

HYDROGEOCHEMIA SZCZAW ZAPADLIKA KUDOWY

HYDROGEOCHEMISTRY OF CO₂-RICH WATERS FROM THE KUDOWA DEPRESSION

BEATA WIKTOROWICZ¹

Abstrakt. W artykule przedstawiono wyniki ilościowej analizy związku środowiska skalnego ze składem chemicznym szczaw i wód kwasowęglowych występujących w obrębie zapadliska Kudowy. Do realizacji pracy wykorzystano modelowanie hydrogeochemiczne, które przeprowadzono przy użyciu programu komputerowego WATEQ4F. Stan nasycenia ilościowo oceniony został przez wskaźnik nasycenia SI. Interpretację stanu nasycenia ograniczono do najważniejszych minerałów skałotwórczych budujących ośrodek wodonośny. Stwierdzono, że minerałami decydującymi o równowadze hydrogeochemicznej szczaw i wód kwasowęglowych Kudowy-Zdroju są kalcyt, dolomit, grupa skaleni i illit.

Słowa kluczowe: szczawy, hydrogeochemia, modelowanie hydrogeochemiczne, zapadlisko Kudowy.

Abstract. The paper presents the results of hydrogeochemical modelling of CO₂-rich waters from the Kudowa area. The analysis of water saturation was based on calculations carried out with the use of the WATEQ4F code. The saturation state was estimated quantitatively using the Saturation Index (SI). Interpretation of the saturation state was limited to the most important rock-forming minerals. Minerals regulating the hydrogeochemical equilibrium in CO₂-rich waters in Kudowa Spa are principally calcite, dolomite, feldspars and illite.

Key words: CO₂-rich waters, hydrogeochemistry, hydrogeochemical modelling, Kudowa depression.

WSTĘP

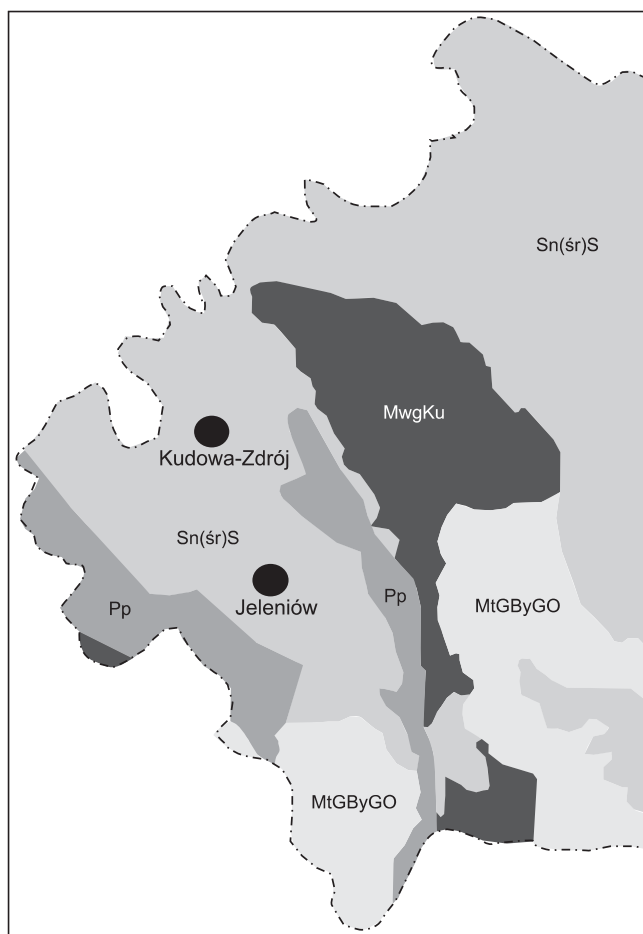
Szczawy były znane i cenione od dawna z powodu swoich właściwości leczniczych. Są to wody, które zawierają w swoim składzie co najmniej 1000 mg/dm³ wolnego dwutlenku węgla (Dowgiałło i in., 2002).

W obrębie zapadliska Kudowy znane są dwa miejsca wystąpień wód typu szczaw. Na terenie Polski są to uzdrowsko Kudowa-Zdrój i Jeleniów (fig. 1). Do drugiego rejonu należy zaliczyć sąsiedni obszar Czech z wypływami w Beloves, Hronovie i Trticach, które nie zostały objęte badaniami w niniejszej pracy. Rejon badań jest szczególnym przypadkiem występowania na niewielkiej przestrzeni kilkudziesięciu ujęć

szczaw typu HCO₃-Na-Ca i HCO₃-Ca-Na oraz zawierających jako jedyne w Polsce podwyższone wartości arsenu.

Dotychczas powszechnie uznaje się związek składu chemicznego sudeckich szczaw z ośrodkiem skalnym. Spośród wielu prac przede wszystkim należy wymienić opracowania Teisseyre (1954), Fistka i Gierwielańca (1983) oraz Ciężkowskiego (1990). Ostatnio tematykę stanu równowagi hydrogeochemicznej wód leczniczych przedstawiają również Wiktorowicz (2004, 2006) oraz Kiełczawa i Wiktorowicz (2006, 2007). Uważa się, że ostateczny skład chemiczny wód, jaki obserwujemy w punktach wypływu na powierzch-

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Świętokrzyski, ul. Zgoda 21, 25-953 Kielce; e-mail: beata.wiktorowicz@pgi.gov.pl



nie, uformowany zostaje w wyniku procesu mieszania się w różnych proporcjach wód wysoko zmineralizowanych z wodami zwykłymi, pochodzenia infiltracyjnego (Ciężkowski, Szarszewska, 1978; Ciężkowski, 1990).

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie charakterystyki hydrogeochemicznej szczaw występujących w obrębie zapadliska Kudowy oraz ocena stopnia ich nasycenia w stosunku do najważniejszych minerałów skałotwórczych budujących ośrodek wodonośny.

Do realizacji pracy wykorzystano modelowanie hydrogeochemiczne, które przeprowadzono przy użyciu programu komputerowego WATEQ4F (Ball, Nordstrom, 1992). Materiał podstawowy do badań stanowiło około 160 wyników archiwalnych analiz chemicznych wód z 9 ujęć z okresu od 1957 do 2007 roku.



Fig. 1. Wystąpienia szczaw rejonu Kudowy-Zdroju na tle głównych jednostek geologicznych Sudetów (na podstawie Oberc, 1972)

MtGByGO – metamorfik Gór Bystrzyckich i Orlickich, Sn(śr)S – synklinorium śródsudeckie, MwgKu – intruzja granitoidowa Kudowy, Pp – osady permu.

Occurrence of CO₂-rich waters in Kudowa Spa against the background of the main geological units of the Sudetes (after Oberc, 1972)

MtGByGO – Bystrzyca and Orlica Mts. Metamorphic zone; Sn(śr)S – mid-Sudetic synclinorium, MwgKu – Kudowa granitoid intrusion, Pp – Permian deposits

ZARYS WARUNKÓW GEOLOGICZNYCH REJONU KUDOWY

Zapadlisko Kudowy stanowi wschodnią część większej jednostki regionalnej – basenu Nachodu (Wojewoda, 2007). Struktura ma charakter synklinalnego rowu tektonicznego o kierunku WNW–ESE, wypełnionego w brzeżnych partiach utworami czerwonego spągowca, zaś w części osiowej osadami kredy górnej. Dominują tu serie piaskowców i mułowców ilasto-wapnistych (Gierwielaniec, 1965). Na północy zapadlisko Kudowy graniczy z waryscyjskim masywem granitoidowym Kudowy, zaś od południa z metamor-

ficznym blokiem bystrzycko-orlickim i karbońską intruzją granitoidową Novego Radka (Oberc, 1972).

Na podstawie danych z literatury (Ryka, Rygiel, 1980) określono skład mineralny ośrodka wodonośnego. Ze względu na ograniczoną objętość artykułu nie zamieszczono udziału poszczególnych minerałów skałotwórczych. Ustalono, że dominują odmiany polimorficzne krzemionki, grupa skaleni oraz minerały węglanowe. Pobocznie występują minerały ilaste i łuszczyki.

TYPY CHEMICZNE SZCZAW ZAPADLIKA KUDOWY

Na podstawie charakterystyki podstawowych parametrów chemicznych i makroskładników, wśród szczaw zapadliska Kudowy wyróżniono dwa podstawowe typy chemiczne. Pierwszy typ HCO₃–Ca–Na, stwierdzony został w ujęciach najpłytszych – nr 3 (Nowy Marchlewski) i Gazowe zlokalizowanych w Kudowie-Zdroju. Analizowane wody charakteryzują się najniższą mineralizacją, kształtującą się

w przedziale od 1,7 do 1,8 g/dm³. Drugi typ HCO₃–Na–Ca, znany jest z głębszych ujęć położonych w Kudowie-Zdroju – nr 2 (Moniuszko), K-200 oraz Jeleniowa J-150 i P-5. Stopień mineralizacji wód waha się w szerokim przedziale od 1,5 do 3,6 g/dm³ (tab. 1).

Wszystkie szczawy zapadliska Kudowy wyróżnia znaczna ilość rozpuszczonego wolnego CO₂ wahającego się od

Tabela 1

Skład chemiczny szczyw jednostki Kudowy w zapisie skrótowym
 Chemical composition of CO₂-rich waters from Kudowa expressed by the Kurlov formula

Lokalizacja ujęć szczyw	Liczba ujęć	Okres / liczba analiz	Typ chemiczny	Skrócony zapis analiz szczyw wzorem Kurłowa
Kudowa-Zdrój	6	1980–2007 / 108	HCO ₃ –Na–Ca	$\text{CO}_2^{1,5-3,2} \text{M}^{1,7-3,6} \frac{\text{HCO}_3^{82-87} \text{SO}_4^{8-13} \text{Cl}^5}{\text{Na}^{44-48} \text{Ca}^{36-43} \text{Mg}^{13-16} \text{T}^{9,8-18,0}}$
Jeleniów	2	1957–1997 / 44		$\text{CO}_2^{0,9-2,4} \text{M}^{0,9-2,7} \frac{\text{HCO}_3^{79-85} \text{SO}_4^{10-14} \text{Cl}^{4-7}}{\text{Na}^{40-55} \text{Ca}^{37-41} \text{Mg}^{9-19} \text{T}^{11,0-20,2}}$
	1	1979–1994 / 6	HCO ₃ –Ca–Na	$\text{CO}_2^{0,6-2,4} \text{M}^{0,8-2,1} \frac{\text{HCO}_3^{85-90} \text{SO}_4^{7-10} \text{Cl}^{3-5}}{\text{Ca}^{52-54} \text{Na}^{31-33} \text{Mg}^{14-15} \text{T}^{8,0-11,3}}$

0,6 do 3,2 g/dm³. Natomiast zawartość jonów sodowych kształtuje się w ilościach 68 do 530 mg/dm³, wapniowych 66 do 345 mg/dm³. Wśród składników swoistych wyróżnia się żelazo (0,8–22 mg/dm³) oraz arsen (0,3–5 mg/dm³).

W celu zobrazowania pokrewieństwa składu jonowego szczyw i wód migrujących wykonano ich odwzorowanie na diagramie Pipera. Wyniki wraz z zaznaczonymi kierunkami zmian składu chemicznego od strefy wód infiltracyjnych do

obszaru występowania badanych wód przedstawiono na [figu-rze 2](#). Stwierdzono, że punkty określające zawartości kationów nie tworzą jednorodnej populacji, co wskazuje na zróżnicowanie się składników w poszczególnych ujęciach. Natomiast analizowane aniony tworzą na diagramie zwartą grupę, świadczącą o dużym podobieństwie w składzie. Uzyskane wyniki wskazują na skomplikowane warunki formowania się szczyw w badanej jednostce.

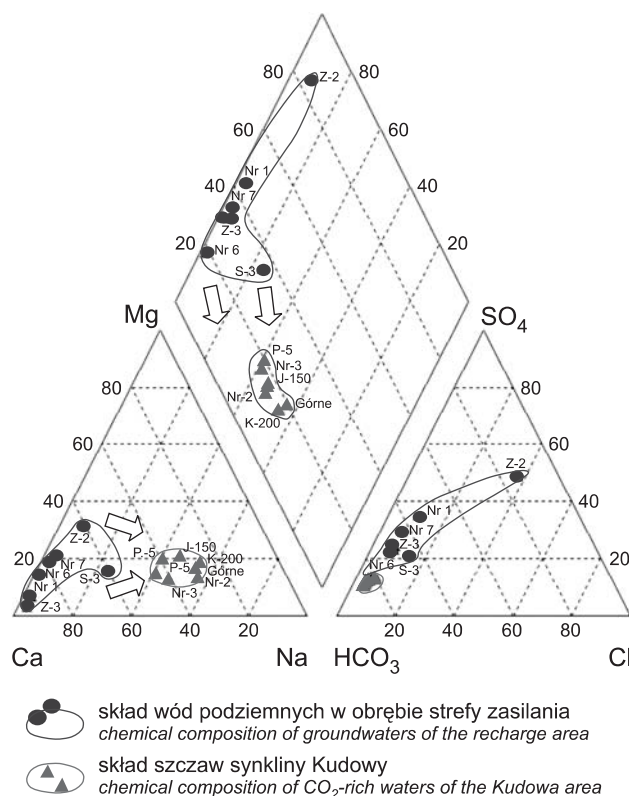


Fig. 2. Charakterystyka hydrochemiczna szczyw zapadliska Kudowy na diagramie Pipera

Hydrogeochemical characteristics of CO₂-rich waters from Kudowa expressed by the Piper's diagram

ANALIZA WSKAŹNIKÓW SI

Oceny związku między chemicznym składem szczaw i składem mineralnym skał wodonośnych dokonano na podstawie wartości wskaźnika nasycenia SI (Saturation Index) (tab. 2).

Na podstawie uzyskanych wyników ustalono, że jest to grupa szczaw bardzo zróżnicowana pod względem nasycenia w składniki mineralne. Stan równowagi hydrogeochemicznej szczaw typu $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$ kształtuje zarówno grupa węglanów (SI od -047 do 0,22), jak i minerały ilaste (SI od -3,39 do 2,42). Natomiast drugi z wyróżnionych typów $\text{HCO}_3\text{-Na-Ca}$, wykazuje stan bliski równowagi z grupą węglanów (SI od -2,35 do 0,96). Minerale te stanowią podstawowe składniki skał osadowych górnej kredy. Obserwowany jest również znaczny udział krystalitu (SI od 0,09 do

0,9) i grupy skaleni (SI od -3,66 do 1,85) w kształtowaniu się równowagi hydrogeochemicznej, co pozwala na przyjęcie tezy o składowej mineralnej pochodzącej z podłoża krystalicznego jednostki, o czym wzmiankowali już Fistek i Gierwielanec (1983).

Ustalono ponadto, że polimorficzne odmiany krzemionki jak, chalcedon, kwarc i krystalit tworzą stan przesycony (SI od 1,32 do 0,07). Natomiast procesowi rozpuszczania ulegają amfibole i pirokseny (SI < -7,0).

Analizie wskaźników nasycenia zostały poddane również fazy mineralne zawierających związki żelaza i stwierdzono, że wszystkie badane szczawy są silnie przesycone, podobnie jak i w stosunku do badanej grupy łyszczyków.

Tabela 2

Zestawienie wskaźników nasycenia SI obliczonych dla roztworów szczaw zapadliska Kudowy
Saturation index of CO_2 -rich waters from Kudowa

Faza mineralna		Wskaźnik nasycenia SI [-]					
		Kudowa-Zdrój				Jeleniów	
		K-200	nr 2	nr 3	Górne	J-150	P-5
Tremolit	$\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_3(\text{OH})[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2$	(-16,75) – (-14,13)	(-22,48) – (-19,29)	(-26,30) – (-19,87)	-22,13	(-25,50) – (-22,31)	(-21,89) – (-19,84)
Diopsyd	$\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$	(-7,77) – (-3,45)	(-8,83) – (-8,16)	(-10,23) – (-9,58)	-9,17	(-10,12) – (-9,27)	(-8,93) – (-8,31)
Albit	$\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	-1,39 – 0,22	(-3,48) – (-1,72)	(-3,66) – (-2,61)	-2,44	-3,30	-1,60
Adular	$\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	-0,83 – 1,85	(-1,90) – (-0,07)	(-2,05) – (-0,96)	-0,85	-1,62	-0,23
Anortyt	$\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$	(-8,02) – (-4,98)	(-9,56) – (-6,86)	(-10,23) – (-7,64)	-9,27	-10,02	-4,50
SiO_2 (a)	SiO_2	(-0,17) – (-0,05)	(-0,69) – (-0,54)	-0,68 – 0,50	-0,22	(-0,36) – (-0,35)	-0,83 – 0,74
Chalcedon		0,71 – 0,85	0,2 – 0,35	0,21 – 0,32	0,66	0,53 – 0,54	0,07 – 0,13
Krystalit		0,65 – 0,90	0,26 – 0,42	0,27 – 0,44	0,73	0,59 – 0,60	0,09 – 0,18
Kwarc		1,18 – 1,32	0,67 – 0,83	0,68 – 0,85	1,14	1,001 – 1,01	0,52 – 0,59
Baryt	BaSO_4	0,09 – 0,18	-0,75 – 0,05	-0,35 – 0,51	0,31	0,29	0,73
Kalcyt	CaCO_3	-0,08 – 0,96	-0,001 – 0,22	(-0,64) – (-0,47)	-0,59	(-1,02) – (-0,83)	(-0,08) – (-0,10)
Dolomit	$\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)_2$	(-0,45) – (-0,13)	(-0,47) – (-0,06)	(-1,80) – (-1,50)	-1,62	(-2,35) – (-1,94)	(-0,51) – (-0,42)
Illit	$\text{KAl}(\text{OH})_2[(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}]n\text{H}_2\text{O}$	-0,53 – 7,09	-3,29 – 0,4	(-3,39) – (-0,80)	-1,93	-2,96	1,66
Kaolinit	$\text{Al}_4(\text{OH})_8[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$	1,70 – 7,33	0,02 – 3,07	0,25 – 2,42	1,04	0,32	4,49
Muskowit	$\text{KAl}_2(\text{OH})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$	1,03 – 7,09	1,76 – 1,39	1,27 – 4,78	2,68	1,46	8,00
Hematyt	Fe_2O_3	19,98 – 22,23	19,67 – 20,16	17,63 – 19,72	19,79	18,92 – 16,35	19,75 – 19,92

pogrubiono wartości bliskie stanowi równowagi hydrogeochemicznej
bold type used for values close to hydrogeochemical equilibrium state

Na podstawie otrzymanych wyników analizy wskaźników nasycenia i warunków geologicznych rejonu, została podjęta próba sporządzenia modelu hydrogeochemicznego formowania się szczaw jednostki zapadliska Kudowy. Graficznie schemat formowania się badanych wód przedsta-

wiono na [figurze 3](#). Stwierdzono, że skład chemiczny badanych wód kształtowany jest zarówno przez procesy rozpuszczania skał krystalicznego podłoża, jak i skał osadowych górnej kredy.

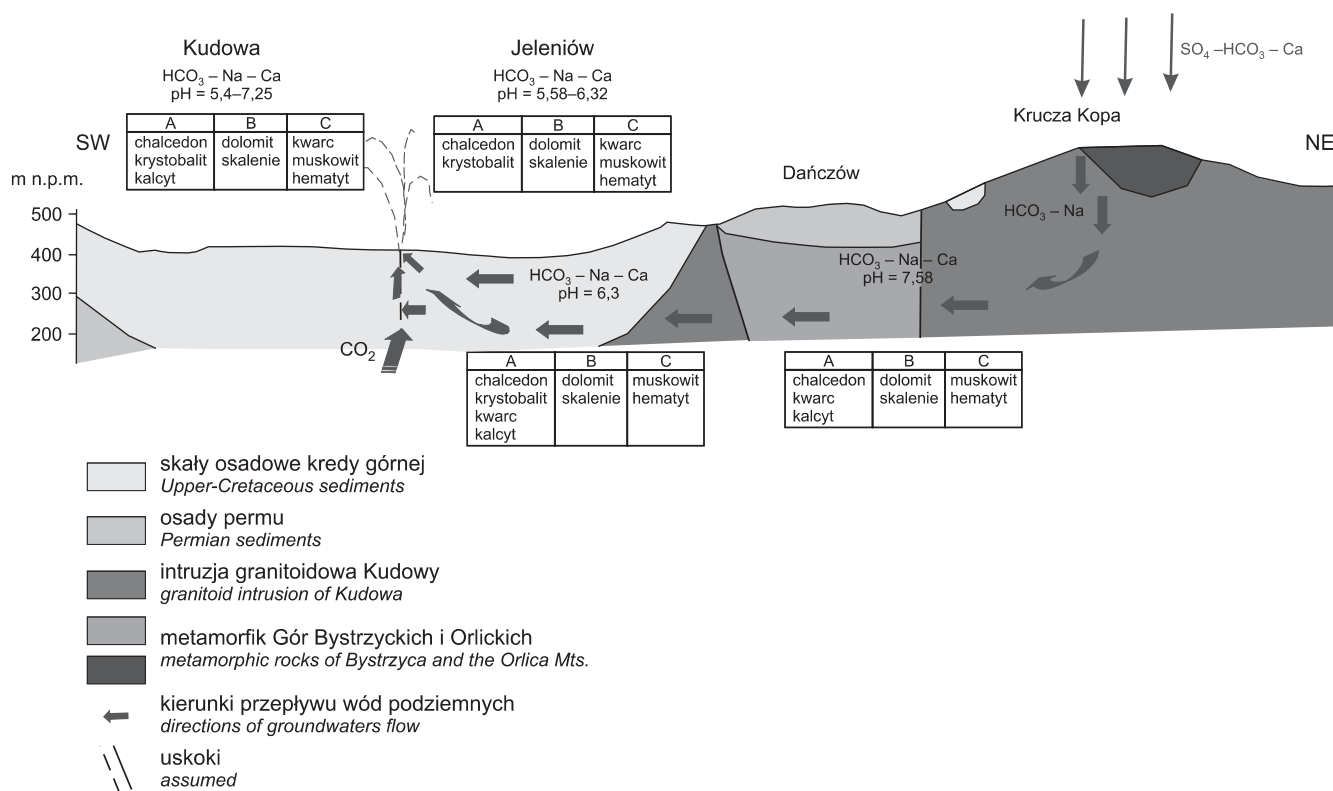


Fig. 3. Model hydrogeochemiczny systemu przepływu szczaw synkliny Kudowy

Wskaźniki nasycenia (SI): A – stan równowagi, B – stan niedosycenia, C – stan przesylenia

Circulation system hydrogeochemical model of CO₂-rich waters from Kudowa

Saturation Index (SI): A – equilibrium state, B – undersaturation state, C – supersaturation state

PODSUMOWANIE

Podjęcie badań nad równowagą hydrogeochemiczną szczaw zapadliska Kudowy-Zdroju jest szczególnie ważne. Przeprowadzone badania przyczyniły się do bardziej szczegółowego rozpoznania procesów interakcji woda-skała zachodzących w zbiorniku wód leczniczych. Wykonana analiza określiła w sposób ilościowy dominujący wpływ róż-

norodności środowiska skalnego na formowanie się specyficznego składu chemicznego szczaw oraz potwierdziła dotychczasowe poglądy dotyczące genezy badanych wód leczniczych (Fistek, Gierwielaniec, 1983; Ciężkowski, 1990).

LITERATURA

- BALL J.W., NORDSTROM D.K., 1992 – User's manual for WATEQ4F, with revised thermodynamic data base trace test cases for calculating speciation of minor, trace and redox elements in natural waters. *U.S. Geol. Surv., Open File Rep.*, 91–183.
- CIEŹKOWSKI W., 1990 – Studium hydrogeochemii wód leczniczych Sudetów polskich. *Pr. Nauk. Ins. Geotechn. PWr, Seria Monografie*.
- CIEŹKOWSKI W., SZARSZEWSKA Z., 1978 – O zjawisku mieszania się wód leczniczych z wodami ich otoczenia na przykładzie uzdrowisk sudeckich. *Probl. Uzdrow.*, 6.
- DOWGIAŁŁO J., KLECZKOWSKI S., MACIOSZCZYK T., RÓŹKOWSKI A., (red.), 2002 – Słownik hydrogeologiczny. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- FISTEK J., GIERWIELANIEC J., 1983 – Problematyka hydrogeologiczna zapadliska Kudowy. II Ogólnopolskie Sympozjum: Współczesne problemy hydrogeologii regionalnej, Łądek Zdrój, 13–16.10 1982. Wyd. UWroc., Wrocław.
- GIERWIELANIEC J., 1965 – Budowa geologiczna okolic Kudowy Zdroju. *Biul. Inst. Geol.*, 185.
- KIĘLCAWA B., WIKTOROWICZ B., 2006 – Model hydrogeochemiczny formowania się szczaw rejonu uskoku Pstrążna – Gorzanów. *W: Aktualne problemy hydrogeochemii: 42–44. Sosnowiec–Złoty Potok*.
- KIĘLCAWA B., WIKTOROWICZ B., 2007 – Hydrogeochemia szczaw i wód kwasowęglowych Ziemi Kłodzkiej. *W: Współczesne problemy hydrogeologii*, t. 13: 213–222. AGH, Kraków.
- OBERC J., 1972 – Budowa geologiczna Polski. T. IV. Cz. 2. Sudety i obszary przyległe. Wyd. Geol., Warszawa.
- RYKA W., RYGIEL W., 1980 – Zbiór analiz fizykochemicznych skał. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, .
- TEISSEYRE J., 1954 – Geologia sudeckich wód mineralnych. *W: Mat. Pozjazd.: 74–96. Zjazd Nauk.Tech. w Krynicy. Stalinogród*.
- WIKTOROWICZ B., 2004 – Wstępna ocena stanu równowagi hydrogeochemicznej szczaw Ziemi Kłodzkiej przy zastosowaniu modelowania geochemicznego. *Prz. Geol.*, 52, 11: 1071–1075.
- WIKTOROWICZ B., 2006 – Równowaga hydrogeochemiczna szczaw Ziemi Kłodzkiej. Praca doktorska. PWroc., Wrocław.
- WOJEWODA J., 2007 – Žd'árky-Pstrážna Dome – dextral strike-slip fault-related structure at the easter termination of Poříčí-Hronov Fault Zone (Sudetes, Góry Stołowe Mts.). 5th Meeting of the Central European Tectonic Studies Group: 93–95. Tepla.

SUMMARY

The varied chemical composition of groundwater is related chiefly to rock lithology. This paper presents the results of hydrogeochemical modelling of CO₂-rich waters from Kudowa. The analysis of water saturation was based on calculations carried out with the use of the WATEQ4F code. This unit is composed of Upper-Cretaceous deposits and a granitoid intrusion. The saturation state was estimated quantitatively with the Saturation Index (SI). The assumption was made that the near-equilibrium state is when the SI is $\pm 5\%$ logK_T. Interpretation of the saturation state was limited to the most important rock-forming minerals.

The research results proved that the variety of rock settings is one of the most important reasons for the water chemistry differentiation in Kudowa. Minerals regulating the hydrogeochemical equilibrium in CO₂-rich waters in Kudowa Spa are principally calcite, dolomite, feldspars and illite. The waters under study are supersaturated with mica, quartz and iron oxides, and undersaturated in relation to amphiboles and pyroxenes.

The observations and analysis of the Kudowa region geology enabled a creation of a CO₂-rich water formation model.