

## CHARAKTERYSTYKA HYDROCHEMICZNA WÓD TERMALNYCH ŁĄDKA-ZDROJU

### STRESZCZENIE

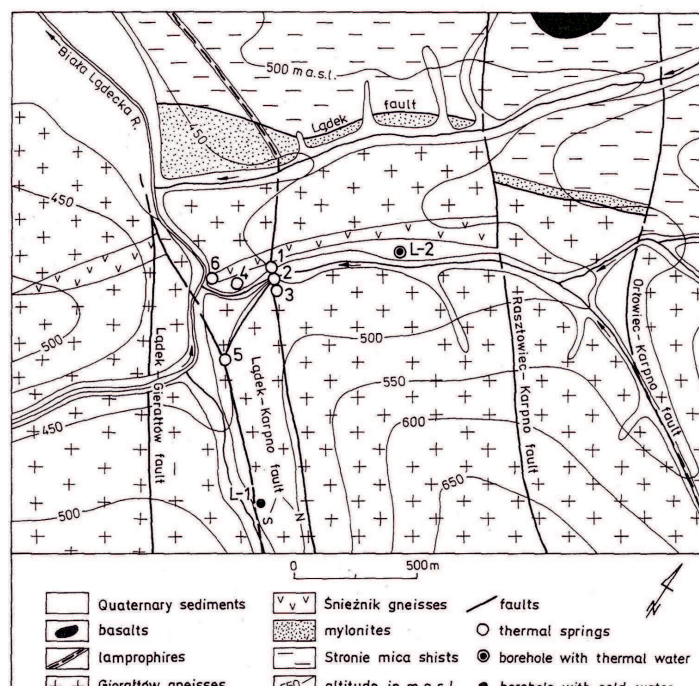
Wystąpienia wód termalnych Łądk-Zdroju koncentrują się w uzdrowskiej części miejscowości. Znajduje się tutaj sześć naturalnych źródeł oraz odwiert L-2. Wody o dużym podobieństwie składu chemicznego wypływają z gnejsów gierałtowskich. Ich mineralizacja zawiera się w przedziale 0,16–0,28 g/l. Pod względem chemicznym są to wody  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na}$ , F, Rn,  $\text{H}_2\text{S}$ . Analiza zawartości jonów głównych wskazuje na odwrotną proporcjonalność stężeń jonów  $\text{HCO}_3^-$  w stosunku do ilości kwasu metakrzemowego. Badane wody wykazują równowagę z węglanami wapnia i fluorytem.

### SŁOWA KLUCZOWE

Wody termalne, Łądek-Zdrój, Sudety

\* \* \*

Łądek-Zdrój jest jednym z najbardziej znanych uzdrowisk w Polsce. Jest miejscowością, do której w celach leczniczych przybywają kuracjusze już od kilku wieków. Jak podają Ciężkowski M. i Ciężkowski W. (1982/1983) oraz Ciężkowski (2000) leczenie wodami łądeckimi odbywało się prawdopodobnie już w XIII wieku. Odkrywane kolejno źródła ujmowano studniami bądź obudowami w formie zbiorników. Obecnie prowadzi się eksploatację wód leczniczych z pięciu źródeł i jednego odwiertu. Źródła wypływają w centralnej części uzdrowiska w niewielkiej odległości od siebie. Odwiert L-2 zlokalizowany jest około 600 m na NW od źródła Wojciech (rys. 1). Około 500 m na SE od istniejących źródeł jest jeszcze jeden odwiert, L-1 (o głębokości 600 m), którym ujęto wody zwykłe (Ciężkowski 1983).



Rys. 1. Położenie ujęć wód termalnych Łądek-Zdroju na tle zgeneralizowanej budowy geologicznej (na podst. Zuber i in. 1995; Gierwielaniec 1970)

Objaśnienia: 1 – osady czwartorzędowe, 2 – bazalty, 3 – lamprofiry, 4 – gnejsy gieraltowskie, 5 – gnejsy śnieżnickie, 6 – mylonity, 7 – łupki serii strońskiej, 8 – uskoki, 9 – odwiert z wodą zwykłą, 10 – ujęcia wód termalnych

Oznaczenia literowe: Ch – Chrobry, W – Wojciech, S-C – Skłodowska-Curie, D – Dąbrówka, J – Jerzy, S – Stare, L-2, L-1

Fig. 1. Location of the thermal water intakes of Łądek-Zdrój against the generalized geological structure (after Zuber et al. 1995; Gierwielaniec 1970)

Explanations: 1 – Quaternary sediments, 2 – basalts, 3 – lamprophyres, 4 – Gieraltów gneisses, 5 – Śnieżnik gneisses, 6 – mylonites, 7 – Stronie mica shists, 8 – faults, 9 – borehole with cold water, 10 – thermal water intakes

Letters: Ch – Chrobry, W – Wojciech, S-C – Skłodowska-Curie, D – Dąbrówka, J – Jerzy, S – Stare, L-2, L-1

## 1. ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ

Łądek-Zdrój położony jest w obrębie dużej jednostki tektonicznej zbudowanej z serii skał metamorficznych zwanej metamorfikiem Łądka i Śnieżnika. Stanowi ona wschodnią część Sudetów środkowych i jednocześnie północno-wschodni brzeg Masywu Czeskiego. J. Don (1996) zalicza je – wraz z metamorfikiem orlicko-bystrzyckim – do jednej potężnej formacji skalnej. Metamorfik łądecko-śnieżnicki tworzą dwa główne kompleksy skalne:

seria strońska oraz gierałtowsko-śnieżnicka. Do pierwszej przynależą łupki łyszczkowe, łupki grafitowe, kwarcytowe, amfibolity z łupkami amfibolitowymi oraz wapienie krystaliczne. Drugą serię tworzą gnejsy gierałtowskie i gnejsy śnieżnickie. Gnejsy gierałtowskie wykazują strukturę drobnokrystaliczną, natomiast gnejsy śnieżnickie – grubokrystaliczną z charakterystycznymi soczewkowo-warstwowanymi teksturami (Gierwielaniec 1970). W składzie mineralnym wymienionych skał dominuje kwarc, skalenie potasowe, a z plagioklazów albit i oligoklaz, biotyt oraz amfibole (Ciężkowski 1978; Pendias, Maciejewski 1959). Gierwielaniec (1970) serie te zalicza do górnego proterozoiku i starszego paleozoiku natomiast Żelaźniewicz (2003) uważa, że są to skały paleozoiczne.

Omówione skały są sfałdowane i pocięte licznymi uskokami. Z dyslokacjami związane są wystąpienia karbońskich skał żyłowych. Na SE i NW od ujęć Łądka są to lamprofiry oraz granitoidy (tonality, granodioryty i monzonity).

Utwory kenozoiczne w omawianym rejonie to przede wszystkim paleogeńskie serie osadowe akumulacji rzecznej oraz czwartorzędowe, nieciągłe pokrywy glin zboczowych oraz żwirowych, piaszczysto-żwirowych i mułkowych nanosów rzecznych. Pozostałościami działalności wulkanicznej tego okresu w okolicy Łądka są cztery bazaltowe kopuły (Ciężkowski 1978).

Analizując tektonikę omawianego obszaru Gierwielaniec (1970) wyróżnił kilka elementów fałdowych, które jak podaje Don (1964) wachlarzowo zbiegają się i zanurzają ku zachodowi. Poprzecinane są one krzyżującymi się uskokami, które niejednokrotnie stanowią drogi krążenia wód leczniczych (Ciężkowski 1990). Do najważniejszych należą: uskok Orłowiec-Karpno (uOK), uskok Łądka-Zdroju (uLZ), uskok Łądek-Karpno (uLK), uskok Łądek-Gierałtów (uLG) (rys. 1) oraz uskok Potoku Grodzkiego, z którym wiąże się występowanie wód eksploatowanych w odwiercie L-2 (Ciężkowski 1978).

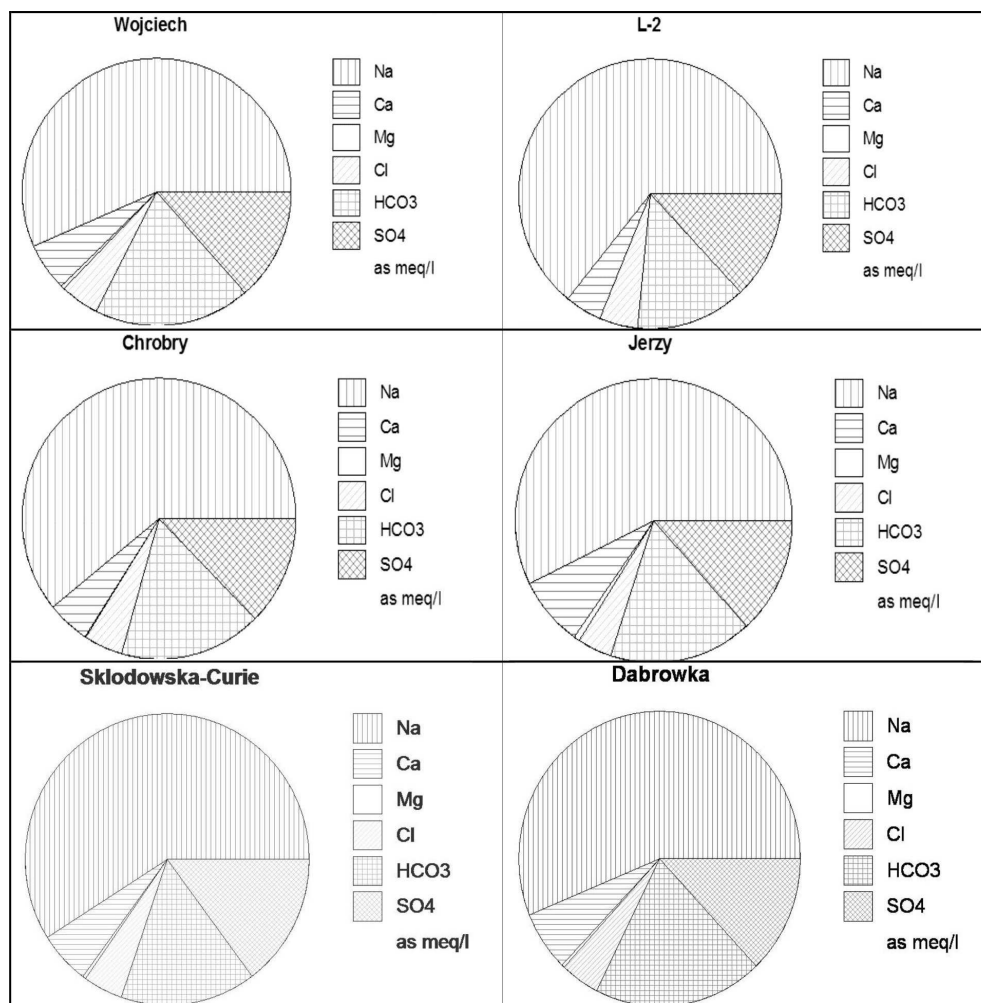
Jak podaje Ciężkowski i in. (1996) dopływy wód systemu głębokiego krążenia następują głębokimi strefami tektonicznymi o przebiegu zgodnym z tzw. sudeckim kierunkiem, tj. NW-SE. Samoczynnie wody wypływają w rejonach ich przecięć z uskokami o mniejszym zasięgu.

## 2. CHARAKTERYSTYKA LECZNICZYCH WÓD TERMALNYCH

Obecnie wody lecznicze eksploatowane są pięcioma źródłami (Wojciech, Jerzy, Dąbrówka, Skłodowska-Curie, Chrobry) i odwiertem L-2 o głębokości 700,3 m (Ciężkowski 1998). W uzdrowisku istnieje jeszcze jedno, już nieeksploatowane, źródło Stare wypływające na NW od źródła Dąbrówka.

Pierwsza, bardziej szczegółowa, analiza fizykochemiczna wód Łądka-Zdroju pochodzi z drugiej połowy XIX w., a kolejne z pierwszego dziesięciolecia XX w. i z 1939 r. Po II wojnie światowej obsługę analityczną wód łądeckich prowadziło Laboratorium Balneotechniczne i Mikrobiologiczne Biura Projektów i Usług Branży Uzdrowiskowej „Balneoprojekt” (Ciężkowski 1978).

Analizując wyniki badań fizykochemicznych wód z poszczególnych ujęć zaobserwować można duże podobieństwo w udziałach jonów głównych (rys. 2). Na podstawie ustawy Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. nr 163, poz. 981 z 2011 r.) omawiane wody można określić jako termalne wody HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>-Na, F, Rn, H<sub>2</sub>S, przy czym sporadycznie stężenia kwasu metakrzemowego są na tyle wysokie, że wody te można określać jako krzemowe (tab. 1). Ich mineralizacja mieści się w zakresie 0,16–0,28 g/l (rys. 3).



Rys. 2. Diagramy kołowe przedstawiające udział jonów głównych (meq/l) w wodach z poszczególnych ujęć (na podst. danych z 2009 r.)

Fig. 2. Circle diagrams to display the participation of major ions (meq/l) in waters from particular intakes (based on the data, 2009)

Najwyższą mineralizację wykazują wody z odwiertu L-2, a następnie kolejno ze źródła Chrobry, Wojciech, Skłodowska-Curie, Dąbrowka i Jerzy (tab. 1). Podobną zależność

Rys. 3. Zmienność mineralizacji wód termalnych Łądek-Zdrój

Fig. 3. Variability of mineralization of thermal waters in Łądek-Zdrój

Tabela 1

Minimalne i maksymalne zawartości jonów głównych oraz składników specyficznych w skróconym zapisie Kurlowa (na podst. danych z lat 1990–2011)

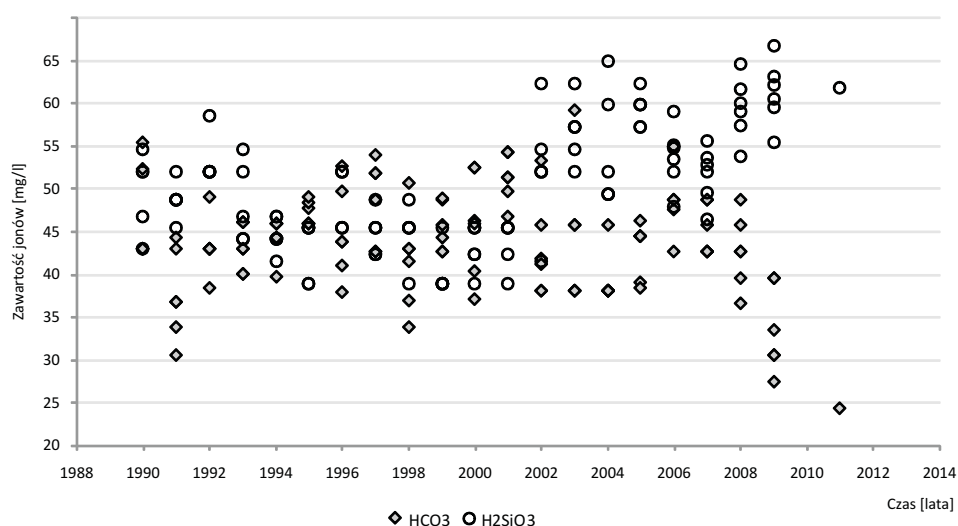
Table 1

Minimum and maximum contents of major ions and specific components expressed by the Kurlow formula

Nazwa ujęcia	Zapis Kurlowa
Skłodowska-Curie	$F^{7-11} H_2SiO_3^{34-78} Rn^{5,1-12,4} H_2S^{0-2,6} M^{0,17-0,27} \frac{HCO_3^{22-51} SO_4^{15-30}}{Na^{82-91}} T^{22-26}$
Dąbrówka	$F^{7-11} H_2SiO_3^{36-78} Rn^{3,3-4,8} H_2S^{1-3,7} M^{0,17-0,26} \frac{HCO_3^{15-50} SO_4^{13-36}}{Na^{57-91}} T^{18-21}$
Jerzy	$F^{7-11} H_2SiO_3^{27-76} Rn^{29,1-32,8} H_2S^{1-23,2} M^{0,16-0,24} \frac{HCO_3^{23-53} SO_4^{10-24}}{Na^{75-90} Ca^{9-23}} T^{27-29}$
Chrobry	$F^{7-11,5} H_2SiO_3^{36-78} Rn^{3,4-5,0} H_2S^{0,3-3,1} M^{0,18-0,28} \frac{HCO_3^{22-64} SO_4^{11-28}}{Na^{87-92}} T^{22-27}$
Wojciech	$F^{7,5-12} H_2SiO_3^{36-78} Rn^{4,8-6,7} H_2S^{0,7-3,9} M^{0,18-0,27} \frac{HCO_3^{22-50} SO_4^{11-30}}{Na^{84-91}} T^{27,5-30}$
L-2	$F^{6,8-13} H_2SiO_3^{39-67} Rn^{2,9-4,9} H_2S^{2,6-5,1} M^{0,2-0,23} \frac{HCO_3^{17-100} SO_4^{12-23}}{Na^{82-91}} T^{41-44,7}$

zaobserwował Ciężkowski (1978, 1983). Zauważyć jednak można, że od roku 2003 następuje powolny spadek mineralizacji wód z odwiertu L-2 (rys. 3). Zuber i in. (1995) oraz Ciężkowski i in. (1996), na podstawie badań izotopowych stwierdzili, że omawiane wody są mieszaninami wód termalnych głębokiego systemu krążenia i wód zwykłych. Zatem przypuszczać można, że obserwowane zmiany w mineralizacji wód termalnych spowodowane są intensyfikacją dopływu wód zwykłych do ujęcia. Nadmienić należy, że W. Ciężkowski badając wody ląddeckie w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX w. stwierdził obniżenie stężeń jonów wodorowęglanowych, sodowych oraz fluoru i radonu jako efekt intensywnej eksploatacji odwiertu L-1 (Ciężkowski 1983).

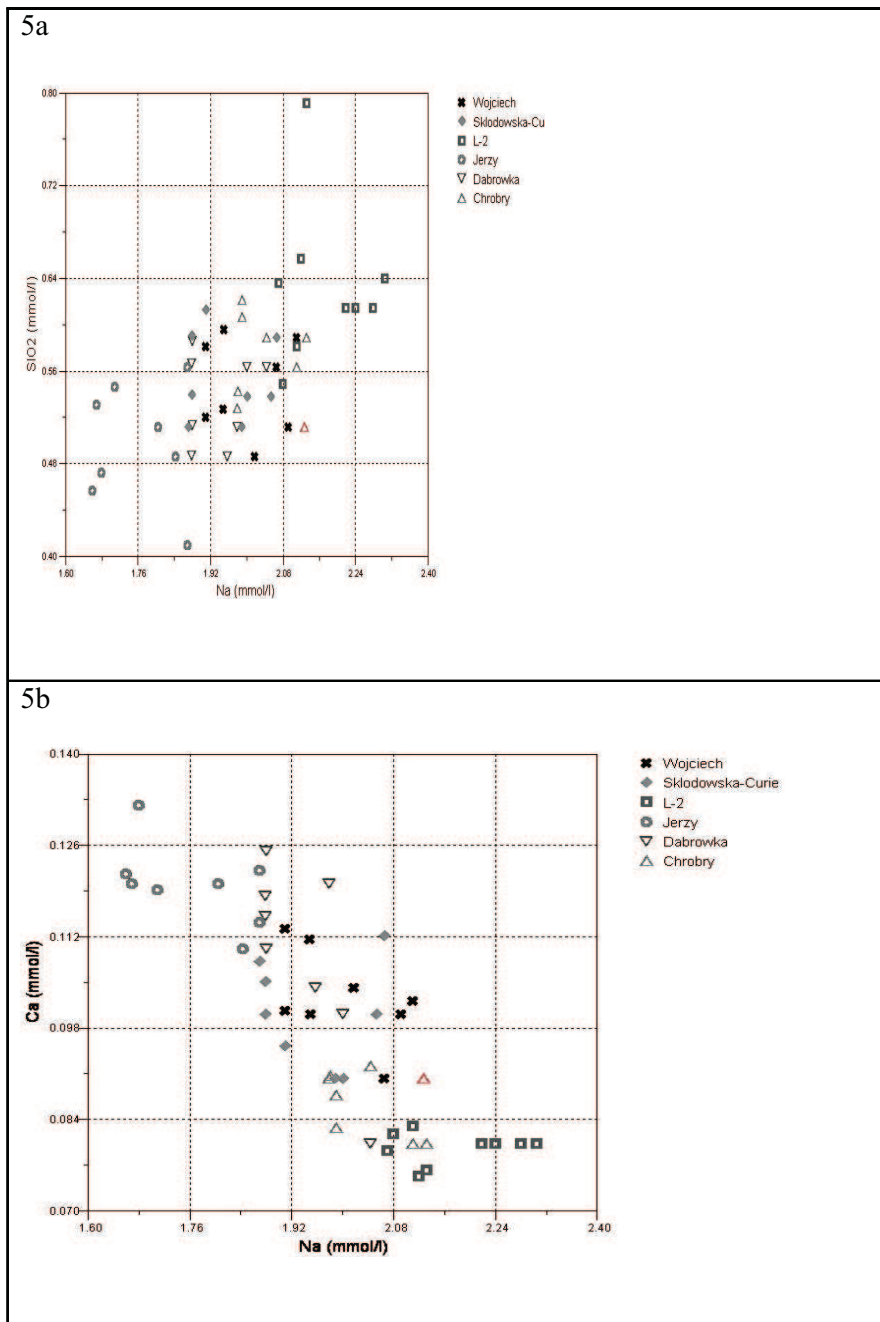
Badając zmienności stężeń jonów  $\text{HCO}_3^-$  w czasie zauważyć można odwrotną proporcjonalność zawartości tego składnika w stosunku do ilości kwasu metakrzemowego (rys. 4). Zaobserwowano także, że wzrost udziału jonów sodowych następuje proporcjonalnie do wzrostu zawartości krzemionki (rys. 5a). Odwrotna zależność występuje w przypadku kationów sodowych i wapniowych (rys. 5b). Wzrost stężenia jonów  $\text{Na}^+$  zachodzi przy obniżającej się zawartości jonów  $\text{Ca}^{+2}$ .



Rys. 4. Porównanie zmienności zawartości jonów  $\text{HCO}_3^-$  oraz kwasu metakrzemowego w wodach termalnych Lądek-Zdroju

Fig. 4. Comparison of variation of  $\text{HCO}_3^-$  and metasilicic acid for Lądek-Zdrój thermal waters

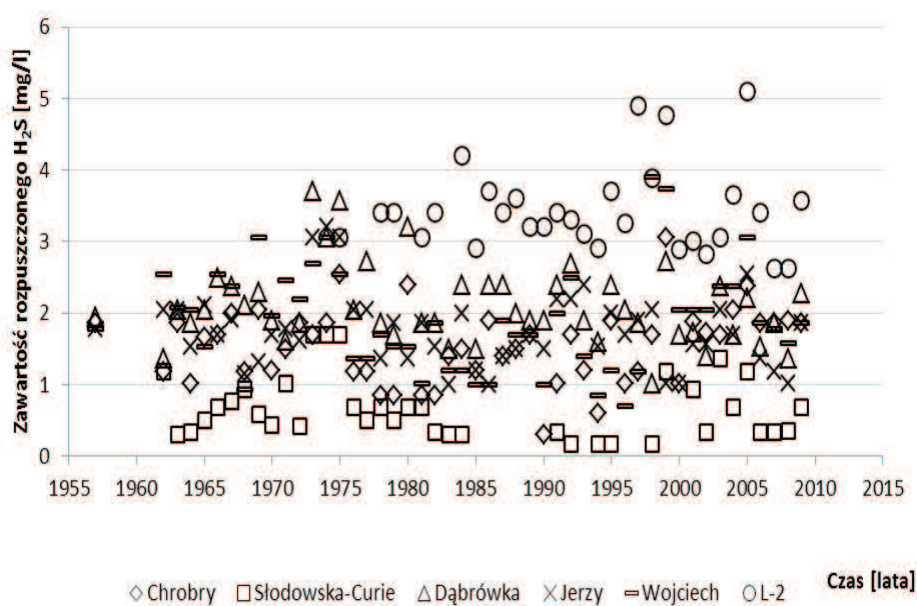
Jak wspomniano, omawiane wody są wodami siarczkowymi. Rozpuszczony w nich  $\text{H}_2\text{S}$  występuje w ilościach od około 0,2 mg/l (ujęcia Skłodowska-Curie, Chrobry) do maksymalnie 5,1 mg/l (odwiert L-2). Wody z ujęcia Skłodowska-Curie tylko sporadycznie zawierają omawiany składnik w ilościach 1 mg/l lub więcej (rys. 6). Zauważyć również można, iż stężenia siarkowodoru w wodach z ujęć Chrobry, Wojciech, Jerzy i Dąbrówka spadają nawet poniżej wartości granicznej dla wód siarczkowych. Dla pierwszego z wymienionych



Rys. 5. Zależność w zawartościach jonów  $\text{Na}^+$  i krzemionki (5a) oraz jonów  $\text{Na}^+$  i  $\text{Ca}^{+2}$  (5b) w wodach z poszczególnych ujęć

Fig 5. The relation between  $\text{Na}^+$  and silica (5a) and  $\text{Na}^+$  and  $\text{Ca}^{+2}$  (5b) concentrations for springs and well

ujęć sytuacja taka miała miejsce w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX w. W latach dziewięćdziesiątych XX w. notowano tak niskie stężenia  $H_2S$  dla wód z wszystkich wspomnianych ujęć (rys. 6). Na podstawie wyników analiz kontrolnych trudno jest jednak mówić o charakterze tych zmian (czy występują chwilowo – w okresie opróbowania, czy są długotrwałe). Przypuszczać można, że są efektem zmian w dynamice dopływów wód głębokiego systemu krążenia.

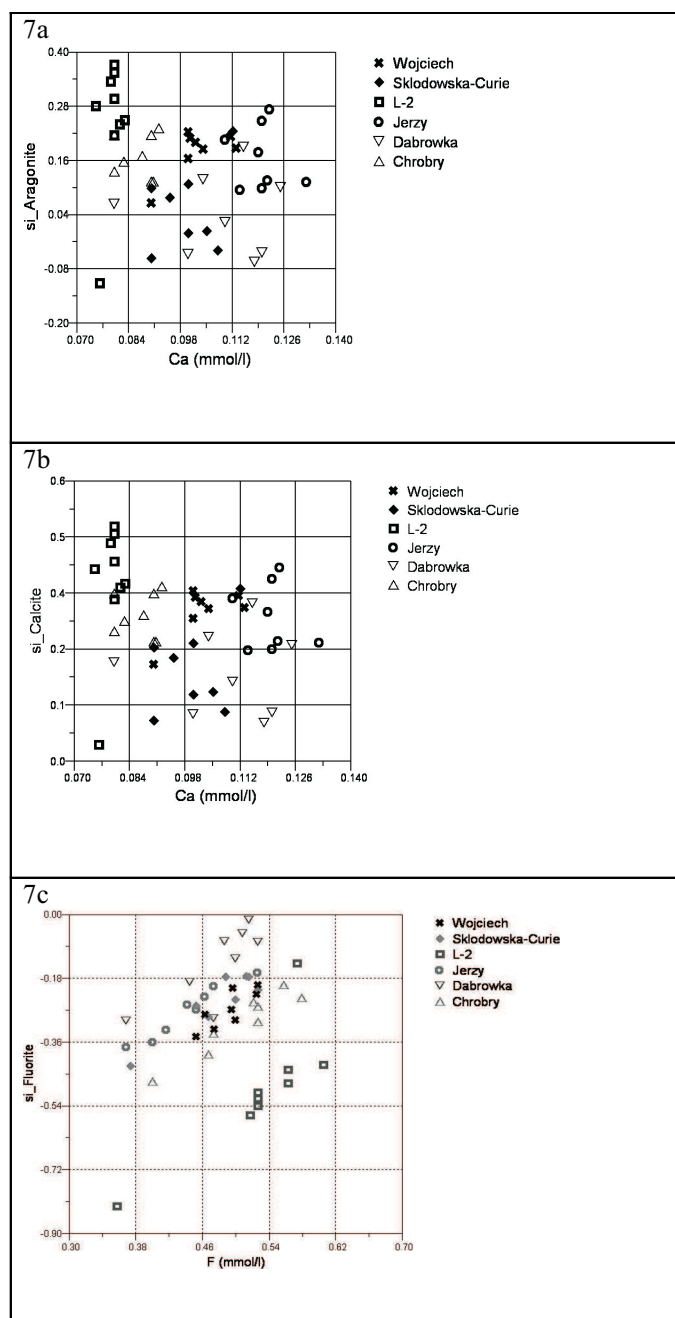


Rys. 6. Zmienność stężeń rozpuszczonego w wodach  $H_2S$

Fig. 6. Variability of dissolved  $H_2S$

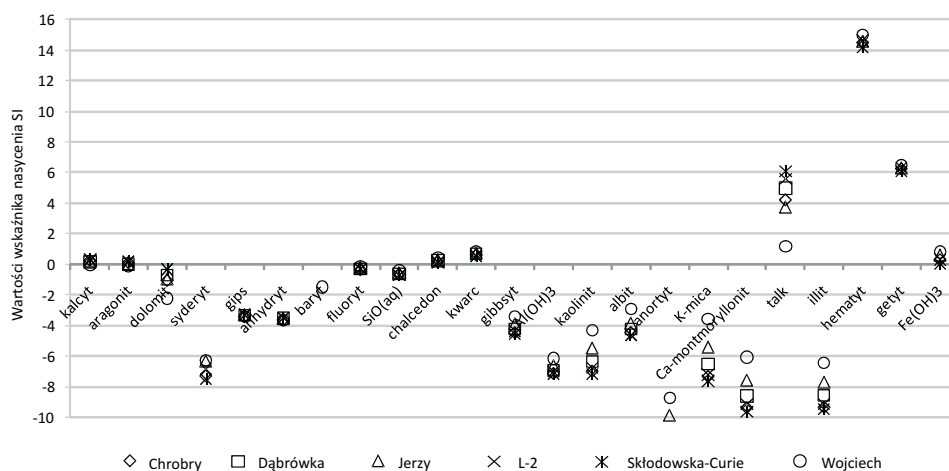
Próbie określenia zespołu procesów determinujących skład chemiczny omawianych wód jako pierwszy podjął W. Ciężkowski (1978). Autor ten wskazał wietrzenie i hydrolizę skaleni oraz częściową wymianę jonową jako główne procesy kształtujące chemizm łądeckich wód. Wyniki modelowania numerycznego przeprowadzonego przez Leśniaka i Nowak (1993) oraz Dobrzyńskiego i Leśniaka (2010) generalnie zgodne są z hipotezami wysuniętymi przez Ciężkowskiego. Analiza wskaźników nasycenia, wykonana w ramach prowadzonych badań, wykazała nieznaczne przesylenie bądź równowagę termodynamiczną z węglanami wapnia, kwarcem, chalcedonem i fluorytem (rys. 7a, 7b, 7c). Przesycenie obserwowane jest w przypadku uwodnionych krzemianów magnezu oraz tlenków i wodorotlenków żelaza (rys. 8).





Rys. 7. Wartości wskaźników nasycenia dla aragonitu (7a), kalcytu (7b) i fluorytu (7c) w zależności od stężeń wapnia i fluoru

Fig. 7. Aragonite (7a), calcite (7b) and fluorite (7c) saturation indices as a function of total dissolved calcium and fluorine



Rys. 8. Wartości wskaźników nasycenia SI wód termalnych Łądek-Zdroju względem poszczególnych minerałów (na podst. danych z lat 2002–2011)

Fig. 8. Saturation indices for thermal waters of Łądek-Zdrój with respect to particular minerals

## WNIOSKI

Jak podają Zuber i in. (1995) oraz Ciężkowski i in. (1996) obszary zasilania dla złoża wód leczniczych Łądek-Zdroju, wyznaczone na podstawie badań izotopowych, położone są na południowy wschód od uzdrowiska, w Górach Bialskich. Są to tereny rozciągające się w przedziale rzędnych terenu od około 700 do około 1050 m n.p.m. Uwzględniając litologię tych obszarów oraz wyniki analiz chemicznych próbek skał metamorfiku Łądek i Śnieżnika można z dużym prawdopodobieństwem stwierdzić, że źródłem jonów wapniowych w omawianych wodach są pirokseny, amfibole i w mniejszym stopniu wapniowe plagioklasy. Obecność jonów sodowych i potasowych wiązać należy z dużym udziałem mikroklinu, ortoklazu i sodowych plagioklazów (albitu, oligoklazu) w składzie mineralnym ośrodka skalnego. Wzbogacanie wód we wspomniane jony  $\text{Na}^+$  oraz krzemionkę, jako efekt wietrzenia wymienionych glinokrzemianów, sugerują wzajemne proporcje w ilościach tych składników (rys. 5a). Na rozwój procesów wymiany jonowej wapnia i sodu, sugerowanych przez Ciężkowskiego (1978), może wskazywać odwrotna zależność w stężeniach tych kationów (rys. 5b). W wyniku krystalizacji wtórnego kalcytu, przyczyniającej się do ubożenia wód w jony wapniowe, obserwowane proporcje mogą się pogłębiać. Przesycenie wód krzemianami magnezu jest najprawdopodobniej efektem wietrzenia wspomnianych już piroksenów, amfiboli oraz oliwinów budujących skały bazaltowe. Jako źródło fluoru, mimo iż wody wykazują nasycenie fluorurem, należy raczej przyjmować łuszczyki (biotycie, muskowicie, lepidolicie), hornblendę i podrzędnie apatyt – minerały budujące łupki łuszczy-

czykowe, amfibolitowe i amfibolity (Polański, Smulikowski, 1969). Na podstawie wyników badań izotopów siarki  $^{34}\text{S}$  Ciężkowski (1978) uważa, że rozkład siarczków, którymi intensywnie okruszcowane są serie metamorfiku łądecko-śnieżnickiego, prowadzi do wzbogacenia omawianych wód termalnych w siarkowodór.

Wody termalne Łącka-Zdroju

Prace zrealizowano w ramach badań statutowych nr S 200-27

## LITERATURA

- CIĘŻKOWSKI W., 1978 — Hydrogeologia i hydrochemia wód termalnych Łącka Zdroju. Inst. Geotech. komunikat nr 284.
- CIĘŻKOWSKI W., 1983 — Wody termalne Łącka Zdroju. [W:] II Ogólnopol. Symp. Współczesne Problemy Hydrogeologii Regionalnej, Łądek Zdrój, październik 1982.
- CIĘŻKOWSKI W., 1990 — Studium hydrogeochemii wód leczniczych Sudetów polskich. Pr. Nauk. Inst. Geotech. PWroc., nr 60, ser. 19.
- CIĘŻKOWSKI W., 1998 — Łądek Zdrój. Dolnośląskie Wyd. Edukacyjne, ss. 235.
- CIĘŻKOWSKI W., 2000 — Wody lecznicze Ziemi Kłodzkiej. [W:] Zdroje Ziemi Kłodzkiej, s. 77–93.
- CIĘŻKOWSKI M., CIĘŻKOWSKI W., 1982/1983 — Źródła Łącka-Zdroju. Historia i badania. Balneol. Pol., t. XXVII, z. 1–4, s. 5–19.
- CIĘŻKOWSKI 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. Zał. 20 – Złoże wód leczniczych Łącka-Zdroju.
- DOBRYŃSKI D., LEŚNIAK P., 2010 — Two contrasting geothermal systems – towards the identification of geochemical reaction pattern and groundwater temperature, the Sudetes, Poland. [W:] Groundwater quality sustainability, XXXVIII IAH Congress.
- DON J., 1964 — Góry Złote i Krowiarki jako element metamorfiku Łącka i Śnieżnika. Geol. Sudetica, vol. I.
- DON J., 1996 — The Late Cretaceous Nysa Graben: implications for Mesozoic-Cenozoic fault-block tectonics of the Sudetes, Z. Geol. Wiss. 24(3/4), Berlin, ss. 317–324.
- GIERWIELANIEC J., 1970 — Z geologii Łącka-Zdroju. Studia i Materiały PWroc., nr 5.
- LEŚNIAK P., NOWAK D., 1993 — Water-rock interaction in some mineral waters in the Sudetes, Poland: implications for chemical geothermometry. Ann. Soc. Geol. Pol., vol 63, p. 101–118.
- PENDIAS H., MACIEJEWSKI S., 1959 — Zbiór analiz chemicznych skał magmowych i metamorficznych Dolnego Śląska. Wyd. Instytut. Geol., t. XXV.
- POLAŃSKI A., SMULIKOWSKI K., 1969 — Geochemia. Wyd. Geol., Warszawa.
- ZUBER A., WEISE S.M., OSENBRÜCK K., GRABCZAK J., CIĘŻKOWSKI W., 1995 — Age and recharge area of the thermal waters in Łądek Spa (Sudeten, Poland) deduced from environmental isotope and noble gas data. Jour. of Hydro., 167, p. 327–349.
- ŻELAŻNIEWICZ A., 2003 — Postęp wiedzy o geologii krystaliniku Sudetów w latach 1990–2003. [W:] Ciężkowski W., Wojewoda J., Żelażniewicz A. (red.), Sudety Zachodnie: od wendy do czwartorzęd, Wyd. Wind, 7–15.

## HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THERMAL WATERS IN ŁĄDEK-ZDRÓJ

### ABSTRACT

Occurrence of thermal waters focus in the spa area of Łądek-Zdrój. There are six natural springs and one deep borehole, L-2. Waters with high similarity in the chemical composition flows from Gierałtów gneisses. Their mineralization reach 0.16–0.28 mg/l. In chemical terms, they are  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na}$ , F, Rn,  $\text{H}_2\text{S}$ . The analysis of main ions content demonstrate an inverse proportionality of  $\text{HCO}_3^-$  ions, relative to the amount of metasilicic acid. The studied waters are characterised by equilibrium with respect to calcium carbonates and fluorite.

### KEY WORDS

Thermal waters, Łądek-Zdrój, Sudety Mts.