

Charakterystyka chemizmu wód podziemnych Gór Kruczych (Sudety Środkowe) na podstawie badań źródeł

Marcin Stępień*



Characteristics of groundwater chemistry in the Krucze Mts (Middle Sudetes) based on springs researches. Prz. Geol., 54: 1002–1006.

Summary. The paper presents new data on groundwater chemistry of the Krucze Mts., based upon detailed field-work and laboratory tests conducted in 2002–2004. Eleven springs (including an ascending one) were found within the study area. Spatial diversity of chemical composition and physico-chemical properties of groundwater was observed. An attempt of explaining the variability pattern is offered.

Key words: hydrogeochemistry, springs, Krucze Mts

Badania chemizmu wód podziemnych w tej części depresji śródsudeckiej skupiały się głównie w dość dobrze rozpoznanej pod tym względem niecce krzeszowskiej, będącej bardzo ważnym z gospodarczego punktu widzenia zbiornikiem wód podziemnych (GZWP nr 342). Struktura ta jest w znacznej mierze zasilana przez wody z górskiego obrzeżenia, które stanowią między innymi Góry Krucze — najsłabiej rozpoznana pod względem hydrogeochemicznym część Gór Kamiennych. Artykuł ten jest pierwszym publikowanym opracowaniem dotyczącym składu chemicznego wód podziemnych polskiej części Gór Kruczych. Oprócz charakterystyki chemizmu wód podziemnych z tego rejonu pokazano przestrzenne zróżnicowanie składu chemicznego wód i podjęto próbę wytlumaczenia takiego stanu rzeczy.

Położenie terenu badań

Góry Krucze to pasmo należące do Gór Kamiennych, oddzielone od pozostałych pasm (Czarnego Lasu, Masywu Dzikowca, Lesistej Wielkiej oraz Gór Suchych) Kotliną Krzeszowską. Góry Krucze rozciągają się południkowo przez około 20 km od ujścia Zadny do Bobru w Kamiennej Górze na północy po Uniemyśl i Okrzeszyn na południu (ryc. 1). Od zachodu ograniczone są doliną Bobru a od wschodu doliną Zadny. Południowo-zachodnia część Gór Kruczych leży na terytorium Czech. Góry te noszą tam nazwę Vrani hory. Opisywane pasmo to wulkaniczne góry o kopulastych lub stożkowatych wierzchołkach, sięgających po stronie polskiej 842 m n.p.m. (Szeroka). Mniej więcej w połowie Góry Krucze podzielone są przez Przełęcz Ulanowicką na część północną i południową. Przeważająca część Gór Kruczych należy do zlewiska Morza Bałtyckiego (zlewnie Bobru i Zadny), jedynie południowe ich krańce są odwadniane za pośrednictwem dopływów Upy (dopływ Łaby) do Morza Północnego.

Metodyka

Prace terenowe rozpoczęto od szczegółowego kartowania hydrogeologicznego Gór Kruczych, w wyniku którego stwierdzono obecność 11 źródeł wypływających pomiędzy rzędnymi 487 a 663 m n.p.m.

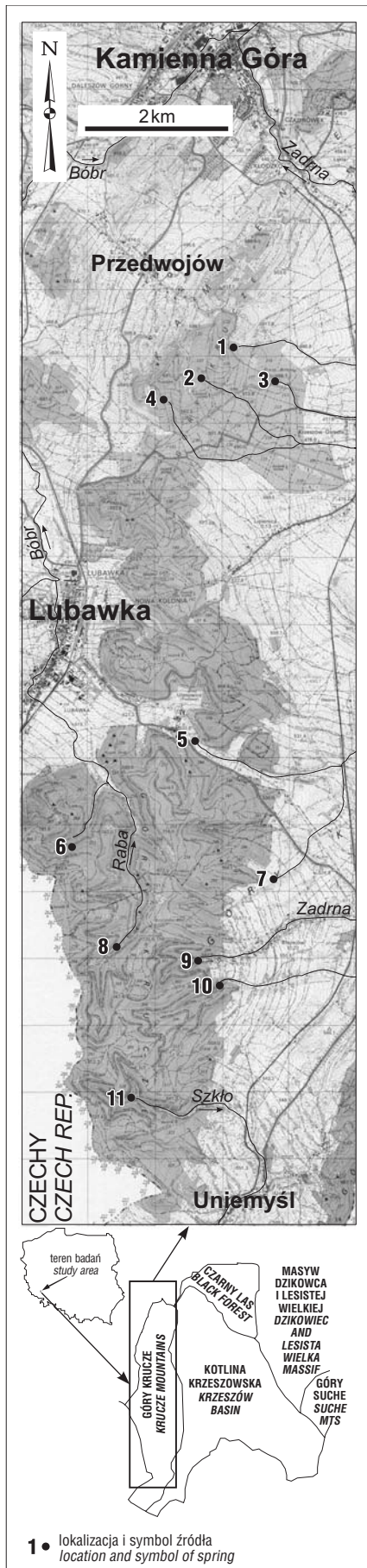
Skład chemiczny i właściwości fizykochemiczne wód podziemnych z terenu Gór Kruczych zostały określone głównie na podstawie badań źródeł, przeprowadzonych w różnych porach roku w latach 2002–2004. Wykorzystano również archiwalne analizy chemizmu wód podziemnych. W niniejszej pracy brano pod uwagę tylko wyniki analiz obciążonych niewielkim błędem oraz charakteryzujące się pełnym zakresem oznaczeń (minimum oznaczeń to stężenia jonów głównych i azotanów, temperatura wody i pH). Ogółem zgromadzono 49 analiz chemicznych wód podziemnych z 11 źródeł, w tym 38 analiz własnych (Stępień, 2004). Uzupełnieniem tych badań było modelowanie hydrogeochemiczne z użyciem programu *PHREEQC* (Parkhurst & Appelo, 1999), dzięki któremu określono stan nasycenia roztworu wodnego względem wybranych faz mineralnych.

Na wstępie dokonano ogólnej statystycznej charakterystyki składników wód podziemnych Gór Kruczych oraz ich parametrów fizykochemicznych (tab. 1). Następnie rozpatrywano chemizm każdego ze źródeł z osobna (tab. 2).

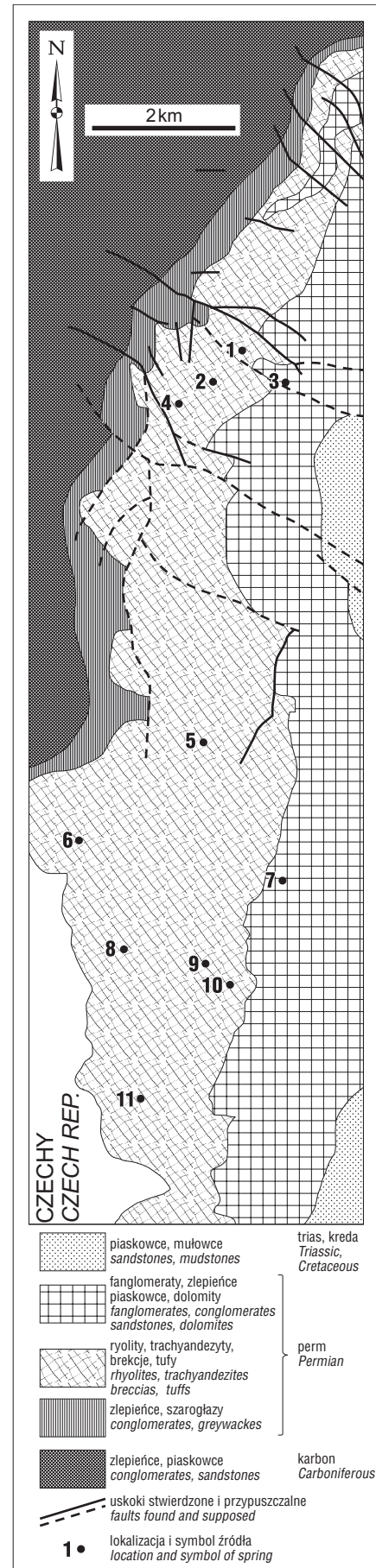
Budowa geologiczna

Góry Krucze leżą w obrębie północno-zachodniej części depresji śródsudeckiej. Zbudowane są głównie z dolnopermskich skał wulkanicznych i wulkanoklastycznych, należących do formacji ze Słupca (ryc. 2). Skały te zalicza się do tzw. asocjacji wulkanicznej Gór Kruczych. Najszerzej reprezentowany jest tzw. zespół ryolitów Gór Kruczych (Awdankiewicz, 1997). Obecnie zespół ten jest interpretowany jako różne typy ryolitów (leukokratyczne, melano-kratyczne, masywne i pęcherzykowe, laminowane) i skał wulkanoklastycznych (brekcje ryolitowe i ryolitowo-piaszkowcowe). W północnej części Gór Kruczych występuje także zespół trachandezytów bazaltowych Kamiennej Góry, reprezentowany przez lawy masywne, lawy pęcherzykowe i migdałowcowe, brekcje, tufy i piaskowce tufowe (Awdankiewicz, 1997). W najwyższych partiach Gór Kruczych występują wychodnie skał wulkanicznych, natomiast w budowie dolnych partii znaczną rolę odgrywają permskie skały osadowe. Od zachodu są to zlepieńce, szarogłazy i arkozy formacji z Krajanowa. Oddzielają one Góry Krucze od wychodni skał karbońskich. Od wschodu są to natomiast fanglomeraty, zlepieńce, piaskowce, ilowce i dolomity (formacja z Radkowa i warstwy z Chełmska Śl.), oddzielające Góry Krucze od skał kredowych i triasowych niecki krzeszowskiej.

*Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; marcin.stepien@uw.edu.pl



Ryc. 1. Położenie i mapa dokumentacyjna terenu badań
Fig. 1. Location and documentary map of the investigated area



Ryc. 2. Schematyczna mapa geologiczna Gór Kruczych (Don i in., 1979; Lisiakiewicz, 1956 — ze zmianami autora)
Fig. 2. Geological sketch of Kruce Mts (Don et al., 1979; Lisiakiewicz 1956 — with author's changes)

Tab. 1. Charakterystyka statystyczna chemizmu wód ze źródeł w Górach Kruczych. Stężenia podano w mg/l
 Table 1. Statistical characteristics of groundwater chemistry of springs in Krucze Mts. Concentration in mg/l

	Liczba oznaczeń Number of samples	Średnia Average	Mediana Median	Odchylenie standardowe Standard deviation	Wartość najmniejsza Minimal value	Wartość największa Maximal value	Rozstęp Range	Kwartył dolny Lower quartile	Kwartył górny Upper quartile	Rozstęp kwartyłowy Quartile range
SR**	49	87,2	76,0	30,1	34,0	172,0	138,0	67,5	106,0	39,5
HCO ₃	49	24,5	21,0	16,6	4,8	85,4	80,6	16,6	24,2	7,6
Cl	49	7,2	7,1	2,7	3,0	20,6	17,6	5,2	8,1	2,9
SO ₄	49	27,0	23,0	18,0	8,0	86,0	78,0	14,0	35,0	21,0
NO ₃	49	13,8	14,6	4,8	5,9	28,8	22,9	11,1	16,8	5,7
Na	49	3,4	2,7	2,0	0,7	10,7	10,0	2,0	4,1	2,1
K	49	2,7	2,6	1,1	0,3	5,9	5,6	2,0	3,6	1,6
Ca	49	9,6	8,6	5,7	0,1	21,1	21,0	5,4	14,7	9,3
Mg	49	3,6	3,3	1,3	1,1	6,8	5,7	2,8	4,1	1,3
PO ₄	30	0,97	1,06	0,63	0,02	1,97	1,95	0,56	1,50	0,94
F	40	0,12	0,11	0,09	0,00	0,44	0,44	0,05	0,15	0,10
Fe	40	0,32	0,02	1,31	0,00	8,30	8,30	0,00	0,20	0,20
Mn	34	0,04	0,01	0,05	0,00	0,19	0,18	0,01	0,05	0,05
Al	30	0,11	0,05	0,36	0,00	2,01	2,00	0,02	0,05	0,03
Si	33	3,44	3,11	2,32	1,25	13,80	12,55	1,88	4,79	2,91
O ₂	13	8,1	7,3	2,3	4,7	12,3	7,6	6,7	9,6	2,9
pH* [-]	49	7,02	6,90	0,60	5,70	8,27	2,57	6,54	7,48	0,94
PEW [μS/cm]	40	127	106	41,3	86	235	149	93	154	61
redox [mV]	38	232	211	62,5	131	380	249	179,3	287,3	108,0
temp. [°C]	47	7,3	7,3	2,0	2,4	10,9	8,5	6,5	8,6	2,1

pH* — średnie arytmetyczne z wartości pH *arithmetic mean of pH values*; SR — suma składników rozpuszczonych *total dissolved elements*

Tab. 2. Średni skład chemiczny wód podziemnych ze źródeł w Górach Kruczych
 Table 2. Average chemical composition of groundwater from springs in Krucze Mts

Nr (N)	Rzędna Elevation	pH*	PEW μS/cm	SR mg/l	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	Na	K	Ca	Mg	Typ hydrochemiczny Hydrochemical type
	m n.p.m. m a.s.l.												
1 (4)	529	7,1	155	113	30,99 0,508	47,3 0,984	8,88 0,251	14,18 0,229	3,5 0,15	3,4 0,09	17,63 0,88	3,78 0,31	SO ₄ HCO ₃ -CaMg
2 (4)	543	6,7	174	105	23,36 0,383	47,0 0,979	7,71 0,217	19,41 0,313	3,5 0,15	4,3 0,11	12,75 0,64	4,20 0,35	SO ₄ HCO ₃ -CaMg
3 (3)	487	7,6	158	100	78,95 1,294	8,2 0,170	6,27 0,177	8,15 0,131	6,5 0,28	1,2 0,03	16,43 0,82	5,93 0,49	HCO ₃ -CaMg
4 (4)	563	7,2	205	149	30,27 0,496	61,0 1,271	9,59 0,271	19,11 0,308	4,4 0,19	4,4 0,11	16,42 0,82	6,32 0,52	SO ₄ HCO ₃ -CaMg
5 (2)	529	5,8	114	105	13,33 0,219	24,5 0,510	13,68 0,386	9,22 0,149	7,4 0,32	2,8 0,07	14,26 0,71	2,81 0,23	SO ₄ Cl-CaNa
6 (2)	645	6,5	106	68	13,54 0,222	24,5 0,510	7,30 0,206	16,16 0,261	3,6 0,15	2,6 0,06	3,28 0,16	2,75 0,23	SO ₄ NO ₃ -MgCaNa
7 (2)	527	6,5	96	59	17,80 0,292	28,0 0,583	8,09 0,228	11,93 0,192	2,8 0,12	2,8 0,07	3,31 0,16	3,71 0,30	SO ₄ HCO ₃ -MgCa
8 (5)	663	6,5	93	78	12,84 0,211	22,2 0,463	6,59 0,186	16,71 0,269	3,8 0,16	2,8 0,07	6,24 0,31	2,72 0,22	SO ₄ NO ₃ -CaMgNa
9 (14)	598	7,4	89	67	19,57 0,321	14,2 0,297	5,88 0,166	10,86 0,175	2,4 0,10	2,2 0,06	7,62 0,38	3,07 0,25	HCO ₃ SO ₄ -CaMg
10 (4)	592	6,7	106	72	16,71 0,274	30,5 0,635	6,58 0,186	14,42 0,233	2,0 0,09	2,4 0,06	4,47 0,22	3,19 0,26	SO ₄ HCO ₃ -MgCa
11 (5)	653	7,3	98	80	26,65 0,437	18,2 0,379	5,90 0,166	15,00 0,242	2,5 0,11	2,3 0,06	7,02 0,35	2,94 0,24	HCO ₃ SO ₄ -CaMg

Nr — numer źródła *number of spring*; (N) — liczba analiz branych pod uwagę *amount of chemical analyses*; wytłuszczono wartości ekstremalne, a maksymalne dodatkowo zacięniowano *extremal values are bolded, maximal values are shaded*; pH* — średnie arytmetyczne z wartości pH *arithmetic mean of pH values*

W składzie mineralnym skał wulkanicznych przeważają plagioklasy (bardzo często zwietrzałe i przeobrażone), skalenie alkaliczne, kwarc i minerały ilaste (głównie kaolinit, serycyt i chloryty). Skład skał osadowych jest dość zróżnicowany. Wśród ziaren mineralnych przeważa kwarc, zwietrzałe plagioklasy i skalenie alkaliczne, obecny jest kalcyt i dolomit, częste są okruchy skał wulkanicznych i innych osadowych. Matrix jest ilasty, krzemionkowy, czasem węglanowy. W spoiwie obserwowane są także tlenki i wodorotlenki żelaza i manganu (Don i in., 1981; Mastalerz, 1995; Awdankiewicz, 1997).

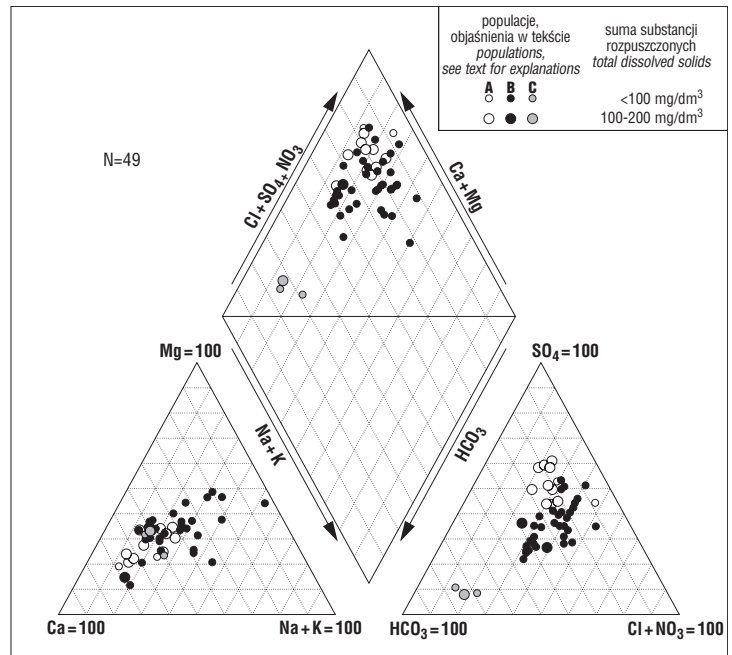
Północna część Gór Kruczych (szczególnie rejon Przedwojowa) jest dość silnie pocięta przez uskoki tektoniczne, zaznaczające się nieraz w terenie, m.in. liniowymi wypływami wód podziemnych (Don i in., 1979; Don i in., 1981).

Warunki hydrogeologiczne

W utworach Gór Kruczych znajduje się permskie piętro wodonośne. Nie ma ono większego znaczenia gospodarczego dla omawianego terenu, z powodu słabych parametrów hydrogeologicznych. Ważniejsze jest, iż wraz z wyżejległymi piętrami wodonośnymi, występującymi w zbiornikowych utworach triasu i kredy, stanowi ono jeden, duży kompleks wodonośny, obejmujący sąsiednią nieckę krzeszowską. Góry Krucze są jednym z obszarów zasilania tegoż kompleksu. Na terenie Gór Kruczych zwierciadło wód podziemnych jest swobodne, a w miarę przesuwania się w kierunku wschodnim podlega napięciu. W obrębie piętra wodonośnego Gór Kruczych występują przeważnie skały słabo przepuszczalne (wulkaniczne) i przepuszczalne (właski skał osadowych). Przeważają tu wody szczelino-we. Porowatość skał odgrywa znikomą rolę. Dla hydrodynamiki ważne jest występowanie stref uskokowych, choć głębokość aktywnego krążenia wód opadowych zasilających omawiane piętro jest stosunkowo niewielka, o czym świadczy niska mineralizacja wód oraz szybka reakcja źródeł na opady atmosferyczne. W zaopatrzeniu w wodę na terenie Gór Kruczych ważną rolę odgrywają źródła — m.in. źródło w Betlejem (nr 3; patrz ryc. 1 na str. 1011) oraz źródła Zadny w Błaziejowie (Źródło Jodłowe — nr 9; patrz ryc. 2 na str. 1011). Poza pasmem górskim, na terenie niecki krzeszowskiej odwiercone są także głębokie studnie (3b w Gorzeszowie i 6b w Krzeszówku), z których czerpana jest woda opisywanego piętra wodonośnego (Dąbrowski & Szafrańek, 1983; Grzegorzczak, 2002; Wojtkowiak, 2002). Krążenie wód podziemnych na terenie całej depresji śródsudeckiej, której częścią są Góry Krucze, zostało rozpoznane dzięki badaniom modelowym (Milicky i in., 2001).

Warunki hydrogeochemiczne

W wyniku własnych badań składu chemicznego oraz właściwości fizykochemicznych wód podziemnych rejonu Gór Kruczych oraz na podstawie danych archiwalnych stwierdzono, iż są to wody o odczynie od słabo kwaśnego do obojętnego, słodkie i ultrasłodkie (Pazdro & Kozerski, 1990). Warunki redox są określone przez wartość potencjału 131–380 mV, co odpowiada wartościom 2,33–6,75 w skali rH i warunkom przejściowym i słabo utleniającym (Macioszczyk & Dobrzyński, 2002). Temperatura wód



Ryc. 3. Chemizm wód źródeł w Górach Kruczych. Podział zbioru na populacje

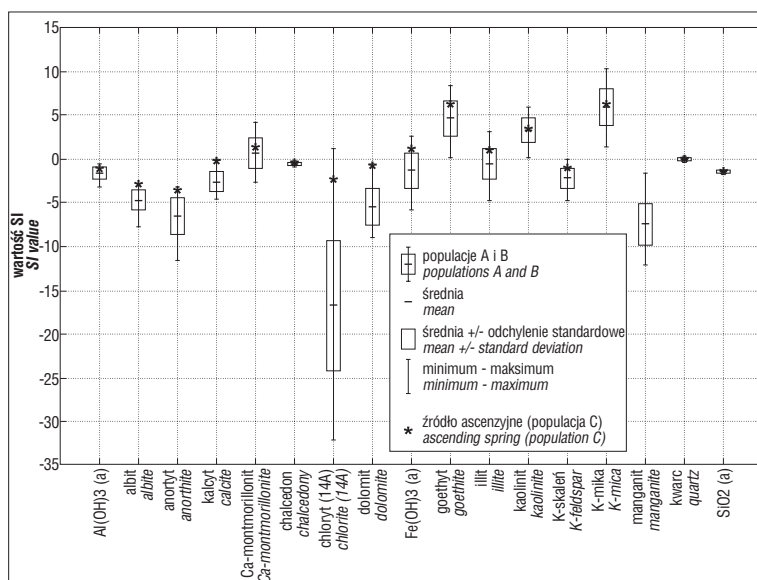
Fig. 3. Groundwater chemistry of springs in Krucze Mts. Division into populations

źródełnych zimą waha się w przedziale 2,4–8,9°C, a latem w granicach 6,6–10,9°C.

Najczęstszym typem hydrochemicznym jest $\text{SO}_4\text{--HCO}_3\text{--Ca--Mg}$. Przeważnie dominuje anion siarczanowy, występujący zwykle w stężeniach 14,2–61,0 mg/l, co stanowi najczęściej 20–60% zawartości wszystkich anionów. Udział jonu wodorowęglanowego rzadko przekracza 40% ogólnej zawartości anionów (stężenia zwykle < 30 mg/l). Łączny udział chlorków i azotanów zazwyczaj stanowi około 30% anionów. Wśród kationów największy udział ma jon wapniowy, który miejscami stanowi nawet 67% ogólnego udziału kationów. Stężenia magnezu kształtują jego udział w granicach 1–30% kationów, a łączny udział sodu i potasu kształtuje się w granicach kilkunastu procent, chociaż w jednym przypadku osiąga udział 30% wśród kationów.

Obserwacje stałości składu chemicznego i właściwości fizykochemicznych pozwoliły na wyodrębnienie z populacji źródła ascenzyjnego (nr 3). Źródło to przejawia wyraźną odrębność w zakresie procentowego udziału anionu HCO_3 . Dodatkowo leży ono bezpośrednio na linii uskoku (ryc. 2) i reprezentuje wody głębszego krążenia. Pozostałe źródła (descenzyjne) wynoszą na powierzchnię terenu wody podziemne przebywające w środowisku skalnym stosunkowo krótko, bo krążące w najpłytszej strefie, natomiast skład chemiczny wody w źródle ascenzyjnym jest wynikiem mieszania się tych wód z wodą, która w środowisku skalnym przebywała znacznie dłużej i głębiej. Nie powinien zatem dziwić fakt, iż w wodach źródła nr 3 stwierdzono najmniejszą wśród wszystkich próbek zawartość jonów NO_3 i SO_4 (tab. 2), dostarczanych do wód podziemnych Gór Kruczych przede wszystkim w wyniku procesów biogeochemicznych, zachodzących najintensywniej w glebach i zwietrzelinie, a więc w najpłytszej strefie krążenia wód podziemnych (Stepień, 2004; Stepień, 2006).

Pozostałe źródła charakteryzują się wyraźną strefowością występowania, co skłoniło do wyróżnienia dwóch



Ryc. 4. Wartości SI dla wybranych faz stałych w wodach źródeł Gór Kruczych
Fig. 4. SI values of chosen solid phases in groundwater from springs of Krucze Mts

populacji. Populacja A (źródła nr: 1, 2 i 4) reprezentuje północną część Gór Kruczych, a populacja B (źródła nr 5–11) — część południową. Źródło ascenzyjne stanowi jednoelementową populację C. Chemizm wód wszystkich źródeł został przedstawiony na diagramie Peipera (ryc. 3). W klasyfikacji tej najbardziej odzwierciedla się odrębność populacji C (zwłaszcza w zakresie anionów), choć widoczne są także różnice w chemizmie pozostałych populacji. Źródła północnej części Gór Kruczych charakteryzują się wodami o mineralizacji powyżej 100 mg/l. W populacji B wody podziemne są słabiej zmineralizowane (< 100 mg/l), i jednocześnie źródła te położone są wyżej niż w północnej części Gór Kruczych. Populacje te różnią się także udziałem jonów Ca i SO₄, których większy udział obserwuje się w wodach źródeł populacji A. Różnice w chemizmie wód podziemnych obu części Gór Kruczych nie są jednak bardzo duże. Można przypuszczać, że chemizm jest kształtowany przez te same grupy procesów, zachodzących z nieco inną intensywnością (Stępień, 2004; Stępień, 2006). Część północna jest przy tym bardziej zaangażowana tektonicznie, co może tłumaczyć większą ilość substancji rozpuszczonych w wodach populacji A. Wpływ na te drobne różnice można także tłumaczyć nieco większym udziałem w ogólnej masie skał wulkanicznych brekcji ryolitowych w części północnej Gór Kruczych w porównaniu do części południowej, gdzie zdecydowanie dominują ryolity masywne (Don i in., 1979; Lisiakiewicz, 1956).

Wody podziemne źródeł drenujących Góry Krucze są w stanie niedosycenia względem większości faz mineralnych środowiska skalnego (ryc. 4). Przesycenie wykazują wobec muskowitu, goethytu, kaolinitu i montmorillonitu wapniowego. Stan równowagi został osiągnięty z chalcodonem i kwarcem. Największe niedosycenie a zarazem niejednorodność stanu nasycenia (największa wartość odchylenia standardowego) obserwowana jest w stosunku do chlorytów. Stan niedosycenia roztworu wodnego względem pierwotnych krzemianów (plagioklazów, w mniejszym stopniu skałeni alkalicznych) wskazuje na warunki sprzyjające ich rozpuszczaniu i przeobrażaniu. Produktem rozkładu skałeni są minerały ilaste, m.in. kaolinit. Wody ze źródła ascenzyjnego są względem większości faz mineralnych (z wyjątkiem goethytu) w stanie bliższym równowagi niż wody ze źródeł descenzyjnych, wykazują- cych przewa-

żnie niedosycenie. Przejawia się to tym, że wartości wskaźnika nasycenia SI (*saturation index*) w populacji C są bliższe wartości zerowej, w porównaniu ze średnią wartością SI w populacji A i B względem danej fazy mineralnej.

Góry Krucze, będąc obszarem zasilania mezoizoicznej niecki krzeszowskiej (GZWP nr 343), są z nią silnie hydrodynamicznie i hydrogeochemicznie powiązane. Związki chemizmu pomiędzy obiema strukturami (niecką i jej obrzeżeniem) oraz procesy hydrogeochemiczne w nich zachodzące zostały szczegółowo rozpoznane i przedstawione w innych opracowaniach (Stępień, 2004; Stępień, 2006).

Literatura

- AWDANKIEWICZ M. 1997 — Petrology and geochemistry of the Carboniferous and Permian volcanic rocks of northern part of Intra-Sudetic Basin, SW Poland. Arch. Bibl. ING UW. Wrocław.
- DĄBROWSKI S. & SZAFRANEK M. 1983 — Dokumentacja hydrogeologiczna ujęcia wód podziemnych z utworów górnej kredy, triasu i permu w kategorii „B” i „C”. Przeds. Geol. Wrocław. CAG PIG. Warszawa.
- DON J., JERZYKIEWICZ T., TEISSEYRE A.K. & WOJCIECHOWSKA I. 1979 — Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów w skali 1 : 25 000, arkusz Lubawka. Wyd. Geol.
- DON J., JERZYKIEWICZ T., TEISSEYRE A.K. & WOJCIECHOWSKA I. 1981 — Objaśnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Sudetów w skali 1 : 25 000, arkusz Lubawka. Wyd. Geol.
- GRZEGORCZYK K. 2002 — Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000 wraz z objaśnieniami, arkusz Uniechów. PIG Oddz. Dolnośląski. Wrocław. CAG PIG Warszawa.
- LISIAKIEWICZ S. 1956 — Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów w skali 1 : 25 000, arkusz Uniechów. Inst. Geol.
- MACIOSZCZYK A. & DOBRZYŃSKI D. 2002 — Hydrogeochemia strefy aktywnej wymiany wód podziemnych. Wyd. Nauk. PWN. Warszawa.
- MASTALERZ K., AWDANKIEWICZ M. & CYMERMAN Z. 1995 — Objaśnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Sudetów w skali 1 : 25 000, arkusz Kamienna Góra. Wyd. Geol.
- MILICKÝ M., UHLÍK J., KRYZA J. & KRYZA H. 2001 — Dokumentacja hydrogeologiczna badań modelowych dla określenia warunków hydrodynamicznych wód podziemnych na obszarze pogranicza Polski i Czech rejonów Kudowa-Police, Krzeszów-Adspach i Mieroszów.
- PROGEO s.r.o. Praha, PG we Wrocławiu Proxima S.A., PPH Aquator sp. z o.o. Wrocław. Arch. Aquator.
- PARKHURST D.L. & APPELO C.A.J. 1999 — User's guide to PHREEQC (Version 2) — A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations Report 99-4259.
- PAZDRO Z. & KOZERSKI B. 1990 — Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol.
- STĘPIEŃ M. 2004 — Procesy i warunki hydrogeochemiczne na terenie niecki krzeszowskiej i jej obrzeżenia (Sudety Środkowe). Arch. IHiGi, Wyd. Geol. UW.
- STĘPIEŃ M. 2006 — Evolution of the groundwater chemical composition in Krzeszów trough. 4th Workshop on Hard Rock Hydrogeology of the Bohemian Massif. Jugowice 21–23 June 2006, UWroc.
- WOJTKOWIAK A. 2002 — Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000 wraz z objaśnieniami, arkusz Kamienna Góra. PIG Oddz. Dolnośląski. Wrocław.

AKTUALNE PROBLEMY HYDROGEOCHEMII
Konferencja naukowa IHiGI Wydziału Geologii UW
i Sesja Jubileuszowa Profesor dr hab. Aleksandry Macioszczyk
Warszawa, 17.11.2006



Ryc. 1. Pawilon Opata (1674–1680) wzniesiony na palach nad stawem przy źródle ascenzyjnym w Betlejem (Góry Krucze) — patrz str. 1005. Fot. M. Stępień

Ryc. 2. Źródło Jodłowe (Góry Krucze) — patrz str. 1005. Fot. M. Stępień

Ryc. 3. Potok Macelowy (pieniński pas skałkowy) — patrz str. 1008. Fot. M. Szostakiewicz

Ryc. 4. Przełom Dunajca (rejon zlewni Potoku Macelowego) — patrz str. 1008. Fot. M. Szostakiewicz

