i 3. zostały wydrukowane z wersji elektronicznej dostarczonej przez Autorów, metodą bezpośredniej reprodukcji (*camera ready*)

Projekt okładki i stron tytułowych: Andrzej Tomaszewski

Na okładce: fragment projektu studni miejskiej we Lwowie z 1906 roku
— ze zbiorów prof. **Antoniego S. Kleczkowskiego** (1922–2006)

Korekta: Zespół

Skład komputerowy systemem $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$: pre $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ t, www.pretext.com.pl

Druk: ROMA-POL, www.romapol.pl

ISBN-13 978-83-88927-16-4

Bartłomiej Rzonca, Sebastian Buczyński

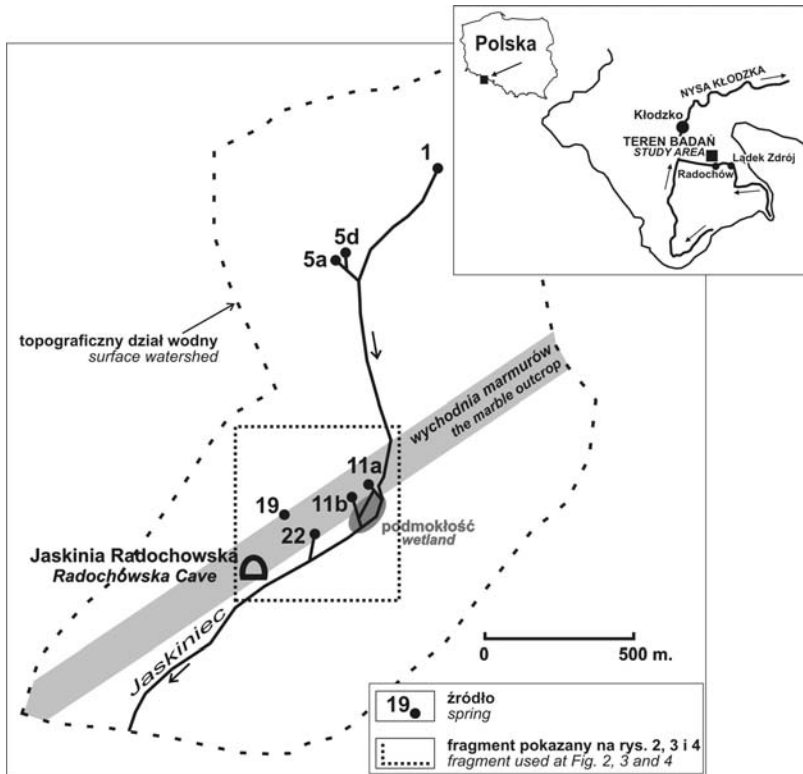
**Nowe dane o systemie krasowym zlewni
Jaskińca w Górach Żółtych w Sudetach**

**New Facts about the Karst System in the Jaskinieć
Catchment Area, Żłote Mts. (Sudety Mts.)**

- Słowa kluczowe** źródła, Sudety, skały krystaliczne, wody krasowe, model koncepcyjny
- Key words** springs, Sudety Mountains, hard rocks, karst waters, conceptual model
- Abstract** Paper presents recent results of the investigation conducted within Jaskinieć basin (autumn 2006). That small catchment has been used as a testing ground since 2003. So far, understanding of the karst reservoir conceptual model is based on the conclusion the stream is recharged from both: karst springs and waters being released from the marble outcrop directly to the stream channel. Previously the karst reservoir was believed to drain the overlying non-carbonate crystalline rocks. Recent measurements documented the stream recharges the reservoir at the outcrop zone. Therefore, our understanding of the role and conceptual model of the reservoir need to be re-discussed

Wstęp

Praca jest dokumentacją badań wykonanych jesienią 2006 roku w zlewni Jaskińca. Zlewnia ta położona jest w Górach Żółtych, w Kotlinie Kłodzkiej w Sudetach, i stanowi bezpośrednie otoczenie znanej Jaskini Radochowskiej. Na tym niewielkim obszarze od 2003 roku prowadzone są badania wód powierzchniowych i podziemnych. Najnowsze wyniki pomiarów, przedstawione w niniejszym komunikacie, rzucają zupełnie nowe światło na drogi krążenia wód podziemnych oraz na kształtowanie się składu chemicznego wód źródłanych, zmuszając autorów do rewizji dotychczasowych poglądów.



Rysunek 1. Badana zlewnia Jaskińca oraz jej położenie na obszarze Kotliny Kłodzkiej
Figure 1. Investigated catchment of Jaskiniec and its position in Kotlina Kłodzka, Poland

Zlewnia Jaskińca zbudowana jest ze skał metamorficznych, głównie gnejsów i łupków oraz wapieni krystalicznych (marmurów). Wschodnie tych ostatnich tworzą tu wąską strefę zorientowaną wzdłuż osi SW-NE (rys. 1). W marmurach tych wyługowana została znacznych rozmiarów Jaskinia Radochowska (Walczak, 1956; Pulina, 1996; Rzonca i in., 2003). Poprzednio wykonane badania wód, pochodzących głównie ze źródeł (Rzonca i in., 2003, 2004, 2005; Buczyński i in., 2007), pokazały, że możliwe jest wydzielenie na

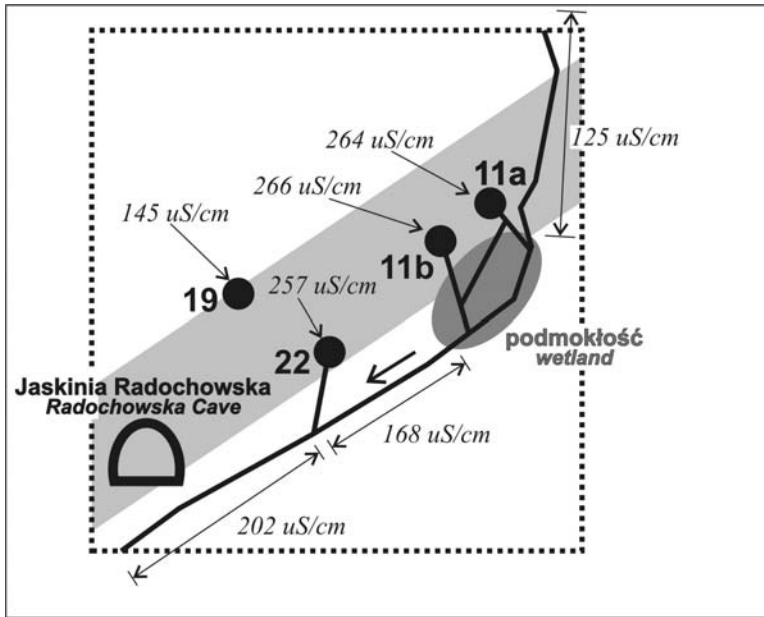
badanym obszarze dwóch typów wód. Wody związane z niewęglanowymi skałami metamorficznymi o dominującym anionie siarczanowym (źródła **1**, **5a**, **5d** i **19**, *vide*: rys. 1) określone zostały terminem **wody siarczanowe**, zaś wody występujące w obrębie soczewki marmurów i zdominowane przez anion wodorowęglanowy (źródła **11a**, **11b**, **22** i wody w Jaskini Radochowskiej) – terminem **wody wodorowęglanowe** (nazwy nadaliśmy wyróżnionym grupom wód dla ich oznaczenia; nie wpisują się one w ogólnie przyjęte klasyfikacje). Odnotowane zostały znaczne różnice w składzie chemicznym i wielu parametrach fizykochemicznych tych wód, ale zarazem skład *wód wodorowęglanowych* wskazywał na ich wcześniejsze przebywanie w środowisku analogicznym do tego, w którym występują *wody siarczanowe*. Najprawdopodobniej *wody siarczanowe* przechodzą ze skał niewęglanowych w obręb soczewki marmurów i tu wzbogacają się w produkty ługowania węglanów (jony wapnia i wodorowęglanowe), stając się *wodami wodorowęglanowymi*. Wartości innych parametrów różniące oba typy wód, jak odczyn, mineralizacja, dominacja jonu siarczanowego (lub brak dominacji) i szereg wskaźników hydrochemicznych, były wtórne w stosunku do różnic zawartości wapnia i wodorowęglanów (Rzonca i in., 2004, 2005). W proponowanym ostatnio modelu krążenia wód (Buczyński i in., 2007) soczewka marmurów, mająca znaczną pojemność wodną dzięki rozwiniętemu systemowi krasowemu, stanowi lokalny zbiornik wód podziemnych, na znacznym obszarze drenujący nadległe skały. Jest on zasilany wodami głębiej krążącymi w systemach szczelin (tj. strefa druga i, być może, trzecia wg klasyfikacji Staški, 2002) oraz, zapewne w znacznie mniejszym stopniu, także wodami pochodzącymi z płytkiego krążenia w obrębie stokowych pokryw zwietrzelinowych (strefa pierwsza wg Staški, 2002). Zbiornik ten drenowany jest głównie przez źródła.

Badania przeprowadzone w lipcu 2006 r.

Od początku badań w zlewni Jaskińca zakładaliśmy, że potok ma, także na obszarze wychodni marmurów, charakter drenujący. Oczywiście, w wielu przypadkach znanych z literatury ma miejsce przechwytywanie wód powierzchniowych przez skrasowiałe skały. Jednakże w przypadku Jaskińca nie braliśmy pod uwagę takiej możliwości, przede wszystkim dlatego, że potok przecina wychodnię tych skał na nisko położonym, płaskim dnie doliny, zaś jedno ze źródeł z *wodą wodorowęglanową* (źródło **11b**) znajduje się na wysokiej skarpie znacznie powyżej dna doliny. Dlatego wydawało się, że niemożliwe jest infiltrowanie wód potoku i zasilanie tą drogą zbiornika, który zasila źródło położone powyżej. Zakładaliśmy przy tym ciągłość zbiornika krasowego. Pomiary wykonane w lipcu 2006 r. nie miały zatem na celu stwierdzenia, **czy** ciek jest zasilany na obszarze wychodni (bowiem zakładaliśmy, że tak jest), ale **jaka jest wielkość** tego zasilania.

W dniach **1 – 7 lipca 2006 r.** wykonaliśmy bardzo szczegółowe badania przewodnictwa elektrolitycznego właściwego (PEW) wód Jaskińca (szczegóły: Buczyński i in., 2007), starając się wyznaczyć miejsce lub strefę, gdzie następuje dokorytowe zasilanie *wodami wodorowęglanowymi* – pochodzącymi z soczewki marmurów i w przybliżeniu dwukrotnie wyżej zmineralizowanymi (Buczyński i in., 2007). Badania te, jak i wszelkie opisywane w niniejszej pracy, były wykonane pH-konduktometrem ELMETRON CPC-401 z automatyczną kompensacją temperatury (temp. odniesienia 25°C). Pomiary lipcowe

zostały wykonane w okresie bezdeszczowym, a ostatni opad przed rozpoczęciem prac zanotowano 29 czerwca. W czasie trwania badań poziom wód w potoku systematycznie opadał. W Jaskińcu pomiary były wykonywane co kilka metrów biegu potoku, a miejscami nawet co metr – przez siedem kolejnych dni. Na rysunku 2 podaliśmy średnie wartości PEW na poszczególnych odcinkach ciek, a mianowicie na tych odcinkach, gdzie zróżnicowanie PEW było znikome (Buczyński i in., 2007). Rysunek 2 dokumentuje także średnie wartości PEW wód czterech źródeł z okresu pomiarów, w tym trzech źródeł z wodami wodorowęglanowymi (11a, 11b i 22) oraz jednego z wodami siarczanowymi (19). Źródło 19 jako jedyne nie zasila ciek – woda rozlewa się po łące i infiltruje. Czasowa zmienność PEW wód wszystkich źródeł w okresie badań w lipcu 2006 r. była także znikoma.



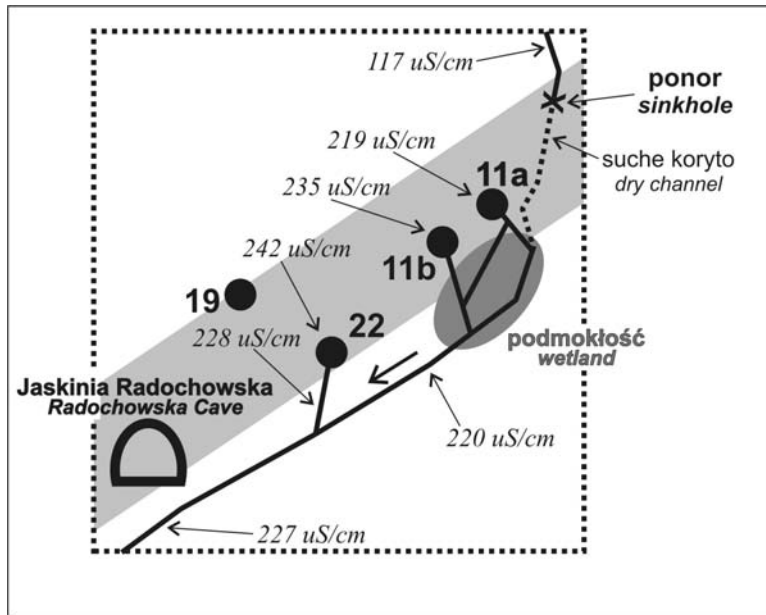
Rysunek 2. Uśrednione wyniki pomiarów PEW z lipca 2006 r. (wg Buczyńskiego i in., 2007, uzupełnione)

Figure 2. Averaged results of the conductivity measurements in July 2006 (after Buczyński et al., 2007, complemented)

Pomiary przeprowadzone w lipcu 2006 r. wyraźnie wykazały brak jakiegokolwiek zasilania dokorytowego Jaskińca przez wody wodorowęglanowe na obszarze, gdzie potok przepływa po wychodni marmurów. Początkowo, w górnej części zlewni, wody potoku są nisko zmineralizowane i mają cechy wód siarczanowych; wartość PEW jest na długim odcinku stała i podnosi się dopiero w punkcie zasilania potoku wodami dopływającymi od źródeł 11a i 11b. Następnie, na pewnym odcinku, PEW ponownie jest stałe, a kolejny wzrost związany jest z dopływem wód ze źródła 22. Poniżej, wartość PEW wód potoku właściwie

już się nie zmienia. Taki obraz świadczy o tym, że ciek zasilany jest *wodami wodorowęglanowymi* wyłącznie punktowo, przez dopływające wody źródlane. Nigdzie nie zanotowano ciągłego wzrostu PEW (a zatem i mineralizacji), który ujawniłby zasilanie dokorytowe wyżej zmineralizowanymi *wodami wodorowęglanowymi* (Buczyński i in., 2007).

Badania pokazały jednoznacznie, że ciek nie ma na obszarze wychodni marmurów charakteru drenującego. Wytlumaczenia mogły być dwa: albo brak kontaktu hydraulicznego ciek z wodami w marmurach, co wydawało się możliwe z uwagi na pokrycie koryta materiałem ilastym, albo charakter zasilający ciek. Jak już wspomniano, ta druga możliwość wydawała się mniej prawdopodobna.



Rysunek 3. Wyniki pomiarów PEW z 28 października 2006 r.

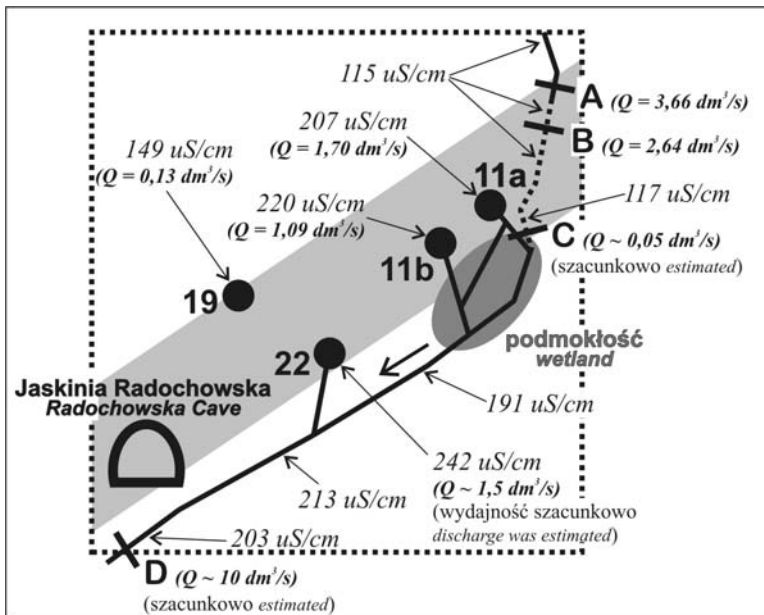
Figure 3. Results of the conductivity measurements on October 28, 2006

Nowe fakty – wyniki z jesieni 2006 r.

W dniu **28 października 2006 r.**, podczas pomiarów prowadzonych w okresie bardzo głębokiej niżówki spowodowanej wielotygodniowym brakiem opadów, stwierdziliśmy, że przepływ w cieku kończy się nagle, prawdopodobnie niemal tuż poniżej górnej granicy intersekcyjnej marmurów. Miejsce zaniku przepływu w potoku uznaliśmy za ponor (rys. 3). Poniżej ponoru koryto potoku było całkiem suche, aż do miejsca zasilania go wodami źródła **11a**. Wykonane pomiary PEW pokazały (rys. 3), że obniżeniu uległy wartości tego parametru w wypadku źródeł z *wodami wodorowęglanowymi* – w stosunku do wartości odnotowanych w lipcu 2006 r. Obniżeniu uległa też wartość PEW wód dopływających do

ponoru – wynosiła ona 117 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (w lipcu 125 $\mu\text{S}/\text{cm}$). W październiku podniosła się natomiast wartość PEW wód potoku poniżej grupy źródeł z *wodami wodorowęglanowymi*; wynosiła ona 220 $\mu\text{S}/\text{cm}$ powyżej i 227 $\mu\text{S}/\text{cm}$ poniżej źródła **22** oraz – w lipcu było to odpowiednio: 168 i 202 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (rys. 2 i 3). Jest to związane z faktem, że w październiku cały przepływ Jaskińca był generowany przez te źródła, bez rozcieńczania wodami potoku dopływającymi bezpośrednio potokiem z górnej części zlewni (co miało miejsce w lipcu).

Zanik przepływu w Jaskińcu – na odcinku, gdzie potok przepływa po wychodniach marmurów – został zaobserwowany przez nas po raz pierwszy dopiero jesienią 2006 r., podczas suszy. Dotychczas zakładaliśmy drenujący charakter cieku – także na obszarze wychodni marmurów – i nie mierzyliśmy przepływu w odpowiednio dobranych punktach. Dlatego żadna z naszych wcześniejszych serii pomiarowych nie wykazała strat wody w potoku. Dopiero obniżenie poziomu wód do takiego poziomu, że strumień został całkowicie zdrenowany przez system krasowy, umożliwiło nam zauważenie tego zjawiska.



Rysunek 4. Wyniki pomiarów PEW z 19 listopada 2006 r.

Figure 4. Results of the conductivity measurements on November 19, 2006

Następne obserwacje zostały wykonane **19 listopada 2006 r.** Po długotrwałej suszy wystąpiło kilka niewielkich opadów w ciągu kilku dni, a ostatni z nich miał miejsce w noc poprzedzającą pomiar. Wykonane pomiary wykazały przepływ w potoku na dopływie do wychodni marmurów, czyli w profilu **A** (rys. 4), $Q_A = 3,66 \text{ dm}^3/\text{s}$. Pomiary wykonywano metodą wolometryczną; wszystkie podawane wartości są średnimi arytmetycznymi z trzech zbliżonych do siebie wyników pomiarów. Poniżej ponoru zauważonego w październiku 2006 r., czyli w profilu **B**, przepływ wynosił już $Q_B = 2,64 \text{ dm}^3/\text{s}$. Jednak na dalszym

odcinku, poniżej profilu **B**, zaobserwowaliśmy również stopniowe zmniejszanie się przepływu. Do punktu zasilania cieką przez wody źródła **11a** dopływało już bardzo niewiele wody (profil **C**) i przepływu nie dało się zmierzyć – został on tylko oszacowany na $Q_C \approx 0,05 \text{ dm}^3/\text{s}$. Również poniżej podmokłości, w rejonie źródła **22** oraz poniżej, z powodu trudności terenowych nie zdołaliśmy wykonać już żadnego wiarygodnego pomiaru przepływu (dotyczy to także samego źródła **22**). W profilu **D**, zamykającym badaną część zlewni, przepływ w potoku został jedynie oszacowany na $Q_D \approx 10 \text{ dm}^3/\text{s}$. Wykonane zostały także pomiary wydajności źródeł **11a** ($Q = 1,70 \text{ dm}^3/\text{s}$), **11b** ($Q = 1,09 \text{ dm}^3/\text{s}$) oraz **19** ($Q = 0,13 \text{ dm}^3/\text{s}$), zaś wydajność źródła **22** została oszacowana na $Q \approx 1,5 \text{ dm}^3/\text{s}$ (rys. 4).

W dniu 19 listopada 2006 r. wykonaliśmy także pomiary PEW wód (rys. 4). W stosunku do października 2006 r. stwierdziliśmy przede wszystkim niższe wartości przewodności w cieką poniżej podmokłości. Może to być związane z bardzo niewielkim, ale jednak ciągłym przepływem w profilu **C**, czyli tam, gdzie w październiku zaobserwowaliśmy całkowity brak przepływu i zupełnie suche koryto potoku. Ponadto, pomiary wykonywano kilka-kilkanaście godzin po deszczu – prawdopodobnie występował więc dopływ dokorytowy wód śródpokrywowych do strumienia. Świadczy o tym m.in. spadek wartości PEW wód Jaskińca na krótkim odcinku powyżej profilu **D** (z 213 na 203 $\mu\text{S}/\text{cm}$, *vide*: rys. 4) oraz znaczny przepływ w tym profilu, oszacowany na ok. $10 \text{ dm}^3/\text{s}$, podczas gdy suma (zmierzonych lub oszacowanych) wydajności źródeł **11a**, **11b** oraz **22** zasilających potok wynosi ok. $4,5 \text{ dm}^3/\text{s}$. Pomiary wykazały także obniżenie PEW wód źródeł **11a** i **11b** (w stosunku do października), przy stałej wartości w źródle **22**.

Znaczenie nowych informacji

Najnowsze obserwacje mają zasadnicze znaczenie dla zrozumienia funkcjonowania lokalnego zbiornika wód podziemnych, zlokalizowanego w niewielkiej wkładce marmurów w zlewni Jaskińca w Górach Żłoty. Dotychczas wydawało się, że zasilanie tego zbiornika odbywa się głównie w sposób rozproszony, wodami krążącymi w masywie metamorficznym. Miało to określone konsekwencje, gdyż wkładka marmurów jawiła się jako miejsce drenażu oraz zbiornik wód pochodzących z nadległych skał niewęglanowych z pokaźnego obszaru. Tak tłumaczyliśmy fakt, że np. w lipcu 2006 r. wody wodorowęglanowe stanowiły ponad 50% zasilania cieką, chociaż powierzchnie wychodni marmurów stanowią bardzo niewielką część powierzchni całej zlewni (Buczyński i in., 2007). Wykazanie jesienią 2006 r. zasilania wód w marmurach przez potok zmusza nas do zasadniczej rewizji dotychczasowych poglądów.

Okazało się także, że fakt drenowania Jaskińca przez system krasowy był już wcześniej obserwowany (W. Rogala, inf. ustna, 21.10.2006 r.) i został opisany (Rogala, 1998), o czym dotychczas nie wiedzieliśmy.

Bardzo istotną konsekwencją najnowszych obserwacji jest konieczność zmiany dotychczasowego rozumienia kształtowania się składu chemicznego wód wodorowęglanowych wypływających ze źródeł. Teraz wydaje się, że wody te są mieszaniną (1) wód mających cechy wód siarczanowych szybko przepływających przez system krasowy od ponoru do źródeł oraz (2) wód wyżej nasyconych jonami Ca^+ i HCO_3^-

drenowanych przez system krasowy wewnątrz masywu (można je na przykład nazwać *wodami wodorowęglanowymi pierwotnymi*). Być może wyżej zmineralizowane wody obserwowane przez nas w Jaskini Radochowskiej nie są wodami stagnującymi poza głównym systemem krążenia, jak dotychczas uważaliśmy, ale właśnie takimi *wodami wodorowęglanowymi pierwotnymi*.

Wydaje się jednak, że nie całe obserwowane zmniejszenie przepływu strumienia można przypisać zjawiskom krasowym; część wody prawdopodobnie wnika w aluwia i przemieszcza się w ich obrębie. O występowaniu takiego przepływu świadczy na przykład obniżenie o 14 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na odcinku kilkunastu metrów wartości PEW wód płynących od źródła **22** zaobserwowane w dn. 28 października 2006 r. (rys. 3). Nie jest ono skutkiem wspomnianego wyżej drenażu wód płytkiego krążenia, gdyż ten pomiar wykonano podczas ekstremalnej suszy. Zapewne wystąpił tam drenaż płytko migrujących (w obrębie aluwii) wód potoku.

Literatura

- Buczyński S., Rzonca B., Łapinkiewicz A., 2007: *Model krążenia wód podziemnych w zlewni o złożonej budowie geologicznej w Sudetach*. W: Jokiel P., Moniewski P., Ziułkiewicz M. (red.): *Źródła Polski. Wybrane problemy krenologiczne*. Wyd. Nauk Geograficznych UŁ. Łódź: 98-106.
- Pulina M. (red.), 1996: *Jaskinie Sudetów*. Wyd. PTPNoZ, Warszawa: 1-202.
- Rogała W., 1998: Zjawiska krasowe w Dolinie Radochowskiej (Sudety Wschodnie). *Mat. XVII Szkoły Speleologicznej*. Zakład Geomorfologii Krasu UŚ oraz OPN. Ojców: 57-57.
- Rzonca B., Buczyński S., Kraśnicki S., 2003: Wody krasowe wybranych obszarów Ziemi Kłodzkiej. *Współczesne Problemy Hydrogeologii* 11, 1: 215-220.
- Rzonca B., Buczyński S., Modelska M., 2005: Formowanie się składu chemicznego wód źródłanych w otoczeniu Jaskini Radochowskiej w Sudetach. *Współczesne Problemy Hydrogeologii* 12: 649-654.
- Rzonca B., Buczyński S., Makarczuk M., Markiewicz T., Okraj K., Tyłak G., 2004: Wody w otoczeniu Jaskini Radochowskiej (Góry Złote, Sudety). *Przegląd Geologiczny* 52: 675-682.
- Staśko S., 2002: Zawodnienie szczelinowych skał krystalicznych w Sudetach. *Biuletyn PIG* 404: 249-262.
- Walczak W., 1956: Największa jaskinia Sudetów. *Wszechświat* 6: 133-135.

Prace były finansowane z funduszu Działalności Statutowej IGiGP UJ nr WBIG-DS/787/2006, z funduszu Badań Statutowych ING UW r nr 1017/S/ING/06 oraz z grantu MNiI 4 T12B 027 29.