

Zróźnicowanie mikrobiologiczne w wodach podziemnych granitu Karkonoszy

Henryk Marszałek¹, Dorota Górniak², Marta Toczek³

Microbiological diversity in groundwater of the Karkonosze granite. *Prz. Geol.*, 65: 1121–1125.

Abstract. The Karkonosze granite massif contains groundwater with various depths of flow systems. In the mountainous part, fresh water predominates, mainly of local flow, whereas in the Jelenia Góra Basin thermal waters have been found, reaching the temperature of 97°C. In nine samples of groundwater representing different flow depths, we have described a variation in the parameters of the structure and biodiversity of prokaryotes (bacteria and archaea). The variability of prokaryotes is determined by pH, Eh, electrolytic conductivity and temperature of water.

Keywords: groundwater, microorganisms, Karkonosze granite

Masyw Karkonoszy należy do obszarów krystaliniku sudeckiego o stosunkowo dobrym rozpoznaniu hydrogeologicznym, sięgającym w centralnej części obszaru do głębokości 2000 m. Prowadzone od kilkadziesiąt lat badania nad rozpoznaniem systemów krążenia zarówno wód zwykłych (m.in. Marszałek, 2007, 2010), jak i termalnych Sudetów Zachodnich (m.in. Dowgiałło, Fistek, 1998; Dowgiałło, 2002; Fistek, Dowgiałło, 2003) pozwoliły na scharakteryzowanie pionowej strefowości hydrogeologicznej warunków hydrodynamicznych, hydrogeochemicznych i hydrogeotermicznych (Marszałek, 2010). Oznaczenia mikrobiologiczne dla wód podziemnych reprezentujących różne strefy głębokościowe masywu granitowego Karkonoszy pozwoliły na ocenę zmienności prokariotów w wodach podziemnych zwykłych i termalnych. Powiązanie składu mikroorganizmów ze składem chemicznym i temperaturą wód występujących w zróźnicowanych głębokościowo systemach wodonośnych może być pomocne w uściśleniu czasu przebywania wód podziemnych w środowisku skalnym.

ZARYS STREFOWOŚCI HYDROGEOLOGICZNEJ W GRANICIE KARKONOSZY

W granitach karkonoskich, podobnie jak w całym krystaliniku sudeckim, wyróżnia się kilka zróźnicowanych głębokościowo stref wodonośnych: najpłytszą – aktywnej wymiany wód, ściśle związaną z czynnikami klimatycznymi i geomorfologicznymi; kolejną – głębszą – obejmującą wody wgłębne; oraz strefę występowania wód w głębokich rozłamach tektonicznych.

Najpłytsza strefa jest związana z utworami pokrywowymi czwartorzędu, rozwiniętymi głównie w strukturach dolinnych Kotliny Jeleniogórskiej, oraz pokrywami zwierzelinowymi granitu wraz ze strefą spękań wietrzeniowych w Karkonoszach. Największe rozprzestrzenienie w masywie wykazuje gruboziarnisty monzogranit porfirowaty, budujący podłoże Kotliny Jeleniogórskiej i niższe partie Karkonoszy oraz granit średnioziarnisty równoziarnisty, dominujący w Grzbiecie Głównym oraz we wschod-

niej części plutonu karkonoskiego (Mierzejewski i in., 1983). W przypowierzchniowym, najbardziej spękanym zbiorniku wód porowo-szczelinowych, sięgającym do głębokości ok. 20–30 m, formuje się większość zasobów zwykłych wód podziemnych o dużej odnawialności. Najlepiej wykształcony jest w części górskiej (karkonoskiej), gdzie drenowany jest przez liczne źródła i bezpośrednio przez cieki. Wysokie zasilanie atmosferyczne wpływa na wielkość zasobów odnawialnych wód podziemnych, osiagających w części grzbietowej masywu 10–15 dm³/s km² (Marszałek, 2007, 2010). Szybki przepływ wód i krótki czas przebywania w środowisku skalnym nie sprzyja mineralizacji wód (najczęściej <100 mg/dm³). Wody są najczęściej kwaśne (pH = 4,0–6,5), z dominującymi jonami HCO₃⁻, SO₄²⁻, Ca²⁺ i Na⁺, o niskiej zawartości F⁻ (<0,2 mg/dm³) i H₂SiO₃ (<15 mg/dm³) (Marszałek, 2007). Ich temperatury, ściśle uzależnione od temperatury otoczenia, wynoszą najczęściej 3–8°C.

Poniżej strefy intensywnej wymiany wód występują naporowe poziomy wód wgłębnych, gromadzących się w szczelinach wietrzeniowych i strefach uskokowych. Występujące w niej wody zwykłe charakteryzują się wyższą mineralizacją, odczynem zbliżonym do obojętnego, wzrostem stężeń jonów Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, F⁻ i krzemionki. Na głębokości większej niż 100 m występują zwykłe wody szczelinowe typu HCO₃–SO₄–Na z podwyższoną zawartością jonu F⁻, przekraczającą niekiedy 0,4 mg/dm³ i temperaturą do 16°C. Dolny zasięg występowania tej strefy wiąże się z granicą między występowaniem strefy wód zwykłych (chłodnych) i wód termalnych, oszacowaną w centralnej części Kotliny Jeleniogórskiej na ok. 300 m (Marszałek, 2007).

Trzecią, najgłębszą strefę w obrębie granitu karkonoskiego, rozpoznaną w przedziale 300,0–2002,5 m, reprezentują wystąpienia wód termalnych (m.in. Cieplic Śl.-Zdroju, Stanisłowa i Karpnik) w obrębie głębokich rozłamów tektonicznych, w których tworzą lokalne obszary anomalii hydrogeologicznych. W otworze C-1 w Cieplicach Śl.-Zdroju (nr 7, tab. 1) nawiercono kilkanaście stref spękanego granitu z dopływami wód o wydajnościach

¹ Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław; henryk.marszalek@uwr.edu.pl.

² Wydział Biologii i Biotechnologii, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, ul. Oczapowskiego 1a, 10-957 Olsztyn; gorniak@uwm.edu.pl.

³ Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wrocławska, ul. Na Grobli 15, 50-421 Wrocław; marta.marszalek@pwr.edu.pl.

Tab. 1. Podstawowe wskaźniki fizykochemiczne i mikrobiologiczne wód w granicie karkonoskim
Table 1. Basic physicochemical and microbiological parameters of water in the Karkonosze granites

Nr próbki Sample number	Lokalizacja, rodzaj i głębokość wypływu Location, type and depth of outflow [m]	Rzędna Elevation [m n.p.m.] [m a.s.l.]	T_w (T_{max}) [°C]	PEW Cond. [μ S/cm]	pH	Potencjal redoks Redox potential [mV]	Typ hydrogeochemiczny Hydrogeochemical type	LB kom. $\times 10^5$ / cm^3	SOK [μm^3]	KZ % w LB	OTU	
											Bakterie Bacteria	Archeony Archaea
1	Hala Szrenicka (źródło / spring)	1220	4,7	36	5,91	201	HCO ₃ -SO ₄ -Ca-(Na) SO ₄ -HCO ₃ -Ca-Na	1,31	0,09	4,10	17	1
2	Szklarska Poręba (źródło / spring)	758	8,0	50	4,47	301	HCO ₃ -SO ₄ -Ca-(Na) SO ₄ -HCO ₃ -Ca-Na	1,59	0,03	1,13	30	25
		758	7,6	58	4,68	247	HCO ₃ -SO ₄ -Ca-Na	2,75	0,14	2,05	24	12
3	Kowary (źródło / spring)	580	7,8	146	5,83	259	HCO ₃ -(SO ₄)-Na-(Ca)	0,68	0,15	3,07	6	4
4	Cieplice Śl.-Zdrój ujęcie / intake Sobieski [4,9]	340	20,9 (22,2)	1225	7,48	175	HCO ₃ -SO ₄ -(Cl)-Na-Ca, F	1,86	0,19	2,19	14	7
5	Cieplice Śl.-Zdrój ujęcie / intake Marysieńka [48,4]	340	18,8 (21,7)	758	8,42	243	SO ₄ -HCO ₃ -Na	1,92	0,03	1,67	15	5
6	Cieplice Śl.-Zdrój studnia / well C-2 (nieeksploatowane) [750]	340	16,0 (63,3)	744	8,55	-182	SO ₄ -HCO ₃ -Na, F, Si	0,97	0,09	17,68	6	7
7	Cieplice Śl.-Zdrój studnia / well C-1 (z głęb. 1,08 km)	340	64,4	782	8,80	-150	SO ₄ -HCO ₃ -Na, F, Si	0,42	0,28	10,79	4	11
			71,5 (97,7)	752	8,34	-173	SO ₄ -HCO ₃ -Na, F, Si	0,13	0,60	26,65	1	8

T_w – temperatura wody w trakcie poboru, T_{max} – maksymalna temperatura na dnie otworu, PEW – przewodność elektrolityczna właściwa wody, LB – liczba komórek prokariotycznych, SOK – średnia bioobjętość komórek, KZ – komórki zakrzywione, OTU – operacyjne jednostki taksonomiczne
 T_w – water temperature during sampling, T_{max} – maximum temperature at the borehole bottom, Cond – conductivity of water, LB – number of prokaryotic cells, SOK – average biocell volume, KZ – curved cells, OTU – operational taxonomic unit

0,5–130,0 m³/h i temperaturach od 24,8°C na głębokości 570 m do 97,7°C powyżej 1800 m (Dowgiało, 2002; Fistek, Dowgiało, 2003). Wody termalne Cieplic mają charakter leczniczy ze względu na podwyższone zawartości jonu F⁻ (2–13 mg/dm³) oraz krzemionki (H₂SiO₃ > 100 mg/dm³). Cechuje je mineralizacja w przedziale 600–850 mg/dm³ i obecność N w postaci gazowej. W większości ujęć wody reprezentują typ SO₄-HCO₃-Na. Wyjątkiem jest ujęcie Sobieski o typie HCO₃-SO₄-(Cl)-Na-Ca (tab. 1), o wodach reprezentujących płytszy system przepływu w porównaniu z pozostałymi ujęciami cieplickimi.

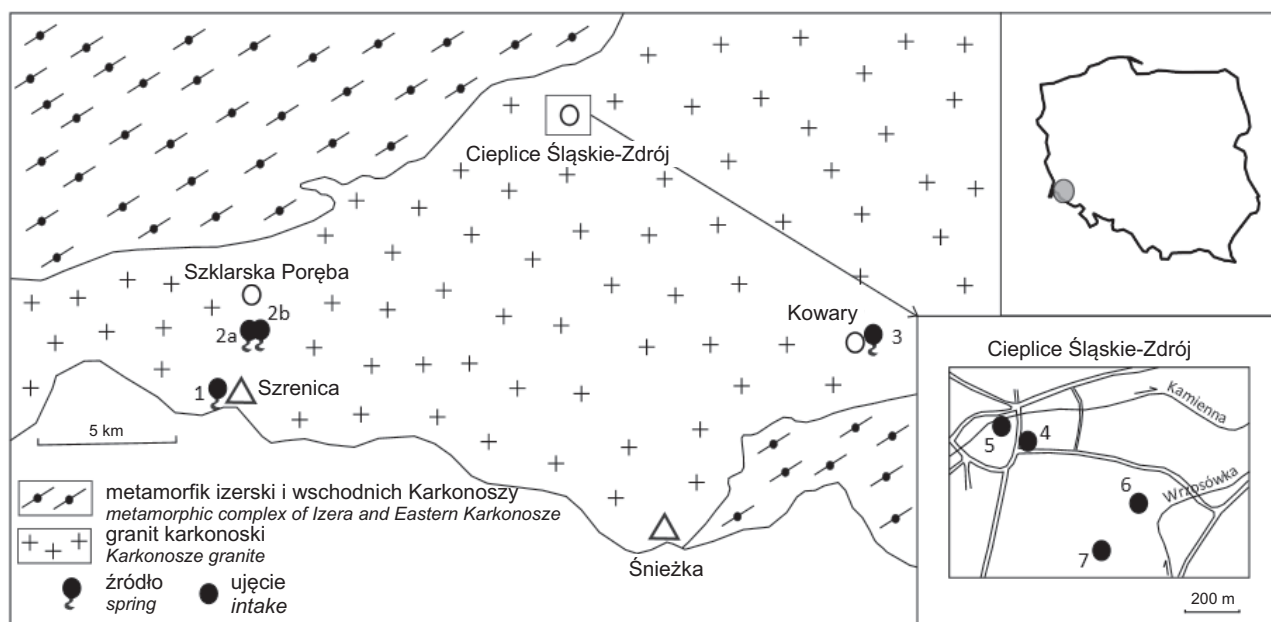
MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Próbki wód podziemnych do analiz mikrobiologicznych pobrano w 9 źródłach i studziennych ujęciach Karkonoszy oraz Kotliny Jeleniogórskiej (ryc. 1, 2), reprezentujących różne systemy krążenia w masywie granitowym. Młode wody lokalnego przepływu, występujące w różnych hipsometrycznie strefach wodonośnych Karkonoszy, są drenowane przez źródła: na Hali Szrenickiej (próbka nr 1), w rejonie Szklarskiej Poręby (nr 2) i Kowar (nr 3). Wody termalne Cieplic Śl.-Zdroju reprezentują wody przejściowego i głębokiego – regionalnego przepływu. Próbki wód termalnych pobrano z ujęć Sobieski (nr 4) i Marysieńka (nr 5) oraz odwiertów C-1 i C-2. Otwór C-1 (nr 7) opróbowano na głębokościach: ok. 1000 m (próbka nr 7a) i 2000 m (próbka 7b) (tab. 1).

W pobranych próbkach wody oznaczano parametry struktury komórek prokariotycznych oraz względną bioróżnorodność bakterii i archeonów, wyrażoną w operacyjnych jednostkach taksonomicznych (OTU). Parametry struktury prokariotów wyznaczano za pomocą fluorescencyjnego barwienia komórek, a następnie bezpośredniego liczenia na filtrach membranowych (Porter, Feig, 1980). Komórki analizowano w mikroskopie epifluorescencyjnym, wykorzystując komputerowy system akwizycji obrazu z oprogramowaniem MultiScan (CSS) i modułem do analizy mikrobiologicznej (Świątecki, 1997). Wyznaczano liczebność, biomasę, strukturę wielkości oraz strukturę morfologiczną komórek prokariotycznych. Dominujące fylotypy bakterii i archeonów (OTU) identyfikowano, wykorzystując analizę PCR-DGGE (Muyzer i in., 1993). Wyniki oznaczeń mikrobiologicznych analizowano dla każdej próbki w odniesieniu do cech fizykochemicznych środowiska wodnego. Analizę redundancji (RDA) przeprowadzono przy użyciu pakietu statystycznego Canoco 4.5 (Ter Braak, Šmilauer, 2002). Pozwoliło to na wykorzystanie analizy kanonicznej do określenia wpływu czynników determinujących zmienność prokariotów.

WYNIKI I DISKUSJA

Rozwój określonych zbiorowisk organizmów ściśle wiąże się ze specyficznymi właściwościami fizykochemicznymi wód podziemnych, wynikającymi z ich zróżni-

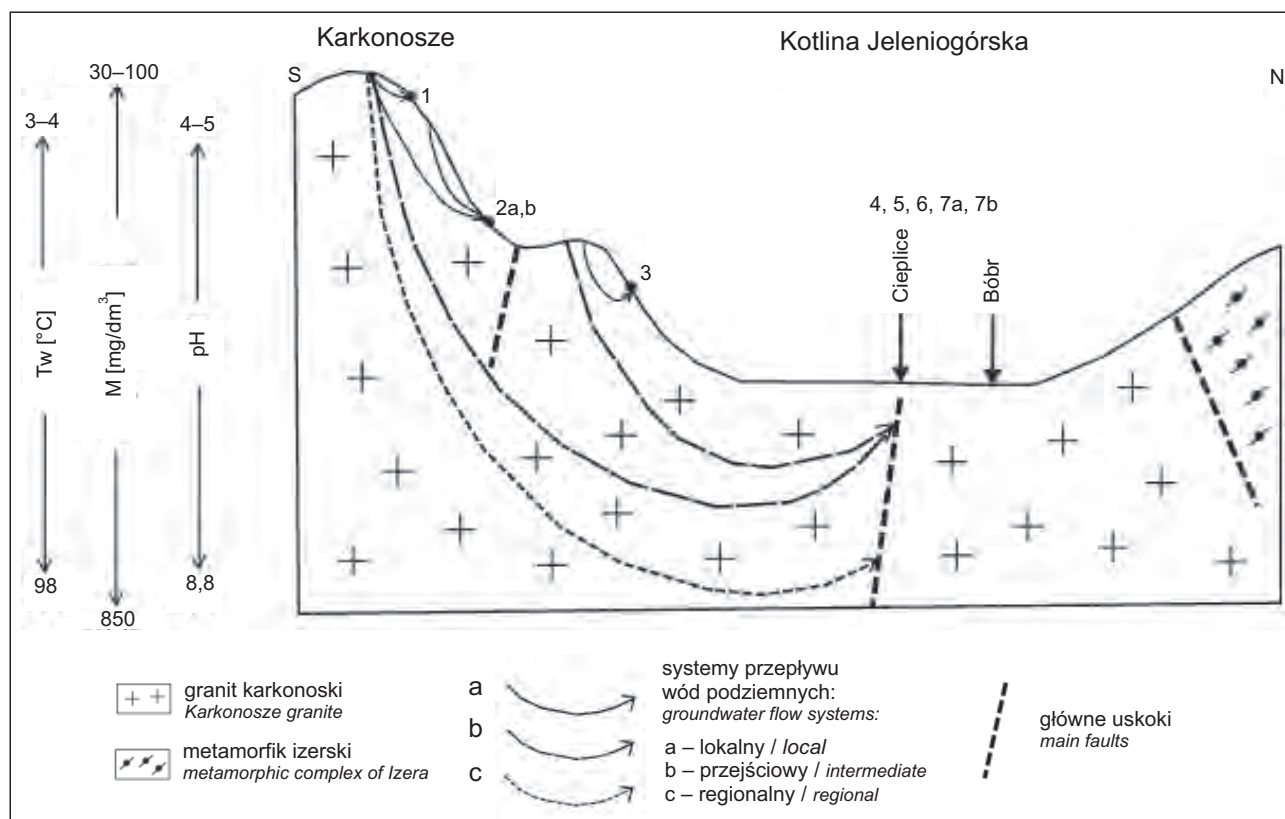


Ryc. 1. Lokalizacja punktów badawczych na tle geologii obszaru
 Fig. 1. Location of sampling points on the geology background

cowanego położenia w systemie głębokościowym masywu. Wyniki analiz mikrobiologicznych wykazały, że badane wody różniły się zarówno takimi parametrami struktury, jak liczba komórek, biomasa, bioobjętość komórek (SOK), jak i bioróżnorodnością prokariotów, tj. bakterii i archeonów.

Systemy przepływu wód podziemnych

Wody źródeł na Hali Szrenickiej (nr 1) i w Szklarskiej Porębie (nr 2), z punktów opróbowanych do analiz mikrobiologicznych, reprezentują pierwszy od powierzchni terenu zbiornik wód porowo-szczelinowych (ryc. 2, tab. 1).



Ryc. 2. Systemy przepływu wód podziemnych w granicie Karkonoszy (1–7b – numery próbek)
 Fig. 2. Groundwater flow systems in the Karkonosze granite (1–7b – sample numbers)

Drugie ze źródeł, składające się z dwóch blisko położonych wypływów (2a i 2b), różniących się temperaturą wody, składem chemicznym oraz zawartością trytu, jest zasilane z dwóch zbiorników alimentacyjnych (Marszałek, 2007). Płytszy system krążenia szczelinowych wód węglanych reprezentuje prawdopodobnie źródło w Kowarach (nr 3), natomiast różne systemy głębokiego krążenia (ryc. 2) są drenowane przez ujęcia wód termalnych Cieplic Śl.-Zdroju. Wody termalne ujęcia Sobieski (nr 4) zawierają znaczną domieszkę wód zwykłych, co odzwierciedla się w ich składzie chemicznym i izotopowym. Średni czas przepływu tych wód jest szacowany na ok. 5 lat (Ciężkowski i in., 1996). Biorąc jednak pod uwagę wiek wód źródła w Kowarach, szacowany na 15 lat (Ciężkowski, Przylibski, 2003), ale niższą temperaturę wody 6,0–7,4°C (Marszałek, 2007), można przypuszczać, że cieplejsze wody ujęcia Sobieski (ok. 20°C; tab. 1) odpowiadają głębszemu systemowi przepływu niż w przypadku źródła w Kowarach. Oszacowany stosunkowo krótki czas przebywania wody ujęcia Sobieski w środowisku skalnym może odpowiadać domieszce wód współczesnej infiltracji, zasilającej system wód termalnych Cieplic. Reprezentuje ono mieszany typ wód. Wody ujęcia Marysienka (nr 5) charakteryzują się pośrednim (mieszanym) typem wód z okresową domieszką wód współczesnych (Ciężkowski i in., 1996), natomiast regionalny system przepływu reprezentują wody ujęcia C-2 (nr 6) o głębokości 750 m i głębokiego otworu C-1 (nr 7, tab. 1), zasilane przed holocenem. Określony na podstawie badań izotopowych wiek wód ujęć cieplickich wynosi: 13 tys. lat dla wód Marysienki, 19–28 tys. lat dla ujęć C-1 i C-2 (Ciężkowski i in., 1996).

Mikrobiologiczne zróżnicowanie wód podziemnych

W badanym systemie wodonośnym zarówno liczba, jak i biomasa komórek prokariotycznych była niska, ale typowa dla wód podziemnych granitów. Liczba komórek (LB) zawierała się w przedziale $1,3 \times 10^4$ – $2,75 \times 10^5$ kom./cm³ (tab. 1), natomiast biomasa mieściła się w zakresie 0,62–2,29 $\mu\text{gC}/\text{dm}^3$. Największą liczbę komórek i biomasę stwierdzono w wodach źródła nr 2b, najmniej liczne były komórki w próbkach pobranych z głębokich odwiertów termalnych C-1 oraz C-2 (tab. 1). W przypadku wód zwykłych, wartości obu parametrów były znacznie wyższe w wodach płytszego przepływu źródła nr 2 w Szklarskiej Porębie odpowiednio dla dwóch wypływów: LB wynosi $1,59 \times 10^5$ i $2,75 \times 10^5$ kom./cm³, biomasa 11,34 i 2,29 $\mu\text{gC}/\text{dm}^3$ niż w szczelinowym źródle nr 3 w Kowarach, gdzie LB była bardzo niska i wynosiła $6,8 \times 10^4$ kom./cm³, a biomasa 1,02 $\mu\text{gC}/\text{dm}^3$. Dla płytszego, ale regionalnego systemu przepływu wód termalnych, reprezentowanego przez wody otworu C-2 o głębokości 750 m, LB wynosiła $9,7 \times 10^4$ kom./cm³, a w przypadku dwóch głębokościowych stref wodono-

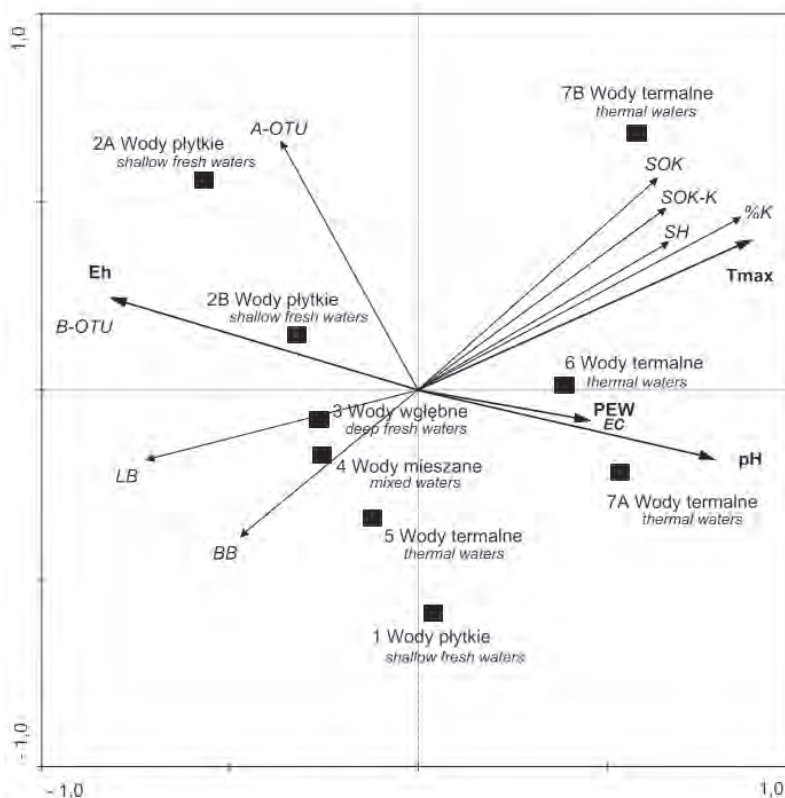
śnych otworu C-1: płytszej (1,08 km) i głębszej (ok. 2 km) jedynie odpowiednio $4,2 \times 10^4$ i $1,3 \times 10^4$ kom./cm³ (tab. 1). Podobne zróżnicowanie potwierdziły badania Pedersen (1996, 1997) w granitach Szwecji oraz Sieverta i in. (2000) w rejonie greckiej wyspy Milos.

Nieliczne, ale bardzo dużych rozmiarów komórki (średnia bioobjętość SOK – 0,6 μm^3) stwierdzono w najcieplejszych wodach otworu C-1 na głębokości 2000 m, gdzie temperatura w trakcie poboru próbki wynosiła 71,5°C (próbka nr 7b) (tab. 1). Średnia bioobjętość (SOK) tych komórek była wielokrotnie większa od najmniejszych komórek stwierdzonych w wodach źródła nr 2 oraz ujęciach termalnych Marysienka i Sobieski (tab. 1).

W wodach termalnych charakterystyczna była przebudowa struktury morfologicznej komórek prokariotów na rzecz dominacji zakrzywionych komórek (KZ) o bardzo dużych rozmiarach (tab. 1).

Analizy molekularne wykazały wyraźne zmiany w składzie mikroorganizmów w poszczególnych punktach. Największe zróżnicowanie bakterii odnotowano w wodach źródła nr 2 w Szklarskiej Porębie. Dla dwóch jego wypływów 2a i 2b – wynosiły odpowiednio 30 i 24 OTU. Najmniejszą bioróżnorodność bakterii wykazano w gorących wodach Cieplic Śl.-Zdroju (C-1, C2) – odpowiednio 4 i 1 OTU (tab. 1). W zwykłych wodach podziemnych zaobserwowano wyraźny wzrost liczby fylotypów bakterii, związany przypuszczalnie z różnym składem chemicznym wód.

Archeony największą bioróżnorodność wykazywały w wodach punktów 2a i 2b oraz 7a – odpowiednio 25, 12 i 11 OTU. Tak znacznie zróżnicowanie archeonów w próbce 2a może być konsekwencją obecności metanogenów. W wodach podziemnych zwykłych zasobnych w tlen ist-



Ryc. 3. Zmienność parametrów struktury prokariotów w powiązaniu z warunkami fizykochemicznymi i rodzajem wód w masywie Karkonoszy (analiza redundancji)
Fig. 3. Variability of prokaryotes structure parameters in relation to physico-chemical conditions and type of waters in the Karkonosze massif (analysis of redundancy)

nieją dogodne warunki do rozwoju bakterii heterotroficznych, wykorzystujących węgiel organiczny. Pozbawione tlenu głębokie wody termalne o wyższej zawartości siarczanych stanowią środowisko ekstremalne dla większości bakterii heterotroficznych, sprzyjają natomiast rozwojowi bakterii redukujących siarczany. W wodach występujących w głębokich partiach granitów stwierdza się często obecność *Desulfovibrio aespoeensis* i *Shewanella putrefaciens* (Szewzyk i in., 1994). Analiza redundancji wykazała, że czynnikami wpływającymi na strukturę prokariotów w badanych wodach były pH, Eh, PEW i temperatura wody (ryc. 3).

PODSUMOWANIE

Badanie głębokiej biosfery podziemnej dostarcza cennych informacji o ekologii mikroorganizmów, czynnikach chemicznych i geologicznych kształtujących społeczności prokariotyczne oraz energetyce drobnoustrojów w systemach, które są odmienne od typowych wód powierzchniowych. Badania hydrogeologiczne w masywie granitowym Karkonoszy, wzbogacone o wyniki badań mikrobiologicznych bakterii i archeonów, wykazały istotne powiązanie struktury prokariotów z głębokością przepływu wody, a co za tym idzie ze zmianą warunków fizykochemicznych środowiska. W analizowanych wodach masywu Karkonoszy występują znaczące różnice w strukturze prokariotów. W zwykłych wodach podziemnych płytkiego przepływu stwierdzono największą liczebność i bioróżnorodność bakterii, co należy tłumaczyć ich młodym wiekiem, okresowym dopływem wód infiltracyjnych, zasobnością w związku biogenne i dobrym natlenieniem. W wodach wgłębnych (źródło w Kowarach) i termalnych mieszanych (ujęcie Sobieski) struktura prokariotów była podobna, a od pozostałych odróżniały je stabilna liczba i biomasa prokariotów oraz duże rozmiary komórek, co jest konsekwencją mniejszej zawartości tlenu. W wodach termalnych głębokiego, regionalnego przepływu (Cieplice Śl.-Zdrój) następuje wyraźna zmiana struktury komórek prokariotycznych. Dominującą rolę odgrywają w nich komórki zakrzywione o bardzo dużych rozmiarach, przy jednocześnie niskiej ich liczebności i małym zróżnicowaniu gatunkowym. Czynniki determinującymi te zmiany są wysoka temperatura oraz wyższa mineralizacja i odczyn wód.

Wstępna analiza wykazała, że jednym z symptomów zmian składu chemicznego wody i warunków termicznych w granitach Karkonoszy, a tym samym wieku wód, jest wyraźna zmiana struktury komórek prokariotycznych. Jednocześnie analiza oparta o amplifikację genów 16S rRNA uwidoczniała różnice w bioróżnorodności prokariotów, będące konsekwencją odmiennych warunków środowiskowych.

Autorzy składają podziękowania dla Recenzentów niniejszej pracy. Artykuł opracowano na podstawie wyników prac badawczych realizowanych ze środków statutowych Uniwersytetu Wrocławskiego i Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego nr 0401/0159/16 i 12.610.009-300.

LITERATURA

- CIEŻKOWSKI W., PRZYLIBSKI T. 2003 – Wody szczelinowe granitu karkonoskiego na przykładzie źródła nr 26 w Kowarach: wyniki badań izotopowych. Przewodnik do wycieczek LXXIV Zjazdu PTG w Cieplicach Śl.: 21–22. Wind, Wrocław.
- CIEŻKOWSKI W., DOKTÓR S., GRANICZNY M., KABAT T., KOZŁOWSKI J., LIBER-MADZIARZ E., PRZYLIBSKI T., TEISSEYRE B., WIŚNIEWSKA M., ZUBER A. 1996 – Próba określenia obszarów zasilania wód leczniczych pochodzenia infiltracyjnego w Polsce na podstawie badań izotopowych. ZBU „Zdroje”, Wrocław [niepubl.]. Arch. PWR. Wrocław.
- DOWGIAŁŁO J. 2002 – The Sudetic geothermal region of Poland. *Geothermics*, 31: 343–359.
- DOWGIAŁŁO J., FISTEK J. 1998 – Dokumentacja hydrogeologiczna wód leczniczych w Jeleniej Górze – Cieplicach. PAN, Warszawa [niepubl.]. Arch. ING PAN Warszawa.
- FISTEK J., DOWGIAŁŁO J. 2003 – Wody termalne Cieplice Śląskich w świetle badań geologiczno-poszukiwawczych wykonanych w latach 1969–73 i 1997–98. [W:] Cieżkowski W. i in. (red.), *Sudety Zachodnie – od wendy do czwartorzędu*. Wyd. Wind, Wrocław.
- GOMARIZI M., MARTINEZ-GARCIA M., SANTOS F., RODRIGUEZ F., CAPELLA-GUTIÉRREZ S., GABALDON T., ROSSELÓ-MÓRA R., MESEGUER I., ANTÓN J. 2015 – From community approaches to single-cell genomics: the discovery of ubiquitous hyperhalophilic Bacteroidetes generalists. *The ISME Jour.*, 9: 16–31.
- MARSZAŁEK H. 2007 – Kształtowanie zasobów wód podziemnych w rejonie Kotliny Jeleniogórskiej. *Acta Univ. Wratisl.*, 2993, ser.: Hydrogeologia, Wrocław.
- MARSZAŁEK H. 2010 – Strefowość hydrogeologiczna w rejonie Kotliny Jeleniogórskiej (Sudety Zachodnie). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 440: 87–100.
- MIERZEJEWSKI M.P., MAJEROWICZ A., CZERWIŃSKI J. 1983 – Objasnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Sudetów 1 : 25 000, ark. Szklarska Poręba. Wyd. Geol. Warszawa.
- MUYZER G., DE WAAL E.C., UITTERLINDEN A.G. 1993 – Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction-amplified genes coding for 16S rRNA. *Appl. Environ. Microbiol.*, 59: 695–700.
- PEDERSEN K., 1996 – Investigations subterranean bacteria in deep crystalline bedrock and their importance for disposal of nuclear waste. *Can. J. Microbiol.*, 42: 382–391.
- PEDERSEN K. 1997 – Microbial live in the deep granitic lock. *FEMS Microbiol. Rev.*, 20: 399–414.
- PORTER K.G., FEIG Y.S. 1980 – The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnol. Oceanogr.*, 25: 943–948.
- SIEVERT S.S., ZIEBIS W., KUEVER J., SAHM K. 2000 – Relative abundance of *Archaea* and *Bacteria* along a thermal gradient of a shallow-water hydrothermal vent quantified by rRNA slot-blot hybridization. *Microbiology*, 146: 1287–1293.
- SZEWZYK U., SZEWZYK R., STENSTR T.A. 1994 – Thermophilic, anaerobic bacteria isolated from a deep borehole in granite in Sweden. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 91: 1810–1813.
- ŚWIĄTECKI A. 1997 – Zastosowanie wskaźników bakteriologicznych w ocenie jakości wód powierzchniowych. Wyższa Szkoła Pedagogiczna, Olsztyn.
- TER BRAAK C.J.F., ŠMILAUER P. 2002 – CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: software for canonical community ordination (version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca.