

Charakterystyka hydrogeochemiczna wód siarczkowych rejonu Solca-Zdroju

Iwona Lipiec¹, Beata Wiktorowicz¹

Hydrogeochemical characteristic of sulphurous waters from the Solec-Zdrój area. *Prz. Geol.*, 63: 908–911.

Abstract. This paper shows characteristics of sulphurous waters from the Solec-Zdrój area. Evaluation of their chemistry was based on the results of analyses of groundwater sampled from boreholes in: Solec-Zdrój, Welnin and Dobrowoda and from the springs: Senisławice, Gadawa, Szczerbaków and Piestrzec. The following hydrochemical facies of groundwater were identified: Ca–SO₄–HCO₃, S, Na–Cl–SO₄, S to Cl–Na, S, with TDS in the range of 1.9–47.0 g/dm³. Examined waters are also featured by considerable concentrations of iodine and fluorine. The research results proved that the geological setting is one of the most important factors defining the water chemistry variability. In general, the chemical composition of sulphide waters in this region is determined by the interactions between the groundwaters and rocks.

Keywords: sulphide waters, chemical type of waters, the Solec-Zdrój area

Wody siarczkowe były znane i cenione od dawna z powodu swoich właściwości leczniczych. Są to wody, które zawierają w swoim składzie co najmniej 1 mg/dm³ siarki oznaczalnej jodometrycznie (Dowgiałło i in., 2002). Wody siarczkowe najliczniej występują na obszarze niecki miechowskiej w rejonie Solca-Zdroju, gdzie odnotowano je w siedmiu miejscach, z czego w trzech przypadkach nadano status wód leczniczych (tab. 1). Podkreślić należy również, że wody te osiągają jedne z najwyższych stężeń siarki całkowitej w polskich wodach, dochodzących nawet do 960,0 mg/dm³. Dodatkowo zwraca uwagę występowanie

nie innych składników swoistych, takich jak jodki (do 7,0 mg/dm³) i fluorki (do 3,6 mg/dm³).

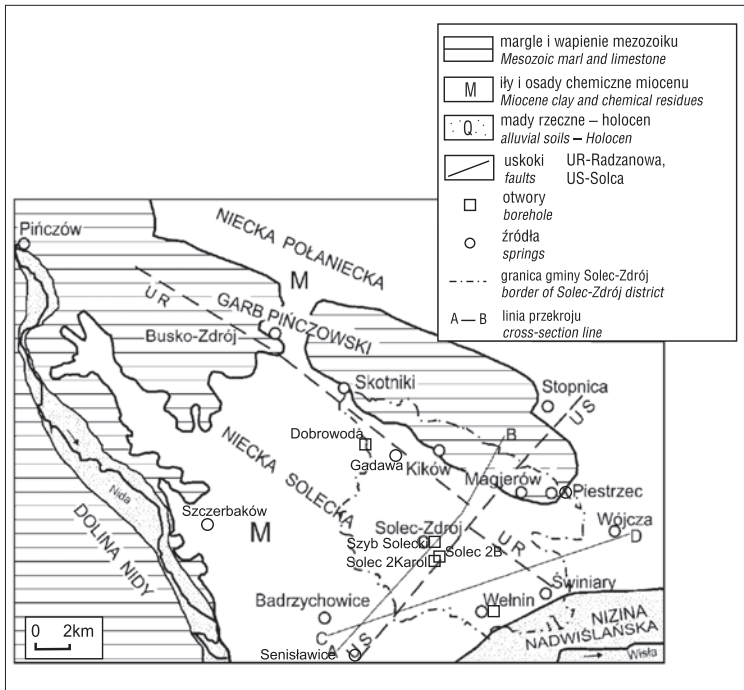
Przedmiotem niniejszej pracy jest przedstawienie charakterystyki hydrochemicznej wód siarczkowych rejonu Solca-Zdroju z uwzględnieniem warunków formowania się ich składu chemicznego. W pracy wykorzystano modelowanie hydrochemiczne przeprowadzone przy użyciu programu komputerowego PHREEQCI z bazą danych wateq4f (Appelo & Postma, 1999). W badaniach wykorzystano około 155 wyników archiwalnych (z lat 1871–2012) analiz chemicznych wody z pięciu otworów wiertniczych oraz z czterech źródeł.

Tab. 1. Wyniki badań terenowych oraz typy hydrogeochemiczne wód podziemnych

Table 1. Results of field investigations and the hydrogeochemical types of groundwater

Nazwa ujęcia/ źródła <i>Name of water/ spring</i>	Głębokość poziomu wodonośnego <i>Depth aquifer</i> [m]	Litologia i wiek skal wodonośnych <i>Lithology and age of the rocks aquifers</i>	Typ wody wg Altowskiego i Szwieca <i>Type of water according to Altowski and Szwiec</i>	Mineralizacja <i>Total Dissolved Solids (TDS)</i> [g/dm ³]	Siarka S (II) <i>Sulphur (II)</i> [mg/dm ³]	Uwagi <i>Remarks</i>
Szyb Solecki	120,0–150,0	piaskowce margliste/K	Cl–SO ₄ –Na, S, I, F	18,4	152,8	otwór/ <i>borehole</i>
Solec 2B	101,0–121,0	margle/ K	Na–Cl–SO ₄ , S, I	16,5	201,0	otwór/ <i>borehole</i>
Solec 2-Karol	98,0–118,0		Cl–SO ₄ –Na, S, I, F	20,6	41,3	otwór/ <i>borehole</i>
Welnin (Malina)	126,6–170,0	wapienie/ J _{3j}	Cl–Na, S, I	32,5	960,0	otwór/ <i>borehole</i>
Dobrowoda G-1	162,0–300,0	piaskowce, margle, zlepienie/ Ng – baden	Na–Cl–SO ₄ – S, I	14,4	85,2	otwór/ <i>borehole</i>
Piestrzec	—	Piaskowce, margle i zlepienie/ Ng – baden	Ca–SO ₄ –, S	2,5	11,2	źródło/ <i>spring</i>
Gadawa	—	margle/ K	Na–Cl–SO ₄	9,8	8,9	źródło/ <i>spring</i>
Szczerbaków	—	wapienie/ J ₃	Cl–Na, S, I	46,8	29,3	źródło/ <i>spring</i>
Senisławice	—	piaskowce margle, i zlepienie/ Ng – baden	Ca–SO ₄ –HCO ₃ , S	1,9	1,3	źródło/ <i>spring</i>

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



Ryc. 1. Mapa geologiczna z lokalizacją punktów badawczych (wg Jurkiewicz & Woźniński, 1979; Kulikowskiej, 1975)

Fig. 1. Geological map with sampled points location (after Jurkiewicz & Woźniński, 1979; Kulikowska, 1975)

Hydrogeochemia wód siarczkowych rejonu Solca-Zdroju została wstępnie przedstawiona przez Lipiec (2009) oraz Lipiec i Wiktorowicz (2010). Bogaty zbiór danych dotyczących siarczkowych wód leczniczych w części zapadliska przedkarpackiego przedstawili także Lisik i Szczepański (2014).

ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ I WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE OBSZARU BADAŃ

Rejon Solca-Zdroju jest położony w obrębie Niecki Nidziańskiej, która stanowi południowy fragment synklinorium szczecińsko-łódzko-miechowskiego. Jest to obszar o dość skomplikowanej budowie geologicznej i zróżnicowanych warunkach hydrogeologicznych. Niecka jest wypełniona niekompletnymi utworami kredy, jury i triasu. Podłoże jednostki jest zbudowane ze zdyslokowanych utworów paleozoicznych (Pożaryski, 1974; Stupnicka, 2007; Walczowski, 1976).

W badanym rejonie występują piętra wodonośne czwartorzędu, neogenu, kredy, jury oraz triasu. Wykazują one między sobą bezpośrednie bądź pośrednie więzi hydrodynamiczne (Prażak, 2007).

Występowanie wód siarczkowych w rejonie Solca-Zdroju jest związane piaskowcami, marglami i zlepiancami neogenu/badenu, z kompleksem górnokredowych utworów margli i piaskowców oraz stropową serią węglanową jury górnej. Lokalizację opisywanych ujęć przedstawiono na tle budowy geologicznej Poniżnia (ryc. 1).

SKŁAD CHEMICZNY WÓD SIARCZKOWYCH

Według regionalizacji wód mineralnych i leczniczych wody siarczkowe rejonu Solca-Zdroju należą do prowincji karpackiej, regionu zapadliska przedkarpackiego, subregio-

nu nidziańsko-lubaczowskiego (Chowaniec i in., 2007).

Badane wody wypływają z trzech różnych formacji skalnych, w których obrębie charakteryzują się podobnym typem hydrochemicznym. Stwierdzono również występowanie pionowej zmienności hydrochemicznej wód, odznaczającej się wzrostem mineralizacji oraz zmianą typu chemicznego wraz z głębokością (tab. 1).

Pierwszym wyróżnionym kolektorem wód siarczkowych są utwory neogenu (baden górny), reprezentowane przez piaskowce, margle i zlepiance. Obserwowane są tu wyłącznie naturalne wypływy źródlane wód siarczkowych o typie Ca-SO₄ w miejscowościach Piestrec i Seniawice. Mineralizacja wód wynosi 1,9–2,5 g/dm³, a zawartość związków siarki (II) 1,3–11,2 mg/dm³ (tab. 2).

Drugi poziom wód siarczkowych stanowią piaski i piaskowce margliste oraz margle kredy górnej (tab. 1). Badane wody są eksploatowane w uzdrowisku Solec-Zdrój, Dobrowodzie oraz w źródle po nieczynnym szybie w miejscowości Gadawa (tab. 1). Mineralizacja tych wód zawiera się w przedziale 9,8–20,6 g/dm³. Zawartość związków siarki (II) waha się znacznie w granicach od ok. 0,5 do 20,6 g/dm³ (tab. 2). Wody poziomu kredy górnej reprezentują dwa główne typy hydrochemiczne Na-Cl-SO₄ i Cl-SO₄.

Trzecią serią skalną, w której zostały ujęte wody siarczkowe są wapień jury górnej. W utworach tych zlokalizowano ujęcie w Welnie i źródło w Szczerbakowie. Wody te charakteryzują się najwyższymi wartościami mineralizacji wynoszącymi 32,5–46,7 g/dm³ i najwyższą zawartością związków siarki (II) dochodzącą do 960 mg/dm³ (tab. 2). Pod względem chemicznym reprezentują jeden typ Cl-Na.

WSKAŹNIK NASYCENIA SI A FAZY MINERALNE

W celu oceny stopnia równowagi układu woda – skały zbiornikowe wykonano modelowanie hydrogeochemiczne z wykorzystaniem aplikacji komputerowej PHREEQCI wraz z bazą danych wateq4f (Appelo & Postma, 1999). Stan równowagi wód podziemnych względem faz mineralnych jest oceniany ilościowo przez wskaźnik nasycenia *SI*. W warunkach równowagi termodynamicznej, istniejącej między roztworem wodnym a ośrodkiem skalnym, wskaźnik nasycenia przyjmuje wartość równą zero (*SI* = 0). Przyjmuje się, że za stan równowagi między badaną wodą a rozpuszczaną fazą odpowiadają wartości wskaźnika *SI* w zakresie ±5% log *KT* (Appelo & Postma, 1999). Wartości *SI* mniejsze od zera opisują stan, w którym przeważać będzie rozpuszczanie, natomiast wartości większe od zera opisują stan przesylenia.

W toku przeprowadzonej analizy wyróżniono fazy mineralne odpowiedzialne za kształtowanie się równowagi hydrogeochemicznej wód siarczkowych w rejonie Solca-Zdroju. Stwierdzono, że fazami decydującymi o równowadze hydrogeochemicznej badanych wód są przede wszystkim minerały węglanowe. Wartości wskaźnika nasycenia *SI* dla kalcytu i dolomitu kształtują się w przedziale -0,88–0,73. Stan bliski równowadze wykazują także omawiane wody z grupą siarczanów – przede wszystkim z gipsem, dla którego wartości parametru *SI* wahają się w grani-

Tab. 2. Skład chemiczny wód siarczkowych rejonu Solca-Zdroju (na podstawie analizy z 2012 r.)

Table 2. Chemical composition of sulphurous waters from the Solec Spa (as of 2012)

Nazwa ujęcia Name of water intake	Skrócony zapis analiz wód wzorem Kurlowa Kurlov's formula
Szyb Solecki	$I^{13,4} HBO^{5,7} S + HS^{152,8} M_{18,4} \frac{Cl^{78} SO_4^{20} HCO_3^2}{Na^{74} Ca^{14} Mg^{10} K^1} T^{14}$
Solec 2B	$I^{11,6} HBO^6 S + HS^{201} M_{16,5} \frac{Cl^{73} SO_4^{24} HCO_3^3}{Na^{80} Mg^{11} Ca^8 K^1} T^{13}$
Solec II Karol	$I^{14} HBO^5 S + HS^{41,3} M_{20,0} \frac{Cl^{81} SO_4^{18} HCO_3^1}{Na^{76} Mg^{12} Ca^{10} K^1} T^{15}$
Welnin (Malina)	$I^{16} HBO^{22,3} S + HS^{960} M_{32,5} \frac{Cl^{88} SO_4^9 HCO_3^3}{Na^{75} Mg^{13} Ca^{10} K^1} T^{13}$
Dobrowoda	$I^2 S^{85} M_{14,4} \frac{Cl^{75} SO_4^{22} HCO_3^2}{Na^{76} Mg^{13} Ca^9 K^1} T^{16}$
Piestrzec	$S^{11,2} M_{2,5} \frac{SO_4^{84} HCO_3^{15}}{Ca^{91}} T^9$
Gadawa	$S^{8,9} M_{9,8} \frac{Cl^{68} SO_4^{29}}{Na^{74} Ca^{13} Mg^{12}} T^{10}$
Szczerbaków	$I^{15,4} S^{29,3} M_{46,7} \frac{Cl^{89} SO_4^{11}}{Na^{78} Mg^{11} Ca^{11}} T^{12}$
Seniślawice	$S^{1,3} M_{1,9} \frac{SO_4^{74} HCO_3^{23}}{Ca^{86}} T^{11}$

Tab. 3. Zestawienie wskaźników nasycenia *SI* dla wód siarczkowych rejonu Solca-Zdrój z okresu 2005–2012 (wartości bliskie równowadze pogrubiono) (Lipiec & Wiktorowicz, 2010, zmodyfikowano)

Table 3. Saturation index (*SI*) of sulphide waters of the Solec-Zdrój region based on analyses from the period 2005–2012 (values close to equilibrium in bold) (Lipiec & Wiktorowicz, 2010, modified)

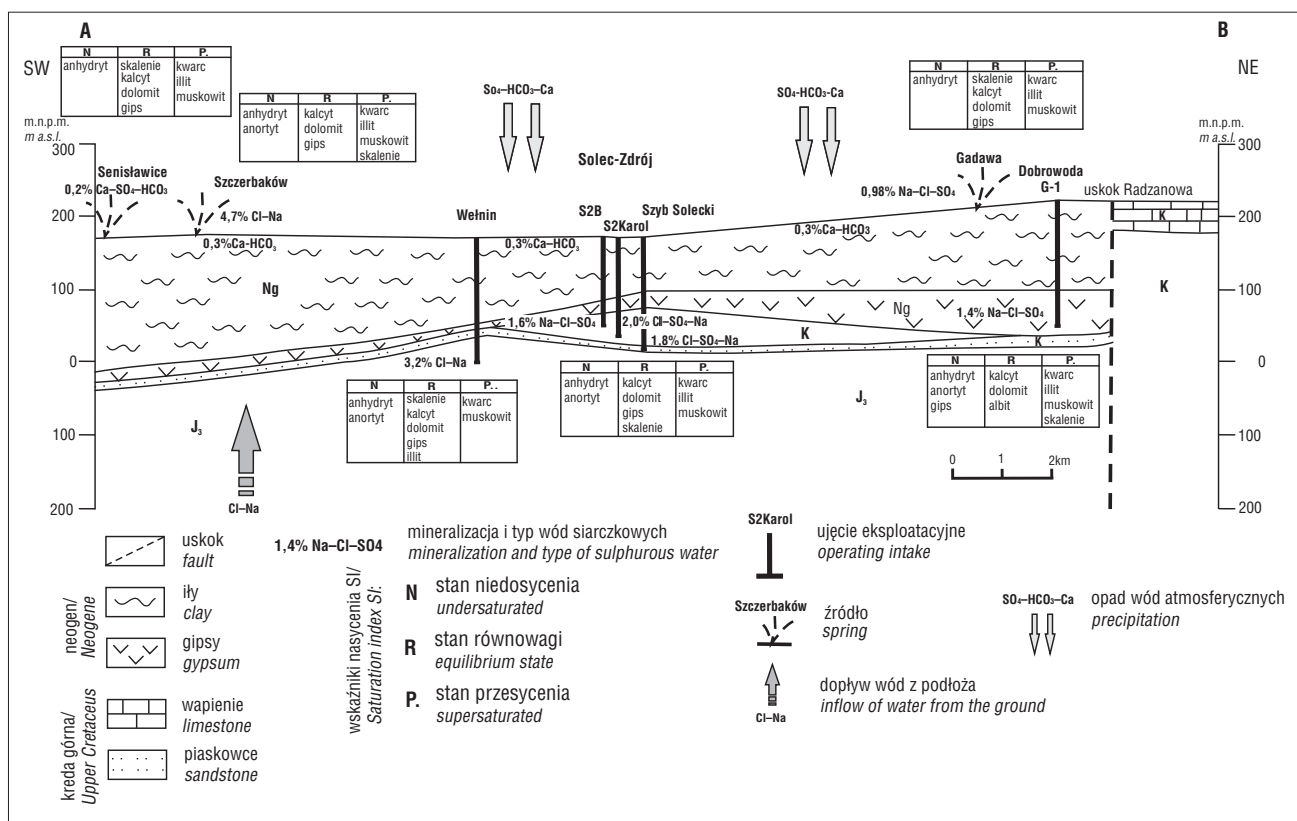
cach $-0,88$ – $0,17$ (tab. 3). Można zatem uznać, że zasadnicze formowanie się składu chemicznego wód siarczkowych w tym rejonie zachodzi w utworach węglanowych jury i kredy górnej oraz w utworach gipsowych, stanowiących ich nadkład.

Zaobserwowano również, że wartości bliskie punktowemu nasyceniu wykazuje grupa skałeni – głównie albit (skałeni sodowy) i ortoklaz (skałeni potasowy), dla których parametr *SI* przyjmuje wartości w zakresie od $-0,93$ do $3,15$ (tab. 3). Otrzymane wyniki wskazują na związek wód siarczkowych z podłożem krystalicznym.

Stan niedosycenia natomiast wykazują wody z minerałami siarczanowymi, reprezentowanymi przez anhydryt, dla którego wartości wskaźnika nasycenia *SI* kształtują się w granicach od $-0,88$ do $-0,13$ (tab. 3).

Ustalono ponadto, że wszystkie badane wody znajdują się powyżej stanu równowagi między związkami zawierającymi polimorficzne odmiany krzemionki oraz minerałami ilastymi. Wartości *SI* dla kwarcu kształtują się w granicach $0,19$ – $1,06$, natomiast dla illitu $-0,74$ – $7,09$.

Lp.	Grupa mineralna Mineral group	Mineral Mineral	Wzór chemiczny Chemical formula	Warstwy/ Aquifer								
				piaskowce margliste / marl sandstones		margle/ marl		wapienie / limestones				
				Szyb Solecki 7 analiz/ 7 analyses	Dobrowoda 1 analiza/ 1 analysis	Piestrzec 2 analizy/ 2 analyses	Seniślawice 2 analizy/ 2 analyses	Gadawa 2 analizy/ 2 analyses	Karol 2 7 analizy/ 7 analyses	Solec 2B 7 analizy/ 7 analyses	Welnin 7 analizy/ 7 analyses	Szczerbaków 2 analizy/ 2 analyses
1	grupa skałeni	albit	$Na[AlSi_3O_8]$	$-0,67 \pm 0,82$	$0,39$	$-2,06 \pm 0,68$	$-0,93 \pm 0,70$	$-0,03 \pm 1,61$	$-0,85 \pm 0,46$	$0,65 \pm 1,63$	$-0,61 \pm 0,43$	$1,57 \pm 2,34$
		anortyt	$Ca[Al_2Si_2O_8]$	$-4,7 \pm 2,64$	$-2,99$	$-4,37 \pm 0,97$	$-1,78 \pm 0,66$	$-3,15 \pm 0,91$	$-4,55 \pm 0,56$	$-3,26 \pm 2,68$	$-4,73 \pm 3,38$	$-1,99 \pm 1,24$
2	minerały węglanowe	Skałenie K	$K[AlSi_3O_8]$	$0,09 \pm 1,58$	$1,24$	$-0,23 \pm 2,52$	$0,92 \pm 2,36$	$0,85 \pm 2,62$	$-0,10 \pm 1,15$	$1,32 \pm 2,34$	$0,12 \pm 1,19$	$2,33 \pm 3,15$
		kalcyt	$CaCO_3$	$0,01 \pm 0,28$	$0,00$	$0,19 \pm 0,36$	$0,18 \pm 0,45$	$0,04 \pm 0,32$	$-0,46 \pm 0,26$	$-0,02 \pm 0,29$	$0,01 \pm 0,26$	$-0,06 \pm 0,36$
		dolomit	$Ca,Mg(CO_3)_2$	$-0,12 \pm 0,45$	$0,15$	$-0,86 \pm 0,63$	$-0,81 \pm 0,14$	$-0,10 \pm 0,42$	$-0,88 \pm 0,62$	$-0,07 \pm 0,59$	$0,16 \pm 0,68$	$-0,11 \pm 0,73$
3	odmiany polimorficzne krzemionki	chalcedon	SiO_2	$-0,01 \pm 0,29$	$0,09$	$0,29 \pm 0,36$	$0,21 \pm 0,37$	$-0,06 \pm 0,30$	$-0,28 \pm 0,17$	$0,22 \pm 0,58$	$-0,22 \pm 0,07$	$0,29 \pm 0,43$
		kwarc		$0,46 \pm 0,76$	$0,55$	$0,76 \pm 0,84$	$0,66 \pm 0,84$	$0,42 \pm 0,80$	$0,19 \pm 0,64$	$0,69 \pm 1,06$	$0,24 \pm 0,54$	$0,76 \pm 0,90$
4	minerały siarczanowe	gips	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	$-0,06 \pm 0,03$	$-0,31$	$-0,01 \pm 0,17$	$-0,28 \pm 0,19$	$-0,39 \pm 0,01$	$-0,31 \pm 0,10$	$-0,32 \pm 0,12$	$-0,24 \pm 0,01$	$0,01 \pm 0,02$
		anhydryt	$CaSO_4$	$-0,50 \pm 0,13$	$-0,71$	$-0,47 \pm 0,30$	$-0,74 \pm 0,55$	$-0,88 \pm 0,53$	$-0,74 \pm 0,52$	$-0,76 \pm 0,56$	$-0,66 \pm 0,42$	$-0,41 \pm 0,40$
5	minerały ilaste	illit	$KAl(OH)_2(Si_4Al)_4O_{10}nH_2O$	$1,13 \pm 3,58$	$3,02$	$1,07 \pm 7,05$	$3,19 \pm 7,09$	$3,13 \pm 5,82$	$0,74 \pm 2,72$	$2,74 \pm 4,25$	$1,57 \pm 3,01$	$5,02 \pm 6,03$
		muskowit	$KAl_2(OH)_2[AlSi_3O_{10}]$	$7,16 \pm 10,15$	$9,33$	$6,70 \pm 14,29$	$9,47 \pm 14,43$	$9,82 \pm 13,25$	$6,8 \pm 9,06$	$8,65 \pm 10,24$	$7,85 \pm 9,42$	$11,86 \pm 12,87$
6	łuszczczyki	kaolinit	$Al_2(OH)_4[AlSi_2O_5]$	$3,16 \pm 5,08$	$4,42$	$3,68 \pm 8,69$	$5,09 \pm 8,99$	$5,03 \pm 7,32$	$2,5 \pm 4,2$	$3,93 \pm 5,19$	$3,67 \pm 4,53$	$6,26 \pm 6,74$
		piryt	FeS_2	$10,4 \pm 11,43$	$11,05$	$11,2 \pm 11,43$	$10,75 \pm 10,80$	$12,32 \pm 13,0$	$11,0 \pm 11,63$	$10,71 \pm 11,34$	$11,41 \pm 11,96$	$10,79 \pm 12,22$



Ryc. 2. Uproszczony model hydrochemiczny formowania się wód siarczkowych rejonu Solca-Zdroju
Fig. 2. Simplified hydrochemical model of sulphide waters formation in the Solca-Zdrój area

Badane wody siarczkowe charakteryzują się także wartościami *SI* powyżej stanu nasycenia względem faz mineralnych zawierających żelazo: pirytu oraz grupy łuszczyków – przede wszystkim muskowitu (tab. 3).

Na podstawie otrzymanych wyników analizy wskaźników nasycenia i warunków geologicznych rejonu podjęto próbę sporządzenia modelu hydrogeochemicznego formowania się wód siarczkowych rejonu Solca-Zdroju. Graficznie schemat formowania się badanych wód przedstawiono na rycinie 2. Stwierdzono, że główne składniki badanych wód pochodzą w znacznej mierze z procesów rozpuszczania skał nieistniejącej już facji solnej, o której piszą Chowaniec i in. (2009), siarczanowej oraz węglanowej. Dodatkowo zachodzą procesy wymiany jonowej z minerałami ilastymi (Kulikowska, 1976; Grabczak i in., 1987). Uzyskane wyniki pozwalają również przyjąć tezę o składowej pochodzącej z krystalicznego podłoża, o której wzmiankuje Kulikowska (1976).

PODSUMOWANIE

Przeprowadzona analiza hydrochemiczna wód siarczkowych rejonu Solca-Zdroju pozwoliła w sposób ilościowy określić stan równowagi hydrogeochemicznej badanych wód z minerałami warstw wodonośnych. Odnotowano dominujący wpływ procesów rozpuszczania minerałów węglanowych, siarczanowych oraz ilastych na kształtowanie się równowagi hydrochemicznej wód, co potwierdza dotychczasowe poglądy na temat genezy badanych wód (Kulikowska, 1976; Grabczak i in., 1987; Chowaniec i in., 2009).

LITERATURA

- APPELO C.A.J. & POSTMA D. 1999 – Geochemistry, groundwater and pollution. Publ. A.A. Balkema, (Rotterdam)/ Brookfield.
- CHOWANIEC J., NAJMAN J., OLSZEWSKA B. & ZUBER A. 2009 – Pochodzenia i wiek wody mineralnej w Dobrowdzie k. Buska Zdroju. *Prz. Geol.*, 57 (4): 286–29.
- CHOWANIEC J., ZUBER A. & CIĘŻKOWSKI W. 2007 – Prowincja karpacka. Wody mineralne. [W:] Paczyński B. & Sadurski A. (red.), *Hydrogeologia regionalna Polski*. T. 2: 83–86.
- DÓWGIAŁŁO J., KLECZKOWSKI S., MACIOSZCZYK T. & RÓŻKOWSKI A. (red.), 2002 – *Słownik hydrogeologiczny*. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- GRABCZAK J., SZCZEPAŃSKI A. & ZUBER A. 1987 – Uwagi na temat genezy i ochrony wód mineralnych Buska i Solca. [W:] 25 lat górnictwa uzdrowskiego. AGH, Kraków: 91–99.
- JURKIEWICZ H. & WOŃSKI J. 1979 – Mapa geologiczna Polski w skali 1:200 000, ark. Tarnów. Wydaw. Geologiczne, Warszawa.
- KULIKOWSKA J. 1975 – Pochodzenie i warunki krążenia wód mineralnych rejonu Buska i Solca z uwzględnieniem wykorzystania ich dla celów leczniczych. *Archiwum Uzdrawiska Busko-Zdrój SA, Busko-Zdrój*.
- KULIKOWSKA J. 1976 – Przyczynek do poznania genezy wód mineralnych w rejonach Buska i Solca oraz możliwości zwiększenia ich zasobów. *Problemy Uzdrawiskowe*, 6/8 (104/106): 191–222.
- LIPIEC I. & WIKTOROWICZ B. 2010 – Modelowanie hydrogeochemiczne formowania się składu chemicznego wód siarczkowych rejonu Solca-Zdroju. [W:] *Mat. IV Konferencji Naukowej z cyklu Modelowanie Przepływu Wód Podziemnych*, Gdańsk 15–16 listopad 2010 r.: 26–28.
- LIPIEC I. 2009 – Wstępna analiza stabilności składników chemicznych i ocena trendów zmian jakości wód leczniczych Solca-Zdroju. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 436: 323–328.
- LISIK R. & SZCZEPAŃSKI A. 2014 – Siarczkowe wody lecznicze w części zapadliska przedkarpacciego. *Wyd. Fundacja Posteris, Kielce*.
- POŻARYSKI W. (red.), 1974 – *Budowa Geologiczna Polski*. Wydaw. Geologiczne, Warszawa.
- PRAŻAK J. 2007 – Subregion środkowej Wisły wyżynna część centralna. [W:] Paczyński B. & Sadurski A. (red.), *Hydrogeologia regionalna Polski*. T. 1: 174–187.
- STUPNICKA E. 2007 – *Geologia regionalna Polski*. Wydaw. UW, Warszawa.
- WALCZOWSKI A. 1976 – *Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000*, arkusz Stopnica, Państw. Inst. Geol., Warszawa.