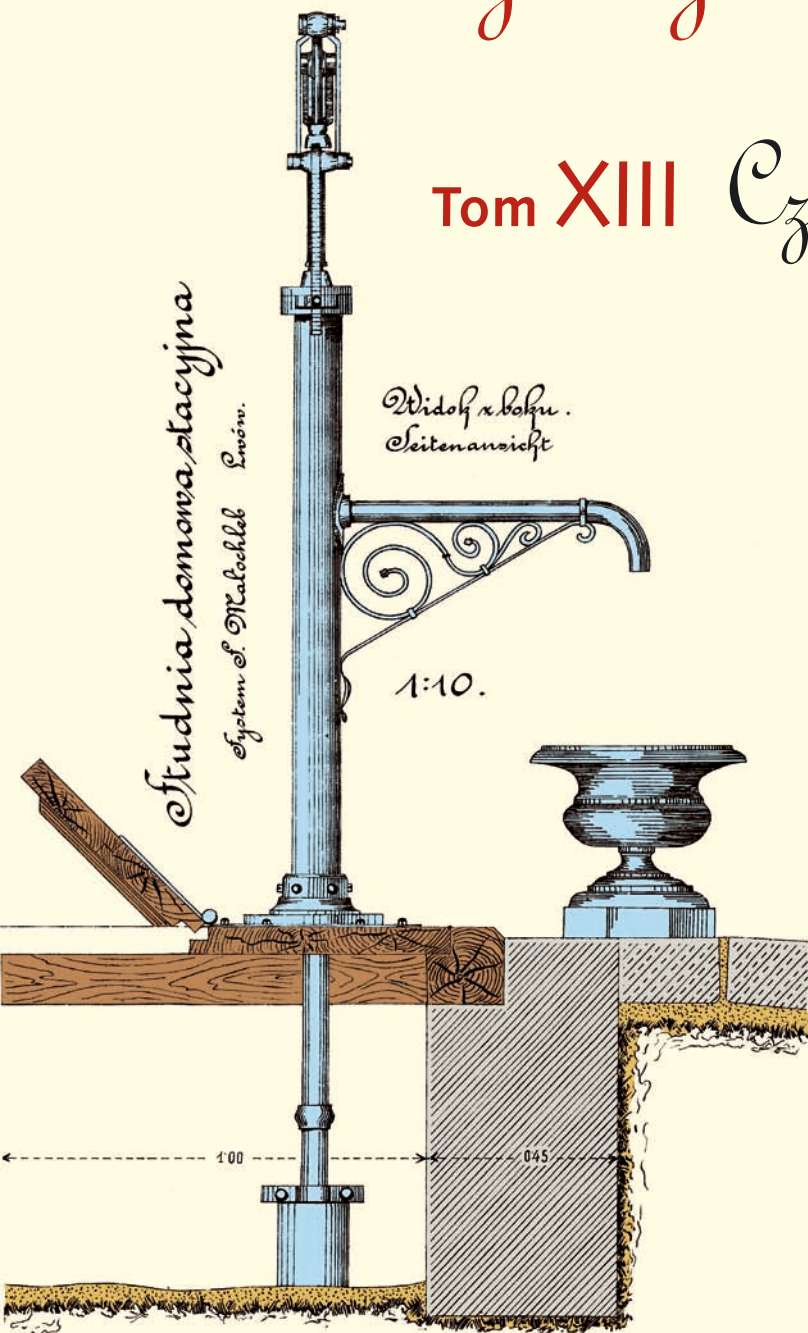


Współczesne problemy hydrogeologii

Tom XIII Część 2.



Copyright © Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, Kraków 2007



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

Beata Wiktorowicz, Barbara Kiełczawa

**Hydrogeochemia szczaw i wód
kwasowęglowych Ziemi Kłodzkiej**

**The Hydrogeochemistry of Acidulous Waters
of Kłodzko Area**

Słowa kluczowe szczawy i wody kwasowęglowe, hydrogeochemia, modelowanie geochemiczne

Key words CO₂ rich waters, hydrogeochemistry, geochemical modelling

Abstract Most of the water differentiation is a result of interactions between groundwaters and rocks environment. This paper contains the results of hydrogeochemical modelling of CO₂-rich waters from Kłodzko area. The results of research proved that the chemical composition of this waters is mainly controlled by the process of decomposition of carbonated minerals. The process may depend on pH, mineralization and occurrence of others ions and CO₂. The modelling study has been carried out with the use of WATEQ4F.

Wprowadzenie

W naturalnych warunkach woda podziemna podlega ciągle trwającemu procesowi przepływu rozpoczynającego się od strefy zasilania wodami opadowymi przez spękany maszy skalny do strefy drenażu. Powoduje to, że wody zmieniają swój skład chemiczny dostosowując się do zmieniającego się środowiska litologicznego i warunków fizyczno-chemicznych.

Szczawy i wody kwasowęglowe stanowią szczególny rodzaj wód podziemnych. Są to wody, które dzięki specyficznemu składowi chemicznemu i właściwościom fizycznym są wykorzystywane w celach leczniczych lub butelkowane. Jedne z liczniejszych wypływów szczaw i wód kwasowęglowych występują w obrębie Ziemi Kłodzkiej, gdzie ujawniają od wieków swą obecność. Wody te stanowią obiekt badawczy o bardzo dużym znaczeniu poznawczym oraz użytkowym. Obszar badań to teren, gdzie na niezbyt rozległej przestrzeni wyróżnić można zróżnicowane struktury geologiczne.

Przedmiotem niniejszej pracy jest przedstawienie hydrochemicznej charakterystyki wód oraz stopnia ich agresywności w stosunku do wybranych faz mineralnych.

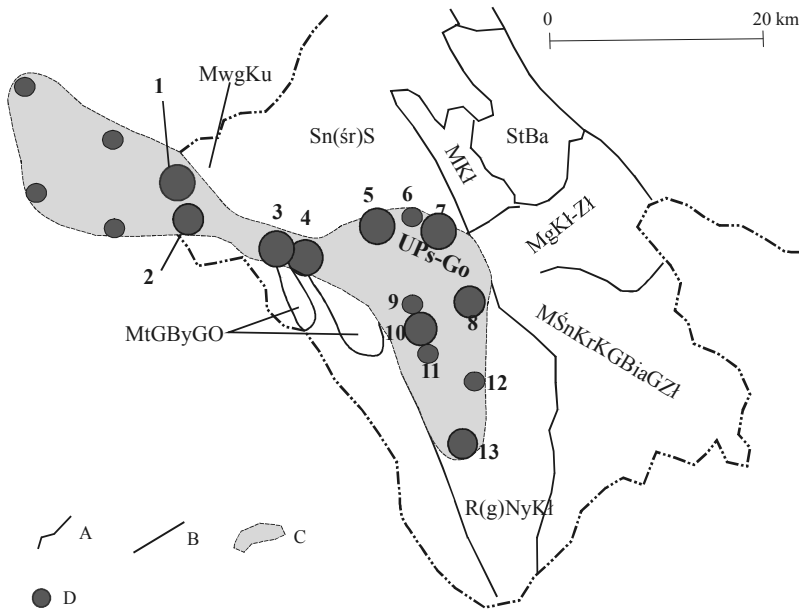
Dotychczas powszechnie uważano, że skład jakościowy uzależniony jest od litologii skał. Pierwsze wzmianki na ten temat (odnośnie wód leczniczych) znaleźć można u Teisseyre (1954), natomiast szerzej poglądy ten rozwinął Fistek (1977).

Wstępną ocenę stanu równowagi hydrogeochemicznej szczaw Ziemi Kłodzkiej przedstawiły Wiktorowicz (2004, 2006) oraz Kielczawa i Wiktorowicz (2006a, b).

Do realizacji prezentowanej pracy wykorzystano modelowanie hydrogeochemiczne, które przeprowadzono przy użyciu programu komputerowego WATEQ4F (Ball, Nordstrom, 1991). W badaniach wykorzystano około 750 wyników archiwalnych analiz składu chemicznego wód z 40 ujęć z okresu od 1910 do 2005 r. Niezbędne do modelowania wyniki analiz składu mineralnego skał wodonośnych zaczerpnięto z literatury (Ryka, Rygiel, 1980). Niestety, ze względu na ograniczoną objętość artykułu, nie zamieszczono ich.

Zarys warunków geologicznych

Na terenie Ziemi Kłodzkiej współwystępuje kilka jednostek geologicznych wyższego rzędu, zbudowanych z różnowiekowych serii skalnych (rys. 1). Strefę południowo-zachodnią stanowi metamorficzny blok bystrzycko-orlicki, zbudowany ze zróżnicowanych facjalnie łupków łyszczykowych, biotytowych, chlorytowych oraz gnejsów z soczewami kwarcu i wapieni krystalicznych. W obrębie tej jednostki wyróżnia się sześć miejsc wystąpień szczaw w: Dusznikach Zdroju, Bobrownikach Starych, Nowej Łomnicy, Szczawinie, Nowej Bystrzycy i Długopolu Zdroju. Na północy krystalinik graniczy z intruzją granitoidową Kudowa-Oleśnice, której wiek ocenia się na waryscyjski (Oberc, 1972). Najpowszechniej na terenie badań występują górnokredowe skały osadowe, wypełniające jednostkę rowu górnej Nysy Kłodzkiej i synklinę Kudowy. Dominują tu serie piaskowców i mułowców ilasto-wapnistych (margle). W obrębie synkliny Kudowy szczawy znane są z Kudowy Zdroju i Jeleniowa. Natomiast w jednostce rowu górnej Nysy Kłodzkiej badane wody wypływają w miejscowościach: Polanica Zdrój, Szalejów Górny, Stary Wielisław Dolny, Gorzanów i Bystrzyca Kłodzka.



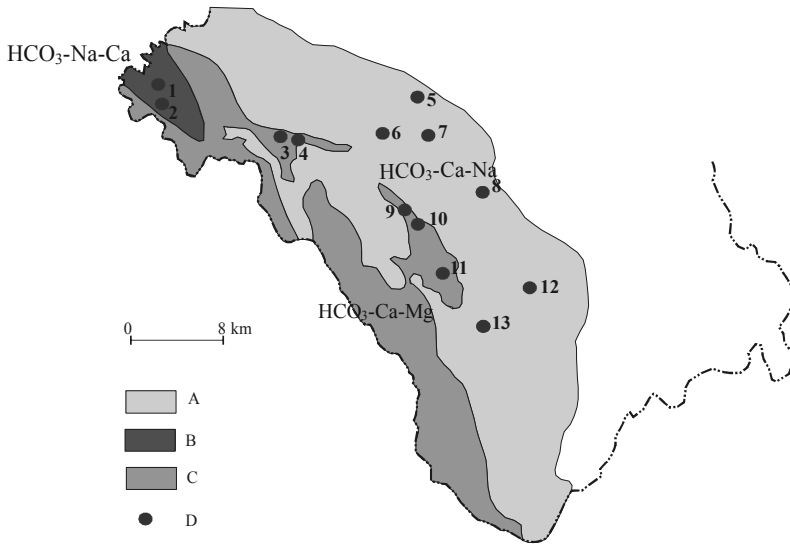
Rysunek 1. Wystąpienia szcaw i wód kwasowęglowych Ziemi Kłodzkiej na tle głównych jednostek geologicznych Sudetów (na podstawie Ciężkowskiego i in., 2002).

Objaśnienia: A – granice jednostek geologicznych: MtGByGO – metamorfik Gór Bystrzyckich i Orlickich; MwgKu – intruzja granitoidowa Kudowy; R(g)NyKł – rów górnej Nysy Kłodzkiej; Sn(śr)S – synklinorium śródsudeckie; StBa – struktura Bardzka; MKI – metamorfik Kłodzki; MŚnKrKGBiaGZł – metamorfik śnieżnicki, Krowiarek, Gór Białskich i Gór Złotych; MKI-Zł – intruzja kłodzko-złotostocka; B – uskoki: uPs-Go – uskoc Pstrążna-Gorzanów; C – obszar występowania szcaw; D – szcaw uznane za lecznicze: 1 – Kudowa Zdrój; 2 – Jeleniów; 3 – Duszniki Zdrój; 4 – Bobrowniki Stare; 5 – Polanica Zdrój; 8 – Gorzanów; 10 – Szczawina; 13 – Długopole Zdrój; E – inne szcaw: 6 – Szalejów Górny; 7 – Stary Wielisław Dolny; 9 – Nowa Łomnica; 11 – Nowa Bystrzyca; 12 – Bystrzyca Kłodzka

Figure 1. The occurrence of acidulous waters in Kłodzko District on the background of themain geological units of the Sudetes (after Ciężkowski et al., 2002).
Explanation: A – borders of geological units: MtGByGO – the Bystrzyca and the Orlica Mts. metamorphic zone; MwgKu – granitoid intrusion of Kudowa; R(g)NyKł – the Upper Nysa Kłodzka Rift Valley; Sn(śr)S – mid-Sudetic synclinorium; StBa – Bardo structure; MKI – Kłodzko metamorphic zone; MŚnKrKGBiaGZł – metamorphic zone of Śnieżnik, the Krowiarki, the Białskie Mts. and the Złote Mts.; MKI-Zł – Kłodzko-Złoty Stok intrusion; B – faults: uPs-Go – Pstrążna-Gorzanów fault; C – area of acidulous water occurrence; D – medicinal acidulous waters: 1 – Kudowa Zdrój; 2 – Jeleniów; 3 – Duszniki Zdrój; 4 – Bobrowniki Stare; 5 – Polanica Zdrój; 8 – Gorzanów; 10 – Szczawina; 13 – Długopole Zdrój; E – other acidulous waters: 6 – Szalejów Górny; 7 – Stary Wielisław Dolny; 9 – Nowa Łomnica; 11 – Nowa Bystrzyca; 12 – Bystrzyca Kłodzka

Typy chemiczne szczaw Ziemi Kłodzkiej

Opierając się na analizie składu chemicznego wśród badanych szczaw wyróżniono trzy zasadnicze rejony o podobnym charakterze hydrogeochemicznym wód. Rejony te utożsamiono, podobnie jak Ciężkowski (1990) z jednostkami geologicznymi (rys. 2).



Rysunek 2. Główne typy chemiczne szczaw Ziemi Kłodzkiej.

Objaśnienia: A – górnokredowe skały osadowe jednostki rowu górnej Nysy Kłodzkiej i niecki śródsudeckiej; B – krystaliczne skały jednostki metamorfiku Gór Bystrzyckich i Orlickich; C – górnokredowe skały osadowe synkliny Kudowy; D – wystąpienia szczaw: 1 – Kudowa Zdrój, 2 – Jeleniów, 3 – Duszniki Zdrój, 4 – Bobrowniki Stare, 5 – Szalejów Górny, 6 – Polanica Zdrój, 7 – Stary Wielisław Dolny, 8 – Gorzanów, 9 – Nowa Łomnica, 10 – Szczawina, 11 – Nowa Bystrzyca, 12 – Bystrzyca Kłodzka, 13 – Długopole Zdrój

Figure 2. The main chemical types of acidulous waters in Kłodzko District.

Explanation: A – Upper Cretaceous deposit rocks of the Upper Nysa Kłodzka Rift Valley and mid-Sudetic synclinorium; B – cristaline roks of the Bystrzyca and the Orlica Mts. metamorphic zone; C – Upper Cretaceous deposit roks of the Kudowa synclinorium; D – medicinal acidulous waters: 1 – Kudowa Zdrój, 2 – Jeleniów, 3 – Duszniki Zdrój, 4 – Bobrowniki Stare, 5 – Szalejów Górny, 6 – Polanica Zdrój, 7 – Stary Wielisław Dolny, 8 – Gorzanów, 9 – Nowa Łomnica, 10 – Szczawina, 11 – Nowa Bystrzyca, 12 – Bystrzyca Kłodzka, 13 – Długopole Zdrój

Pierwszy obszar, reprezentujący jednostkę rowu górnej Nysy Kłodzkiej i SE część niecki śródsudeckiej, obejmuje wypływy szczaw o głównym typie chemicznym $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$ (tab. 1). Mineralizacja wód waha się od 0,2 do 2,7 g/dm³ przy zawartości CO_2 od 0,6 do 2,9 mg/dm³. W składzie chemicznym omawianych wód wyróżniono najwyższe średnie

zawartości jonów wapnia (230,6 mg/dm³) oraz najniższe stężenia jonów żelaza (5,8 mg/dm³) i krzemu (15,2 mg/dm³).

Drugi obszar stanowi struktura krystaliniku bystrzycko-orlickiego, gdzie szczawy charakteryzują się typem HCO₃-Ca-Mg (tab. 1). Stopień mineralizacji tych wód jest zróżnicowany i waha się od 0,2 do 2,8 g/dm³. W składzie chemicznym jony magnezowe (6-45% mva/dm³) dominują nad sodowymi (2-35% mval/dm³). Cechą wyróżniającą szczawy analizowanego typu jest znaczna zawartość CO₂ (do 2,8 g/dm³), który często tworzy suche ekshalacje. Ostatnio również na terenie uzdrowiska Duszniki Zdrój uzyskano szczawę termalną (Fistek, Dowgiałło, 2003).

Tabela 1. Skład chemiczny szczaw i wód kwasowęglowych Ziemi Kłodzkiej w skróconym zapisie Kurlowa

Table 1. Chemical composition of acidulous waters of the Kłodzko area expressed by Kurlov formula

Jednostka geologiczna	Liczba ujęć	Liczba analiz	Typ chemiczny	Skrócony zapis analiz szczaw wzorem Kurlowa
Rów górnej Nysy Kłodzkiej	18	157	HCO ₃ -Ca-Na	$CO_2^{0,6-2,9}M^{0,2-2,7} \frac{HCO_3^{86-96}SO_4^{2-10}Cl^{2-7}}{Ca^{21-88}Na^{4-42}Mg^{8-35}}T^{6,9-15,8}$
Metamorfik Gór Bystrzyckich i Orfickich	20	119	HCO ₃ -Ca-Mg	$CO_2^{0,9-2,8}M^{0,2-2,8} \frac{HCO_3^{85-97}SO_4^{2-12}Cl^{1-3}}{Ca^{46-90}Na^{6-45}Mg^{2-35}}T^{6-31}$
Synklina Kudowy	8	139	HCO ₃ -Na-Ca	$CO_2^{0,6-3,2}M^{0,8-3,6} \frac{HCO_3^{79-90}SO_4^{7-14}Cl^{3-7}}{Ca^{40-55}Na^{31-43}Mg^{9-19}}T^{8-20}$

Trzeci rejon to grupa szczaw związana z utworami synkliny Kudowy, reprezentująca główny typ HCO₃-Na-Ca (tab. 1). Są to wody o wysokiej mineralizacji (0,8 do 3,6 g/dm³) i znacznych ilościach wolnego CO₂ (0,6-3,2 mg/dm³). Procentowy udział jonów sodowych (40-55% mval/dm³) w składzie chemicznym omawianych wód przewyższa zawartość jonów wapniowych (31-43% mval/dm³).

Analiza wskaźników SI

Związek składu chemicznego badanych wód z poszczególnymi minerałami występującymi w omówionych ośrodkach skalnych określono na podstawie wartości wskaźnika nasycenia SI (*Saturation Index*). Stwierdzono, że minerałami decydującymi o stanie równowagi hydrogeochemicznej szczaw jednostki rowu górnej Nysy Kłodzkiej są kalcyt (-1,03÷0,68) i chalcedon (α kwarc; -0,18÷0,28), będące podstawowymi składnikami skał osadowych górnej kredy. Stan niedosycenia zaobserwowano względem minerałów z grupy

plagioklazów (-11,03÷-2,27). Fazę rozpuszczaną stanowi również illit (-5,1÷-0,61). Wody lecznicze eksploatowane w tej jednostce cechuje przesylenie kwarcem (0,29÷1,03).

Szczawy metamorfiku Gór Bystrzyckich i Orlickich wykazują Stan równowagi hydrogeochemicznej z krzemionką amorficzną (-0,49÷0,47). Ustalono, że w stosunku do węglanów badane wody są w stanie niedosycenia (-5,86÷0,18). Wyjątek stanowią mieszaniny szczaw duszniczych, które pozostają z analizowaną fazą w równowadze hydrogeochemicznej. Uzyskane wyniki pozwalają przyjąć tezę o związku szczaw z wapieniami krystalicznymi, występującymi w tym rejonie w postaci soczew, o czym wzmiankował Dowgiałło (1978). Analiza wykazała również, że rozpuszczanymi fazami mineralnymi w tym przypadku są grupy amfiboli, piroksenów, serpentynu, chlorytu i skaleni (tab. 2).

Wody lecznicze wypływające w obrębie jednostki synkliny Kudowy wykazują stan równowagi głównie z dwiema grupami mineralnymi. Pierwszą z nich są węglany (-2,19÷0,06), drugą polimorficzne odmiany krzemionki (-0,83÷0,85). Ustalono, że fazę rozpuszczaną stanowią amfibole i pirokseny. Stan niedosycenia badane wody wykazują z grupą skaleni (-10,23÷0,21). Nieco odmiennie od opisywanych są szczawy eksploatowane odwiertami *K-200* w Kudowie Zdrój i *P-5* w Jeleniowie, dla których wskaźnik *SI* przyjmuje wartości bliskie punktowi nasycenia. Sądzić zatem można, że zasadnicze formowanie się składu chemicznego szczaw zachodzi w obrębie granitoidowego podłoża, jak przypuszczał Fistek i Gierwielaniec (1983).

Ustalono, że wszystkie badane szczawy i wody kwasowęglowe są silnie przesycone ($SI > 7,0$) fazami mineralnymi zawierającymi związki żelaza i grupy łuszczyków (tab. 2). Uzyskane wyniki tłumaczyć można siarczkową mineralizacją kruszczową żył polimetalicznych typu hydrotermalnego, jaką obserwuje się w obrębie masywu granitoidowego Kudowy oraz skałach metamorficznych Gór Bystrzyckich i Orlickich (Fistek, Gierwielaniec, 1983).

Formowanie się składu chemicznego szczaw i wód kwasowęglowych

Lecznicze szczawy i wody kwasowęglowe Ziemi Kłodzkiej charakteryzują się zróżnicowaną mineralizacją i stanem niedosycenia w stosunku do większości minerałów skał wodonośnych. Za główny czynnik determinujący poziom mineralizacji badanych wód uznano dwutlenek węgla. Obserwuje się wyraźny związek ilości CO_2 doprowadzanego z głębi litosfery, ze stopniem zmineralizowania wód.

W toku przeprowadzonych badań dokonano analizy genezy występujących w omawianych wodach jonów. Uzyskane wyniki pozwoliły na wyodrębnienie faz oraz podstawowych procesów formujących skład chemiczny szczaw Ziemi Kłodzkiej (tab. 3). Z analizy wynika, że skład chemiczny badanych wód kształtowany jest głównie przez procesy rozpuszczania skał węglanowych, magmowych, jak i metamorficznych, występujących w danych jednostkach geologicznych. Podkreślić należy, że w wyniku tego procesu powstaje większość większość składników szczaw.

Tabela 2. Zestawienie wskaźników nasycenia *SI* dla szczaw i wód kwasowęglowych Ziemi Kłodzkiej (wartości bliskie równowadze zostały pogrubione)

Table 2. Saturation indexes (*SI*) of CO_2 rich waters in Kłodzko area

Jednostka geologiczna	Rów górnej Nisy Kłodzkiej i S-E części niecki śródsudeckiej					Metamorfitk Gór Bystrzyckich i Orlickich			Synklina Kudowy	
	Polanica Zdrój	Szalejów	Gorzanów	Stary Wielisław Dolny	Duszniki Zdrój	Bobrowniki Stare	Szcza-wina	Kudowa Zdrój	Jeleniów	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Faza mineralna Wzór chemiczny	4 ujęcia	1 ujęcie	2 ujęcia	1 ujęcie	5 ujęć	2 ujęcia	1 ujęcie	4 ujęcia	2 ujęcia	
Tremolit $Ca_2(Mg,Fe)_5(OH)[Si_4O_{11}]_2$	×	×	×	×	-21,5 ÷ -14,33	-41,6 ÷ -31,6	-30,87	-26,3 ÷ -16,49	-25,5 ÷ -19,8	
chloryt $Mg_2Al_2Si_3O_{10}(OH)_2nH$	×	×	×	×	-20,83 ÷ -14,28	?	?	×	×	
chryzotyl $Mg_6(OH)[Si_4O_{10}]$	×	×	×	×	-13,24 ÷ -10,29	-21,3 ÷ 17,4	-16,73	×	×	
diopsyd $CaMg[Si_2O_6]$	×	×	×	×	-10,32 ÷ -10,32	-14,6 ÷ -11,98	-11,92	-10,23 ÷ -7,69	-9,84 ÷ -8,3	
albit $Na[AlSi_3O_8]$	-4,15 ÷ -3,1	?	-3,9 ÷ -2,27	?	-2,64 ÷ -0,96	?	?	-3,66 ÷ 0,21	-3,3 ÷ -1,6	
adular $K[AlSi_3O_8]$	×	×	×	×	-0,41 ÷ 1,22	?	?	-2,05 ÷ -1,85	-1,62 ÷ -0,23	
anortyt $Ca[Al_2Si_2O_8]$	-11,03 ÷ -8,9	?	-3,2 ÷ -3,67	?	×	×	×	-10,23 ÷ -8,02	-10,2 ÷ -4,5	
Si (a) SiO ₂	×	×	×	×	-0,29 ÷ -0,17	-0,49 ÷ -0,38	-0,37	-0,22 ÷ 0,5	-0,83 ÷ -0,35	

Tabela 2. cd.
Table 2. cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
chalcodon SiO ₂	0,05 ÷ 0,25	-0,13	0,07 ÷ 0,28	0,06	×	×	×	0,25 ÷ 0,85	0,04 ÷ 0,54
krystobalit SiO ₂	×	×	×	×	0,74 ÷ 0,34	0,16 ÷ 0,18	0,59	0,31 ÷ 0,73	0,09 ÷ 0,6
kwarc SiO ₂	0,59 ÷ 0,72	1,03	0,55 ÷ 0,75	0,54	0,75 ÷ 1,13	0,59 ÷ 1,01	1,01	0,85 ÷ 1,3	0,52 ÷ 1,01
kaleyit CaCO ₃	-0,74 ÷ 0,43	-0,56	-0,84 ÷ -0,08	-0,35	-0,6 ÷ 0,18	-2,65 ÷ -1,64	-1,93	-0,64 ÷ 0,06	-0,94 ÷ -0,1
dolomit Ca ₁ Mg(CO ₃) ₂	-2,95 ÷ -0,15	-2,09	-2,41 ÷ -0,15	-1,24	-1,53 ÷ 0,03	-5,86 ÷ -3,58	-3,7	-1,8 ÷ -0,43	-2,19 ÷ -0,51
illit KAl(OH) ₂ [(Si ₇ Al) ₈ O ₁₀] nH ₂ O	-5,1 ÷ -0,61	?	-2,27 ÷ ?	?	×	×	×	-3,39 ÷ -0,53	-2,96 ÷ 1,66
kaolinit Al ₄ (OH) ₈ [Si ₄ O ₁₀]	-0,65 ÷ 3,27	?	4,96 ÷ 1,93	?	×	×	×	0,25 ÷ 1,7	0,32 ÷ 4,49
muskowit KAl ₂ (OH) ₂ [AlSi ₃ O ₁₀]	-0,07 ÷ 2,19	?	8,33 ÷ ?	?	4,29 ÷ 7,58	0,59 ÷ 1,01	1,01	1,27 ÷ 4,1	1,46 ÷ 8,0
magnetyt Fe ₃ O ₄	7,22 ÷ 9,2	8,48	0,42 ÷ 7,1	8,34	×	×	×	×	×
hematyt Fe ₂ O ₃	×	×	×	×	18,6 ÷ 20,5	17,87 ÷ 19,73	19,39	19,72 ÷ 20,26	19,21 ÷ 19,75

Główne składniki szczaw, tj. jony HCO_3^- , Ca^{2+} i Mg^{2+} pochodzą z procesów rozpuszczania węglanowego spoiwa skał osadowych górnej kredy, występujących we wszystkich jednostkach geologicznych badanego terenu. Do wzbogacenia wód w jony Na^+ i K^+ przyczynia się rozkład plagioklazów i minerałów tyczących. Stwierdzono ponadto, że stężenie jonów żelaza determinowane jest procesami rozpuszczania tlenków żelaza i utlenianiem jonów siarczanowych. Jony chlorkowe dostarczane są głównie przez infiltrujące opady atmosferyczne.

Tabela 3. Podstawowe procesy formujące skład szczaw Ziemi Kłodzkiej
Table 3. The basic processes which creates chemical composition of acidulous waters in Kłodzko area

Proces		Składniki wód
Rozpuszczanie	(skały węglanowe)	HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} ,
	(skały magmowe)	Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , SiO_2 , Cl^- , Li^- , $\text{H}_2\text{AsO}_4^{2-}$
	(skały metamorficzne)	Mg^{2+} , K^+ , SiO_2 , Cl^- , Li^- , $\text{H}_2\text{AsO}_4^{2-}$
Rozpuszczanie tlenków żelaza		Fe^{2+}
Utlenianie		SO_4^{2-}
Infiltracja opadu atmosferycznego		Cl^-
Mieszanie		HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , SiO_2 , Cl^- , Li^- , $\text{H}_2\text{AsO}_4^{2-}$

Ustalono również, że na ostateczny skład chemiczny szczaw, jaki obserwujemy w strefach drenażu, wpływa dodatkowo mieszanie się wód wysoko zmineralizowanych z wodami zwykłymi, o czym szeroko pisał Ciężkowski (1990).

Podsumowanie i wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że różnorodność środowiska skalnego jest jedną z dominujących przyczyn różnicowania się składu chemicznego badanych wód.

Określone warunki formowania się składu chemicznego szczaw Ziemi Kłodzkiej w toku przeprowadzonego modelowania hydrogeochemicznego potwierdziły dotychczasowe poglądy i przypuszczenia na temat formowania się analizowanych wód (Teisseyre, 1954; Fistek, 1977; Ciężkowski, 1990). Stwierdzono dominujący wpływ procesu rozpuszczania minerałów węglanowych (kalcytu, dolomitu), na kształtowanie się równowagi hydrogeochemicznej badanych wód.

Literatura

- Ball J.W., Nordstrom D.K., 1991: *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, ss. 183.
- Ciężkowski W., 1990: *Studium hydrogeochemii wód leczniczych Sudetów polskich*. Pr. Nauk. Inst. Geotech. PWr, nr 60, seria monografie, Wrocław.

- Ciężkowski W., Duliński W., Józefko I., Kiełczawa B., Liber-Madziarz E., Witczak S., Zuber A., Zak S., 2002: *Występowanie, dokumentowanie i eksploatacja endogeniczny dwutlenku węgla w Polsce - Poradnik metodyczny*. Wrocław, Wyd. WTN.
- Dowgiałło J., 1978: *Pochodzenie dwutlenku węgla w szczawach Karpat i Sudetów na obszarze Polski*. Warszawa, Biul. Inst. Geol. nr 312, s. 191-214.
- Dowgiałło J., Fistek J., 2003: *New findings in the Wałbrzych - Kłodzko geothermal subregion (Sudetes, Poland)*. Geothermics, 32 (4-6), s. 689-699.
- Fistek J., 1977: *Szczawy Kotliny Kłodzkiej i Gór Bystrzyckich*. Warszawa, Biul. Geol. UW, t. 22, s. 61-115.
- Fistek J., Gierwielaniec J., 1983: *Problematyka hydrogeologiczna zapadliska Kudowy*. [w:] II Ogólnopolskie Sympozjum: Współczesne problemy hydrogeologii regionalnej, Łądek Zdrój 13 – 16.10 1982, Wrocław, Wydawnictwo UWr, s. 240-261.
- Kiełczawa B., Wiktorowicz B., 2006a: *The use of WATEQ4F software in hydrogeochemical modeling of carbonated and containing carbon dioxide waters of Bystrzyca and Orlica Mountains (SW Poland)*. [w:] 4th International Workshop Hard Rock Hydrogeology of the Bohemian Massif, Jugowice, 21-23 June 2006, pp. 22-23.
- Kiełczawa B., Wiktorowicz B., 2006b: *Model hydrogeochemiczny formowania się szczaw rejonu uskoku Pstrążna-Gorzanów*. [w:] Hydrogeochemia '06 - X międzynarodowa Konferencja naukowa Aktualne problemy hydrogeochemii, 23.06 – 24.06.2006 Sosnowiec – Złoty Potok, s. 42-44.
- Oberc J., 1972: *Budowa geologiczna Polski, t. IV, Tektonika, cz. 2, Sudety i obszary przyległe*. Warszawa, Wyd. Geol.
- Ryka W., Rygiel W., 1980: *Zbiór analiz fizykochemicznych skal*. Warszawa, Biuletyn PIG.
- Teisseyre J., 1954: *Geologia sudeckich wód mineralnych*. [w:] Zjazd Nauk. Tech. w Krynicy 1954 – Mat. Pozjaz. Stalinogród.
- Wiktorowicz B., 2004: *Wstępna ocena stanu równowagi hydrogeochemicznej szczaw Ziemi Kłodzkiej przy zastosowaniu modelowania geochemicznego*. Warszawa, Prz. Geol. nr 11, t. 52, s. 1071-1075.
- Wiktorowicz B., 2006: *Równowaga hydrogeochemiczna szczaw Ziemi Kłodzkiej*. Praca doktorska PWroc. (mat. niepubl.).