

Elżbieta LIBER-MAKOWSKA¹, Barbara KIEŁCZAWA¹

CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH PARAMETRÓW ZŁOŻOWYCH TERMALNYCH WÓD LECZNICZYCH ŁĄDKA-ZDROJU

STRESZCZENIE

W pracy scharakteryzowano najważniejsze parametry złożowe termalnych wód leczniczych Łądko-Zdroju, takich jak: temperatura wody, wydajność ujęć oraz analizę pochodzenia jonów F⁻ wraz z analizą ich pochodzenia.

Łądeckie termalne wody lecznicze są zasilane z jednego złoża szczelinowego głębokiego krążenia. Sumaryczna ilość wody obecnie naturalnie wypływającej ze złoża jest prawie stała. Wartość tę można przyjąć jako sumaryczne zasoby eksploatacyjne. Eksploatowane wody termalne wykorzystywane są tylko do celów balneologicznych, aż 43% poboru nie jest w ogóle wykorzystywana. Ciepło z wód pozabiegowych też nie jest pozyskiwane. Aktualnie złożo eksploatowane jest w warunkach ustabilizowanych. Stan ten może być zaburzony w przypadku nadmiernej eksploatacji otworu L-2 i/lub innego głębokiego ujęcia takiego jak np. planowane nowe ujęcie wód termalnych.

SŁOWA KLUCZOWE

Wody termalne, wody lecznicze, wydajność ujęć, skład chemiczny wody, Sudety

* * *

Nisko zmineralizowane wody swoiste występujące w rejonie Łądko-Zdroju uznane zostały za lecznicze dzięki swoim specyficznym właściwościom takim jak: wysoka temperatura (20–44,1°C) oraz wysoka zawartość jonu fluorkowego (7–13 mg/dm³), siarki dwuwartościo-

¹ Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Zakład Geologii i Wód Mineralnych, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław; e-mail: elzbieta.liber-makowska@pwr.edu.pl, barbara.kielczawa@pwr.edu.pl

wej nie mniej niż 1 mg/dm^3 oraz radonu (od 122 Bq/dm^3 w ujęciu Dąbrówka do 1214 Bq/l w ujęciu Jerzy). Zgodnie z ustawą Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. 2011, Nr 163, poz. 981 wraz z późniejszymi zmianami) wody wykazujące m.in. takie właściwości fizyko-chemiczne zaliczane są do kopalin. W takim przypadku zbiornik wód leczniczych tworzy złożę, którego eksploatacja musi być prowadzona zgodnie z przepisami powyższej Ustawy. Do podstawowych parametrów złożowych, które zostały wybrane do badań należą: wydajność eksploatowanych tutaj ujęć, temperatura wody oraz pochodzenie jonów fluorkowych, które stanowią jedne z głównych elementów rozpoznania genezy złoża.

1. ZARYS WARUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH

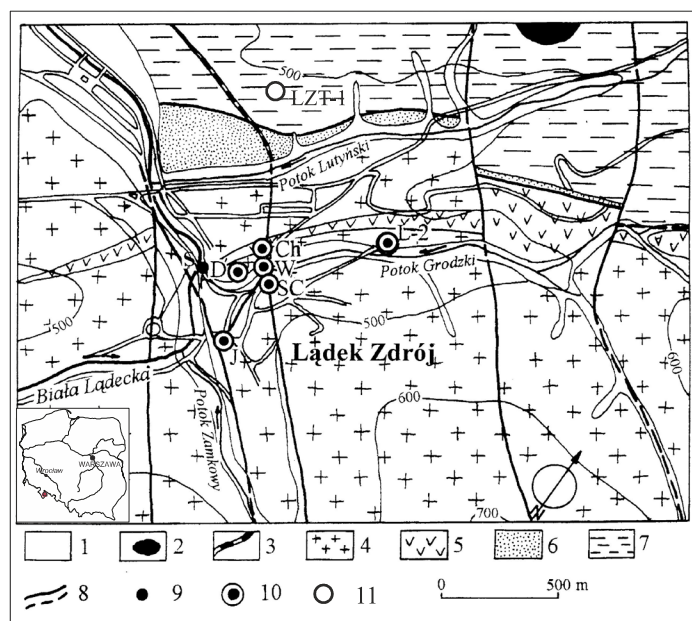
Utworami wodonośnymi dla termalnych wód leczniczych Łądko-Zdroju są różnie wykształcone gnejsy gierałtowskie. Wody te zaliczane są do szczelinowych wód podziemnych bardzo głębokiego krążenia (Liber 2001, 2009). Występujące tu wody wypływają strefą uskoku Łądko-Zdroju. Naturalne wypływy wód termalnych związane są z uskokiemi porzecznymi, które przecinają uskok Łądko-Zdroju. Są to obudowane źródła o nazwach: Jerzy, Wojciech, Skłodowska-Curie, Dąbrówka i Chrobry (rys. 1). W strefie uskoku Łądko-Zdroju, na większej głębokości, wody termalne ujmuje odwiert L-2 (rys. 1). Nad drogami przepływu wód termalnych znajduje się dodatkowo odwiert L-1, ujmujący wody zwykle (Ciężkowski i in. 2011a, 2011c, 2016; Liber-Makowska 2011). W niewielkiej odległości (ok. 800 m) w kierunku NW, od istniejących ujęć leczniczych wód termalnych został zaprojektowany nowy otwór LZT-1 w celu poszukiwania wód termalnych.

Wody termalne wykazują niską mineralizację wynoszącą $0,16\text{--}0,28 \text{ g/dm}^3$ oraz charakteryzują się wyjątkowym typem chemicznym – są to wody $\text{HCO}_3\text{--SO}_4\text{--Na}$, F, Ru, S.

Wody termalne Łądko-Zdroju są pochodzenia infiltracyjnego. Obszar ich zasilania znajduje się w odległości około 10 km na południowy-wschód od strefy drenażu, w obrębie Gór Bialskich i południowej części Gór Żłoty. Po infiltracji wody przepływają na głębokości 2000–2500 m w kierunku uzdrowiska (Ciężkowski 1980; Ciężkowski i in. 1996). Wypływające tu wody termalne związane są z łądecką anomalią hydrogeotermiczną.

Wszystkie ujęcia termalnych wód leczniczych, zarówno źródła, jak i otwór L-2, są eksploatowane samowypływem (Liber 2001). Dla tych ujęć prowadzone są obserwacje stacjonarne przez pracowników Uzdrowskiego Zakładu Górniczego Uzdrowiska Łądek-Długopole SA.

Wody wykorzystywane są głównie do celów balneoterapeutycznych: do zabiegów leczniczych, kąpiele w basenach oraz w pijalniach. Na podstawie danych z 2016 r. z Uzdrowskiego Zakładu Górniczego Uzdrowiska Łądek-Długopole SA obliczono, że wykorzystano $185\,963,7 \text{ m}^3$ wody, przy wydobyciu wynoszącym $327\,856,2 \text{ m}^3$. Oznacza to, że 43% eksploatowanej wody termalnej nie jest wykorzystywane. Roczne wydobycie z poszczególnych ujęć wahało się od $6364,4 \text{ m}^3$ ze źródła Dąbrówka do $133\,579,6 \text{ m}^3$ z otworu L-2. Ze względu na samoczynny sposób eksploatacji ujęć nie ma możliwości regulowania poziomu



Rys. 1. Ujęcia wód termalnych Łądeka Zdroju na tle schematycznej budowy geologicznej (wg Gierwielaińca 1970)
 Objaśnienia: 1 – osady aluwialne, 2 – bazalty, 3 – lamprofiry, 4 – gnejsy gieraltowskie, 5 – gnejsy śnieżnickie, 6 – mylonity, 7 – łupki serii strońskiej, 8 – uskoki, 9 – nieeksploatowane ujęcia: S – stare, 10 – ujęcia termalnych wód leczniczych: D – Dąbrówka, Ch – Chrobry, W – Wojciech, SC – Skłodowska-Curie, J – Jerzy, L-2, 11 – planowany odwiert LZT-1

Fig. 1. Intakes of thermal waters of Łądek Zdrój against the simplified sketch of the geological structure (after Gierwielaniec 1970)
 Explanation: 1 – alluvium, 2 – basalts, 3 – lamprophyres, 4 – gneiss of Gieraltów, 5 – gneiss of Śnieżnik, 6 – mylonites, 7 – slates of series of Stronie, 8 – faults, 9 – not exploited intakes: S – stare, 10 – intakes of thermal water: D – Dąbrówka, Ch – Chrobry, W – Wojciech, SC – Skłodowska-Curie, J – Jerzy, L-2; 11 – planned borehole LZT-1

wydobycia, ale też taki sposób wydobycia umożliwia zachowanie stabilnych warunków eksploatacji złoża. Jak wspomniano, znaczna część eksploatowanej wody geotermalnej nie jest wykorzystywana do celów balneologicznych czy też np. do ogrzewania obiektów uzdrowiskowych. Dodatkowo możliwe jest pozyskanie ciepła z wód pozabiegowych bądź wód odprowadzonych z ogólnodostępnych pijalni w parku zdrojowym.

2. ZMIENNOŚĆ WYDAJNOŚCI UJĘĆ I TEMPERATURY WODY

Współwystępowanie różnych rodzajów wód podziemnych w obrębie jednego złoża termalnych wód leczniczych może powodować zmiany w jego układzie hydrodynamicznym. Dotychczasowe doświadczenia wskazują, że zbyt intensywna eksploatacja odwiertu L-2 powoduje spadek ciśnienia w złożu wód termalnych, co przejawia się zmniejszeniem wydajno-

ści w źródłach o 12 do 34%, jak również powoduje obniżenie się zwierciadła zwykłych wód szczelinowych (Ciężkowski 1980).

Wywołany w 1976 r. rozpoczętą eksploatacją wód leczniczych z otworu L-2 spadek ciśnienia złożowego wód termalnych spowodował obniżenie się zwierciadła zwykłych wód szczelinowych, zaś dodatkowa eksploatacja wód zwykłych z otworu L-1 (w 1978 r.) doprowadziła do obniżenia ciśnienia złożowego całego systemu wód podziemnych szczelinowych i pogorszenia parametrów jakościowych, tj.: obniżenia temperatury wody, zmniejszenia się zawartości radonu (do 40%) oraz fluoru (ponad 20%) (Ciężkowski 1980).

Reakcje ujęć wód termalnych Łądka-Zdroju na ekstremalne zmiany zachodzące w złożu, zostały potwierdzone na podstawie analizy korelacyjnej (Liber 2001); modelowania zmian wydajności (Liber i Liber 2003a i b, 2005; Liber 2009), a także ich bezpośrednich obserwacji (Liber 2001, 2011). Wykazane istnienie silnych więzi hydraulicznych pomiędzy ujęciami wód termalnych wskazuje, że wszystkie ujęcia Łądka-Zdroju zasilane są wodą z jednego złoża szczelinowego bardzo głębokiego krążenia (Liber 2001), stąd sumaryczna ilość wody naturalnie wypływającej ze złoża powinna być prawie stała. Wartość ta może być jednocześnie uznana za sumaryczne zasoby eksploatacyjne dla rozpatrywanych ujęć.

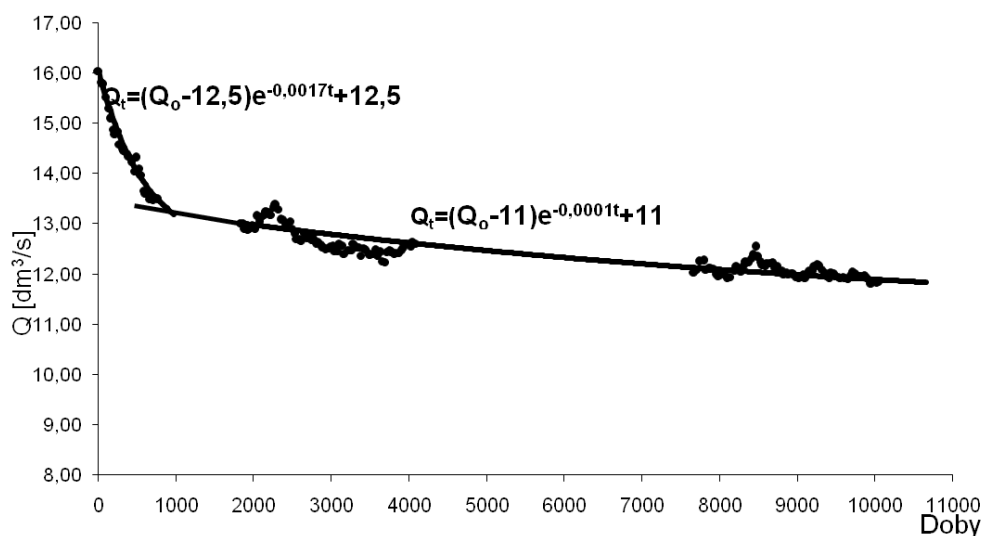
Suma wydajności wszystkich płytkich ujęć wód termalnych Łądka-Zdroju do roku 1973 była stała i wynosiła około $9,5 \text{ dm}^3/\text{s}$ ($820 \text{ m}^3/\text{d}$) (Ciężkowski 1980). W celu zwiększenia zasobów eksploatacyjnych w 1973 r. wykonano nowy odwiert L-2. Rozpoczęta w roku 1976 eksploatacja tego otworu spowodowała wyraźny spadek wydajności płytkich ujęć.

Na podstawie wyników obserwacji z 27 miesięcy eksploatacji Ciężkowski (1980) oszacował, że ustabilizowanie się sumarycznej wydajności ujęć nastąpi przy wartości $12,5 \text{ dm}^3/\text{s}$ ($1080 \text{ m}^3/\text{d}$).

Na podstawie analizy zmian sumarycznej wydajności ujęć z 28 lat Liber (2009) stwierdziła, że drenaż złoża odbywa się zgodnie z dwoma krzywymi wykładniczymi (rys. 2). Pierwsza z nich dotyczy początkowego okresu ($\alpha = 0,0017$) i charakteryzuje opróżnianie zbiornika wód o niedużej objętości, zaś druga krzywa, o mniejszym nachyleniu ($\alpha = 0,0001$), opisuje obserwowany od 1981 r. etap opróżniania bardzo głębokiego złoża wód szczelinowych i wskazuje, że stabilizacja sumarycznej wydajności wód powinna nastąpić przy wartości $11 \text{ dm}^3/\text{s}$, tj. ok. $950 \text{ m}^3/\text{d}$.

Na podstawie wyznaczonych wartości współczynników regresji α i odpowiadającej im wydajności ujęć Q_0 obliczono też potencjał zasobności W , który określa ilość wody nagromadzonej w rozpatrywanym zbiorniku szczelinowatym na początku jego opróżniania, zgromadzoną powyżej poziomu drenażu. Dla początkowego okresu opróżniania potencjał zasobności wynosił $182\,778 \text{ m}^3$, zaś dla powolnego okresu spadku wydajności $1\,741\,528 \text{ m}^3$ (Liber 2009). Obliczona pojemność wodonośca stanowi niewielką część (kilkanaście %) pojemności całego złoża wód Łądka-Zdroju oszacowanego na podstawie badań izotopowych na około $1-1,6 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ (Zuber i in. 1995).

Ważnym stwierdzeniem wynikającym z przedstawionego powyżej modelu opróżniania złoża Łądka-Zdroju, jest ściśle ograniczona ilość wypływającej wody termalnej z jednego złoża niezależnie od liczby ujęć, gdyż wykonanie ujęcia L-2 spowodowało ostatecznie



Rys. 2. Krzywe regresji sumy wydajności ujęć wód termalnych w Łądku-Zdroju w latach 1976–2004 (Liber 2009)

Fig. 2. Regression curve of total discharges of intakes of thermal water in Łądek-Zdrój in 1976–2004 (Liber 2009)

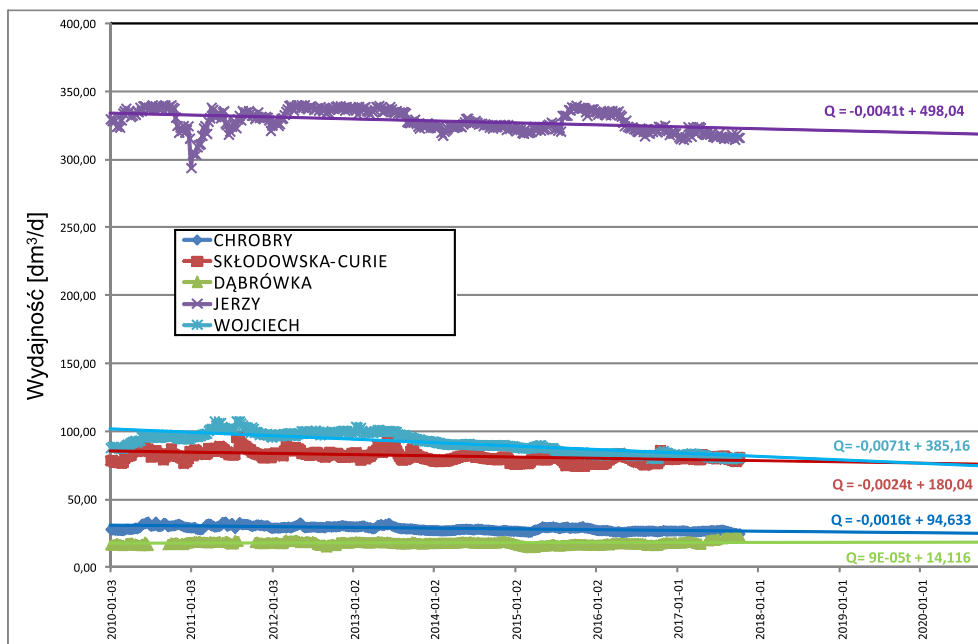
zwiększenie średniej sumy wydajności wszystkich ujęć wód termalnych tylko o 1,5 dm³/s, tj. o ok. 16%.

Obecna suma wydajność badanych ujęć (z 2016 roku) wynosi już około 904 m³/s i jest już mniejsza niż wyznaczona wartość wydajności długotrwałej (dopływem podstawowym). Pomimo przekroczenia wydajności długoterminowej, oszacowanej w 2009 roku, spadek wydajności poszczególnych łądeckich ujęć jest obecnie bardzo nieznaczny (rys. 3).

Wydajność poszczególnych ujęć wód termalnych Łądeka-Zdroju oraz temperatura wody w całym okresie ich eksploatacji wykazuje wahania, osiągając w okresie ostatnich 10 lat stabilizację, potwierdzoną obliczoną dla tych zmian wartością odchylenia standardowego. Charakterystykę zmian tych parametrów przedstawia tabela 1. Średnia wydajność oraz temperatura z całego okresu eksploatacji wody wahają się odpowiednio od 0,27 dm³/s i 20,0°C dla źródła Dąbrówka do 4,49 dm³/s i 44,1°C dla otworu L-2. Okres prowadzonych obserwacji tych parametrów dla źródeł obejmuje lata 1955–2015, z wyjątkiem ujęcia Chrobry, w którym stałe obserwacje prowadzi się od 2000 r. Monitoring parametrów złożowych w otworze L-2 prowadzony jest od początku jego eksploatacji w 1976 roku.

Można stwierdzić, że aktualnie nastąpił okres stabilizacji warunków eksploatacji złoża. Stan tej stabilnej eksploatacji może być zaburzony w przypadku nadmiernej eksploatacji otworu L-2 i/lub eksploatacji nowego ujęcia wód wyprowadzanych z tego samego zbiornika.

Dodatkowym ważnym aspektem dotyczącym zagrożenia złoża wód termalnych Łądeka-Zdroju jest prawidłowa ochrona całego złoża obejmująca strefę zasilania, przepływu i drenażu. Obszar zasilania znajduje się poza granicami obszaru górniczego, w obrębie



Rys. 3. Zmiany wydajności źródeł wód termalnych w Lądku-Zdroju w ostatnim okresie stabilnej eksploatacji w latach 2010–2017

Fig. 3. Changes in the discharge of thermal water springs in Lądek-Zdrój in the last period of stable exploitation in 2010–2017

chronionego obszaru Śnieżnickiego Parku Krajobrazowego. Stąd można przyjąć, że złożo jest odpowiednio chronione.

3. ANALIZA POCHODZENIA JONÓW FLUORKOWYCH

Fluor należy do grupy mikrośladników o znaczeniu farmakodynamicznym. Zgodnie z ustawą Prawo geologiczne i górnicze, jako leczniczą wodę fluorkową określa się wodę zawierającą nie mniej niż 2 mg/dm^3 jonu fluorkowego (Dz.U. 2011, Nr 163, poz. 981 wraz z póź. zm.).

Głównymi minerałami źródłowymi jonów fluorkowych w wodach podziemnych są fluoryt (CaF_2), fluoroapatyt ($\text{Ca}_5(\text{Cl},\text{F},\text{OH})(\text{PO}_4)_3$) i kriolit (Na_3AlF_6). Potencjalnie fluoronośnymi mogą być także amfibole (hornblenda, tremolit), łyszczyki (biotyt, flogopit, muskowił), turmaliny oraz topaz. Dzieje się tak, ponieważ wielkości promieni jonowych grupy OH^- i jonu F^- są zbliżone, zatem może dochodzić do ich wzajemnej wymiany w strukturach tych minerałów (Edmundson i Smedley 2005).

Stężenia jonów fluorkowych w wodach złoża lądeckiego zawierają się w przedziale od ok. 7 do maksymalnie ok. 13 mg/dm^3 . Jak podaje Ciężkowski (1978, 1980), tło hydrochemiczne F^- w płytkich wodach szczelinowych oraz źródłach wypływających na południowych

Tabela 1

Charakterystyka zmian temperatury wody termalnej i wydajności ujęć Łądek-Zdroju

Table 1

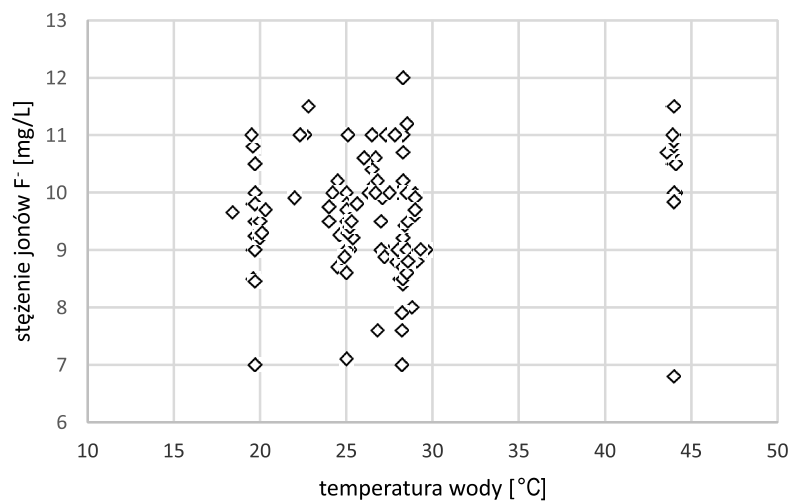
Characteristics of changes of thermal water temperature and discharge of intakes in Łądek-Zdrój

Nazwa ujęcia	Okres badań	Liczba pomiarów	Minimum	Maksimum	Średnia	Odchylenie standardowe
Temperatura wody [°C]						
Jerzy	1955–2015	6 317	27,1	29,5	28,3	0,14
	2005–2015	566	28,2	28,4	28,3	0,06
Wojciech	1955–2015	915	18,2	29,6	28,9	0,56
	2005–2015	561	28,5	29,5	29,1	0,33
Skłodowska-Curie	1955–2015	2 031	22,4	34,7	24,8	0,71
	2005–2015	563	24,5	25,6	25,0	0,18
Dąbrówka	1955–2015	2 101	18,8	29,1	20,0	0,41
	2005–2015	565	19,7	29,1	19,8	0,60
Chrobry	2000–2015	699	26,2	27,3	26,9	0,30
	2005–2015	565	26,2	27,3	26,8	0,26
L-2	1976–2015	9 408	43,0	45,1	44,1	0,29
	2000–2015	2 005	43,0	44,5	44,0	0,14
Wydajność [dm ³ /s]						
Jerzy	1955–2015	2 784	3,19	5,66	4,23	0,40
	2005–2015	565	3,40	4,00	3,86	0,08
Wojciech	1955–2015	2 292	0,83	1,63	1,26	0,17
	2005–2015	564	0,96	1,25	1,08	0,05
Skłodowska-Curie	1955–2015	2 521	0,50	1,64	0,97	0,15
	2005–2015	563	0,86	1,11	0,95	0,04
Dąbrówka	1955–2015	2 422	0,11	0,51	0,27	0,07
	2005–2015	489	0,12	0,24	0,18	0,04
Chrobry	2000–2015	804	0,23	0,41	0,35	0,04
	2000–2015	564	0,23	0,40	0,34	0,04
L-2	1976–2015	11 330	3,62	8,28	4,49	0,58
	2000–2015	3 215	4,04	4,53	4,31	0,09

stokach Śnieżnika zawiera się w przedziale 0,06–0,45 mg/dm³. Na podstawie obserwacji wód z odwiertów L-1 i L-2 stwierdził on także, iż stężenia tego składnika wzrastają wraz z głębokością ujęcia wód.

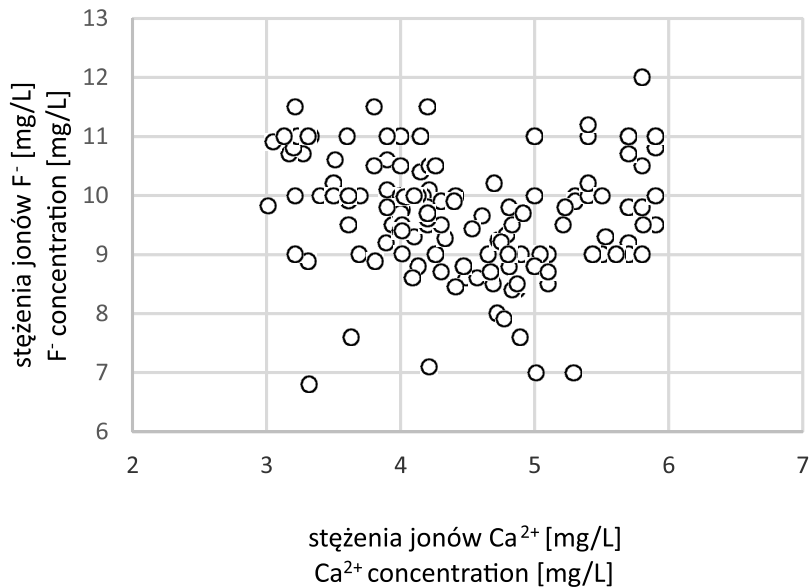
Długi czas przebywania wód w ośrodku skalnym i znaczną głębokość systemu ich krążenia może potwierdzać pozytywna korelacja zawartości jonów F⁻ i temperatury wód (Chae i in. 2007). W przypadku omawianego złoża trudno jest jednoznacznie mówić o takiej zależności (rys. 4). Na podstawie uzyskanego obrazu wnioskować można, iż czas krążenia łądeckich wód w ośrodku skalnym może być stosunkowo krótki, rzędu kilku tysięcy lat. Potwierdzają to wyniki badań trwałych izotopów tlenu i wodoru.

Wzajemna zależność udziału jonów F⁻ i Ca⁺² (rys. 5) raczej nie wskazuje na fluoryt jako źródło ich pochodzenia w badanych wodach. Intensywność rozpuszczania tego mi-



Rys. 4. Zmienność stężeń jonów F^- w zależności od temperatury wód

Fig. 4. Variation of F^- concentrations depending on water temperature



Rys. 5. Zależność stężeń jonów F^- od ilości jonów Ca^{2+}

Fig. 5. Concentrations of F^- versus Ca^{2+} concentrations

nerału uzależniona jest od stężenia jonów Ca^{2+} , przy czym wraz ze wzrostem tej wartości może dochodzić do wytrącania wtórnego kalcytu. Ponieważ omawiane wody wykazują równowagę termodynamiczną z fluorytem zatem minerał ten w takich samych ilościach może się rozpuszczać, jak i wtórnie krystalizować. Z drugiej strony rozpuszczające się krzemiany i glinokrzemiany dostarczając do wód głównych kationów (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) umożliwiają wytrącanie się wtórnego kalcytu, a to znowu prowadzi do intensyfikacji rozpuszczania fluorytu.

Jednakże należy zauważyć, że fluoryt wykazuje mniejszą rozpuszczalność ($K = 10^{-10,57}$), zatem nie może dojść do wytrącania wtórnego kalcytu ($K = 10^{-8,48}$) zanim pojawi się wtórny fluoryt (Appelo i Postma 2007).

Dodatkowych jonów wapniowych mogą dostarczać rozpuszczane hornblenda, apatyt i plagioklasy.

Mimo iż wody wykazują równowagę z fluorytem, to korelacja udziału jonów F^- z jonami sodowymi (Na^+) (rys. 6a) i rozpuszczoną krzemionką (SiO_2) (rys. 6b) sugeruje również minerały krzemianowe i/lub glinokrzemianowe jako źródło fluoru.

Należałoby raczej przyjmować, iż są to łyszczyki (biotyt, muskowit, lepidolit), hornblenda i podrzędnie apatyt – minerały budujące łupki łyszczykowe, amfibolitowe i amfibolity (Polański i Smulikowski 1969).

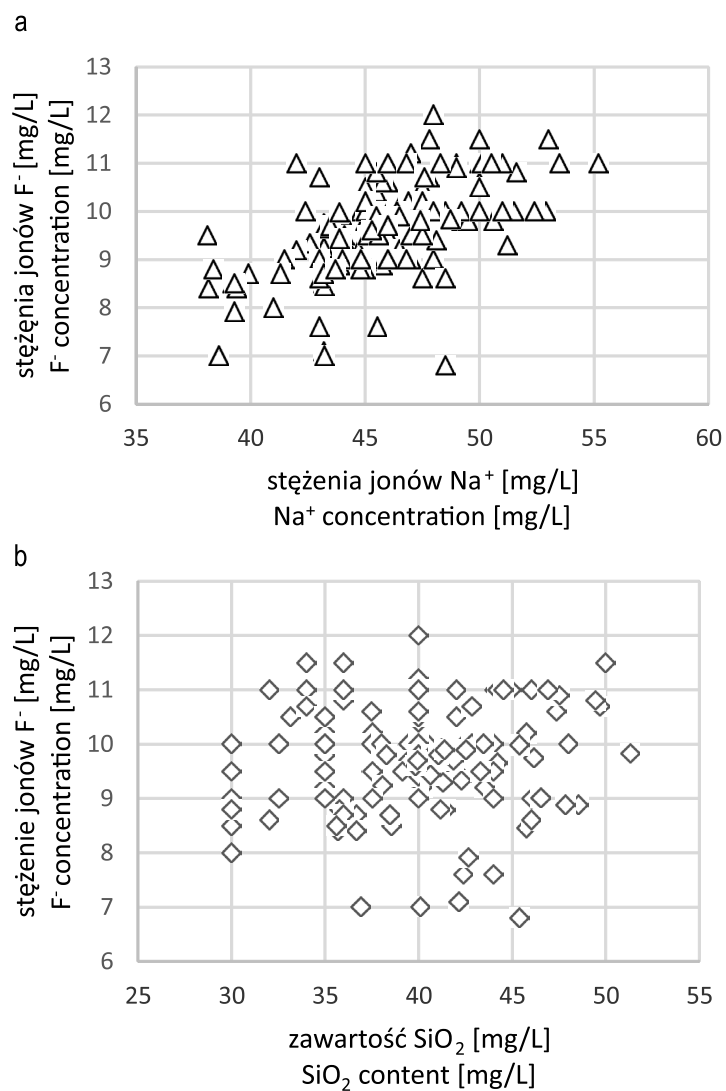
Zależność pomiędzy stężeniami jonów siarczanowych (SO_4^{-2}) (rys. 7) i fluorkowych może wskazywać na ich związek z utlenianiem minerałów siarczkowych, a to znowu może przemawiać za współwystępowaniem fluoru z mineralizacją siarczkową. Podobne zależności zaobserwowała Mroczkowska (1978) analizując obecność fluoru w wodach rejonu Cieplic (Kielczawa 2016). Wspomnieć tutaj należy, iż siarczkowa mineralizacja hydrotermalna występuje w obrębie metamorfiku Łądko-Śnieżnika zarówno w postaci rozproszonej, jak i w formie złóż (Ciężkowski 1978).

Gierwielaniec (1968) sugerował pochodzenie jonów fluorkowych z wietrzenia fluorytu, jednakże minerał ten występuje jedynie na południe od Łądko-Zdroju, w strefie nasunięcia Kletna. Mało prawdopodobne wydaje się także pochodzenie tych jonów jako efekt wietrzenia apatytu ze względu na nieznaczne wystąpienia tego minerału w obrębie serii gnejsowych. Stąd najbardziej prawdopodobne wydaje się, iż wzbogacenie wód łądeckich w jony fluorkowe następuje w wyniku wietrzenia łyszczyków i amfiboli będących głównymi minerałami skałotwórczymi serii metamorfiku Łądko-Śnieżnika (Kielczawa 2013).

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Aktualnie złoża termalnych wód leczniczych Łądko-Zdroju eksploatowane jest w warunkach ustabilizowanych, co nie doprowadza do istotnych zmian jakościowych i ilościowych wód podziemnych. Stan ten może być zaburzony w przypadku nadmiernej eksploatacji otworu L-2 i/lub eksploatacji nowego ujęcia wyprowadzającego wody z tego samego zbiornika.

Eksploatowane wody termalne obecnie wykorzystywane są tylko do celów balneologicznych, aż 43% poboru nie jest w ogóle wykorzystywane. Ciepło z wód pozabiegowych



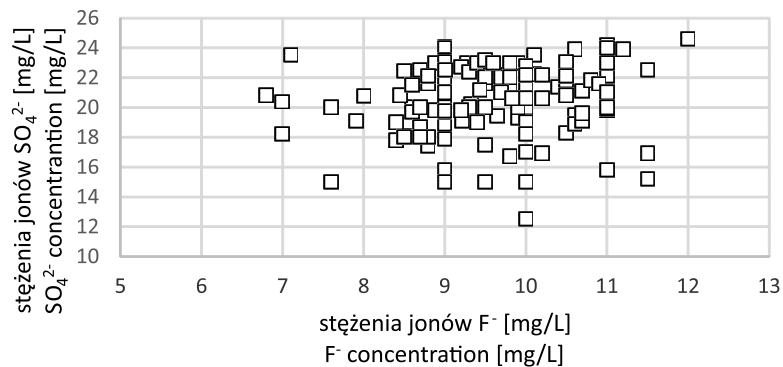
Rys. 6. Zmienność stężeń jonów F^- w zależności od: a – stężenia jonów Na^+ , b – ilości SiO_2

Fig. 6. Variation of F^- concentrations versus: a – Na^+ , b – SiO_2 concentrations

też nie jest pozyskiwane, czyli należałoby zaplanować system odzyskiwania już dostępnego ciepła z obecnie eksploatowanych ujęć wód termalnych w Łądku-Zdroju.

Wzbogacenie wód łądeckich w jony fluorkowe następuje w wyniku wietrzenia łuszczyków i amfiboli będących głównymi minerałami skałotwórczymi serii metamorfiku Łądko-Śnieżnika.

W celu ochrony zasobów złoża i prowadzenia optymalnej eksploatacji z zachowaniem stabilności wydajności ujęć zasadne jest maksymalne wykorzystanie zasobów (wody i ciepła) bez zrzucania wody, która może być nadal zagospodarowana.



Rys. 7. Zależność stężeń jonów F^- względem ilości jonów SO_4^{2-}

Fig. 7. Concentrations of F^- versus SO_4^{2-}

Prace wykonano w ramach projektu 13EO/0001/17 „Energia geotermalna: podstawa niskoemisyjnego ciepłownictwa, poprawy warunków życia i zrównoważonego rozwoju – wstępne studia dla wybranych obszarów w Polsce” w ramach środków Mechanizmu Finansowego EOG, 2009–2014.



Artykuł opracowano i opublikowano w ramach Projektu EOG „Energia geotermalna – podstawa niskoemisyjnego ciepłownictwa, poprawy warunków życia i zrównoważonego rozwoju – wstępne studia dla wybranych obszarów w Polsce” dofinansowanego ze środków Mechanizmu Finansowego EOG 2009–2014 w ramach Funduszu Współpracy Dwustronnej na poziomie Programu PL04 „Oszczędzanie energii i promowanie odnawialnych źródeł energii” (Umowa nr 173/2017/Wn50/OA-XN-05/D). Realizatorzy Projektu: Konsorcjum Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN (beneficjent), AGH Akademii Górniczo-Hutniczej im. S. Staszica w Krakowie i Politechniki Wrocławskiej we współpracy z partnerami z krajów Darczyńców: National Energy Authority (Islandia) oraz Christian Michelsen Research AS (Norwegia), a także z zespołem Europejskiej Rady Energii Geotermalnej, ekspertami i przedstawicielami wybranych miast: Konstantynowa Łódzkiego, Poddębic, Sochaczewa, Łącka-Zdroju.

LITERATURA

- Appelo, C.A.J. i Postma, D. 2007. Geochemistry groundwater and pollution. Balcema Publ., Leiden.
- Chae i in. 2007 – Chae, G-T., Yun, S-T., Mayer, B., Kim, K-H., Kim, S-Y., Kwon, J-M., Kim, K. i Koh, Y. 2007. Fluorine geochemistry in bedrock groundwater of South Korea. *Science of the Total Environment* No. 385, s. 272–283.
- Ciężkowski, W. 1978. *Hydrogeologia i hydrochemia wód termalnych Łądku Zdroju*. Inst. Geotech. Komunikat nr 284.
- Ciężkowski, W. 1980. Hydrogeologia i hydrochemia wód termalnych Łądku-Zdroju. *Problemy Uzdrawiskowe* 4(150).
- Ciężkowski, W. 1983. Wody termalne Łądku Zdroju. [W:] *II Ogólnopol. Symp. Współczesne Problemy Hydrogeologii Regionalnej*, Łądek Zdrój, s. 30–40.
- Ciężkowski, W. 1990. Studium hydrogeochemii wód leczniczych Sudetów polskich. *Prace Naukowe Instytutu Geotechniki Politechniki Wrocławskiej* 60.
- Ciężkowski i in. 1996 – Ciężkowski, W., Doktor, S., Graniczny, M., Kabat, T., Kozłowski, J., Liber, E., Przylibski, T., Teisseyre, B., Wiśniewska, M. i Zuber, A. 1996. *Próba określenia obszarów zasilenia wód leczniczych pochodzenia infiltracyjnego w Polsce na podstawie badań izotopowych*. Zał. 20. Złoże wód leczniczych Łądku-Zdroju. Zakład Badawczo-Uslugowy „Zdroje”, Wrocław.
- Ciężkowski i in. 2011a – Ciężkowski, W., Marszałek, H. i Wąsik, M. 2011a. Metody badawcze w poszukiwaniu i rozpoznawaniu złóż wód termalnych w sudeckim regionie geotermalnym. *Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój* R. 50, z. 1–2, s. 51–59.
- Ciężkowski i in. 2011b – Ciężkowski, W., Liber-Makowska, E., Ciekot, B. i Ogórek, A. 2011b. Charakterystyka warunków występowania i eksploatacji wód termalnych Łądku-Zdroju. *Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój* R. 50, z. 1–2, s. 61–70.
- Dz.U. 2011, nr 163, poz. 981: Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze.
- Edmunds, M. i Smedley, P. 2005. Fluoride in natural waters. [W:] Sellinus O. (red.) – *Essentials of medical geology, impacts of the natural environment on public health*, Elsevier Academic Press, US, s. 301–329.
- Gierwielaniec, J. 1970. Z geologii Łądku-Zdroju. *Pr. Nauk. Inst. Geotech. PWr.* nr 5, Studia i Materiały nr 5, s. 1–43.
- Kielczawa, B. 2013. Charakterystyka hydrochemiczna wód termalnych Łądku-Zdroju. *Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój* R. 52, z. 2, s. 105–116.
- Kielczawa, B. 2016. Fluor (F^-) w wodach termalnych Cieplic Śląskich. *Górnictwo Odkrywkowe* Vol. LVII, No. 1, s. 16–22.
- Liber, E. 2001. *Zmienność wydajności ujęć wód leczniczych eksploatowanych samoczynnie ze złóż sudeckich*. Praca doktorska. Raporty Inst. Gór. Ser. PRE nr 3, Politechnika Wroclawska, Wrocław, s. 1–169.
- Liber, E. 2009. Charakterystyka opróżniania zbiornika wód szczelinowych głębokiego krążenia na przykładzie złoży wód termalnych Łądku-Zdroju. *Biuletyn PIG*, 436, s. 317–322.
- Liber, E. i Liber, A. 2003a. *Modelowanie wydajności ujęć termalnych wód leczniczych eksploatowanych samoczynnie w Łądku Zdroju przy zastosowaniu sieci neuronowych. Modelowanie i symulacja komputerowa w technice*. II Symposium, Łódź, s. 111–114.

- Liber, E. i Liber A. 2003b. Analiza falkowa wydajności ujęć wód leczniczych w Łądku Zdroju. [W:] *Współczesne problemy hydrogeologii* T. 11., s. 377–380.
- Liber, A. i Liber, E. 2005. Zmiany wydajności ujęć wód leczniczych w Łądku Zdroju i Szczawnie Zdroju w świetle nowych metod badań. [W:] *Współczesne problemy hydrogeologii* T. 12, s. 453–460.
- Liber-Makowska, E. 2011. Dynamiczne oddziaływanie pomiędzy ujęciami wód termalnych Łądku -Zdroju. *Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój* R. 50, z. 1–2, s. 71–80.
- Mroczkowska, B. 1978. *Występowanie fluoru w wodach sudeckich*. Wrocław: Arch. PIG Oddz. Dolnośląski.
- Polański, A. i Smulikowski, K. 1969. *Geochemia*. Warszawa: Wyd. Geol., 662 s.
- Przylibski, T.A. 2005. *Radon. Składnik swoisty wód leczniczych Sudetów*. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
- Zuber i in. 1995 – Zuber, A., Weise, S.M., Osenbrück, K., Grabczak, J. i Ciężkowski, W. 1995. Age and recharge area of thermal waters in Łądek Spa (Sudeten, Poland) deduced from environmental isotope and noble gas data. *Journal of Hydrogeology* 167.

CHARACTERISTICS OF SELECTED DEPOSIT PARAMETERS OF THERMAL MEDICINAL WATERS IN ŁĄDEK-ZDRÓJ

ABSTRACT

The paper presents the most important deposit parameters of the thermal waters in Łądek-Zdrój, such as: water temperature, discharge of intakes and analysis of F⁻ origin. The medicinal thermal waters of Łądek-Zdrój are recharged from one deep circulation fissure deposit. The total amount of water flowing naturally out of the deposit is almost constant nowadays. This value can be taken as the summative reserve admissible volume of extracted groundwater of from all the intakes. The extracted thermal waters are currently used only for balneological purposes and as much as 43% of the drawn water is not used at all. The heat from post-treatment waters is not reused either. Currently, the deposit is exploited in stabilized conditions. These conditions can be disturbed in the event of the excessive exploitation of borehole L-2 and /or another deep intake such as the planned new thermal water intake.

KEYWORDS

Thermal waters, medicinal waters, discharge of intakes, chemical composition of water, Sudety Mts.

Iceland 
Liechtenstein
Norway grants

The paper was prepared and published as part of the EEA Project on “Geothermal energy – a basis for low-emission heating, improving living conditions and sustainable development – preliminary studies for selected areas in Poland”, co-funded by the Financial Mechanism of the European Economic Area (EEA) 2009–2014, as part of the Bilateral Co-operation Fund, at the Level of PL04 Programme “Energy Saving and the Promotion of Renewable Energy Sources” (Agreement No. 173/2017/Wn50/OA-XN-05/D). Project performers: The Consortium of The Mineral and Energy Economy Research Institute of the Polish Academy of Sciences (Beneficiary), The AGH University of Science and Technology in Kraków, and The Wrocław University of Science and Technology, in co-operation with the Partners from the Donor countries: The National Energy Authority (Iceland) and the Christian Michelsen Research AS (Norway). The Project performers were also European Geothermal Energy Council, experts and representatives of selected towns: Konstancin Łódzki, Poddębice, Sochaczew, Łądek-Zdrój.