

Barbara KIEŁCZAWA¹, Elżbieta LIBER-MAKOWSKA¹

WARUNKI GEOTERMICZNE REJONU ŁĄDKA-ZDROJU

STRESZCZENIE

Pod względem stopnia rozpoznania warunków geotermicznych, jak i samych złóż wód termalnych, region sudecki można zaliczyć do złóż słabo rozpoznanych. Z jednej strony wynika to ze złożoności warunków geologicznych całej jednostki, z drugiej zaś z nielicznych dotychczas wykonanych, głębokich odwiertów rozpoznających takie złoża w obrębie Sudetów. Rozpoznając warunki geotermiczne danego rejonu istotnym jest zlokalizowanie obszarów cechujących się podwyższonymi parametrami przewodności termicznej ośrodka skalnego, powierzchniowego strumienia ciepłego czy gradientu temperatury. Niejednokrotnie rejonom takim towarzyszą wystąpienia wód geotermalnych potwierdzające anomalne, w skali lokalnej, perspektywiczne warunki geotermiczne. Najczęściej wody te przemieszczają się systemem głębokiego krążenia, wykorzystują strefy głębokich dyslokacji o charakterze rozłamów tektonicznych. Z rejonem krzyżowania się rozłamów karkonoskiego i morawsko-śląskiego związane są wypływy wód geotermalnych Łądko-Zdroju.

SŁOWA KLUCZOWE

Sudety, Łądek-Zdrój, wody geotermalne, geotermometry

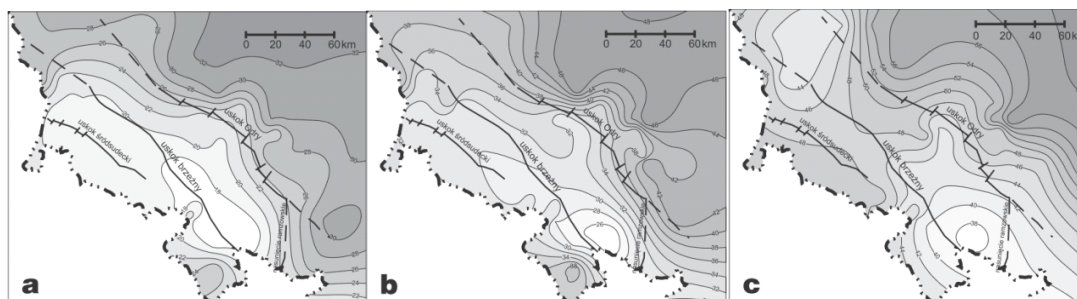
* * *

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

WPROWADZENIE

Lokalizacja i rozpoznanie perspektywicznych złóż wód geotermalnych, obok określenia możliwości i sposobu udostępnienia takich wód (zazwyczaj systemu głębokiego krążenia), wymaga nakreślenia obrazu pola ciepłego Ziemi w danym obszarze.

Warunki geotermiczne polskiej części Sudetów oraz bloku przedsudeckiego syntetycznie po raz pierwszy przedstawiła Bruszevska (2000). Na podstawie wyników z 51 wybranych punktów pomiarowych autorka ta opracowała mapy rozkładu temperatur na głębokościach 500 m (od 18°C do 26°C), 1000 m (od 26°C do 38°C) i 1500 m (od 38°C do 50°C) (rys. 1a, b, c).

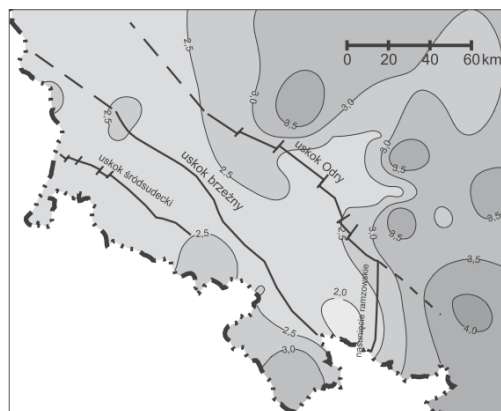


Rys. 1. Zmienność temperatur [°C] na głębokościach: a – 500 , b – 1000 oraz c – 1500 m p.p.t. (Bruszevska 2000)

Fig. 1. Temperature maps [°C] at the depths: a – 500 m b.s.l., b – 1000 m b.s.l. , c – 1500 m b.s.l. (Bruszevska 2000)

Nierównomierne rozmieszczenie odwiertów oraz ich zróżnicowana głębokość zmniejszają dokładność uzyskanych wyników, niemniej jednak jest to pierwszy obraz izolinii strumienia ciepłego SW Polski (Przylibski red. 2007). Wyraźnie widoczny jest wzrost temperatur w kierunku północno-wschodnim, do uskoku Odry stanowiącego naturalną granicę. Podobna sytuacja rysuje się w kierunku południowym, w rejonach Karkonoszy i Ziemi Kłodzkiej. Izolinie gradientu temperatury o wartościach od 2 do ponad 3°C/100 m w południowej części omawianego obszaru cechują się zbliżonym przebiegiem (rys. 2).

W kierunku północno-wschodnim, wzdłuż uskoku Odry oraz w kierunku południowym, w rejonach Karkonoszy i Kotliny Kłodzkiej widoczny jest, analogicznie jak omówiony wzrost temperatur, wzrost wartości gęstości strumienia ciepłego (powyżej 60 mW/m²). Najniższe wartości gęstości strumienia ciepłego zaobserwować można na bloku przedsudeckim (50–60 mW/m²). Wyższe wartości tego parametru stwierdzono w głębokich ujęciach wód termalnych: C-1 w Jeleniej Górze-Cieplicach (79 mW/m²) i L-2 w Łądku-Zdroju (71,2 mW/m²) (Dowgiałło 2001, 2002; Liber i Kiełczawa 2009). Największy przepływ ciepła endogenicznego (96 mW/m²) wykazały badania przeprowadzone w obrębie czeskiego basenu kredowego w miejscowości Tyniste (Dowgiałło 2007).



Rys. 2. Rozkład średniego gradientu temperatury [$^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$] (Bruszevska 2000)

Fig. 2. Map of the average thermal gradient [$^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$] (Bruszevska 2000)

Powierzchniowy strumień ciepły składa się z wartości strumienia ciepłego pochodzącego z płaszcza Ziemi, ciepła radiogenicznego skał oraz ciepła związanego z procesami endogenicznymi (wulkanicznymi i tektonicznymi). Rozkład gęstości strumienia ciepłego jest zmienny, uzależniony od przewodności cieplnej właściwej ośrodka skalnego, przy czym skały krystaliczne cechują się przewodnością z zakresu od 1 do 4 $\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$ (Plewa 1994). Region sudecki charakteryzuje się stosunkowo wysokimi wartościami ciepła radiogenicznego skał od około 2,0 do 5,1 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ (Plewa 1996). Badania Plewy wykazały jednak, że wysokie wartości ciepła radiogenicznego sudeckich skał nie wpływają znacząco na wartość powierzchniowego strumienia ciepłego (od 45 do około 65 mW/m^2).

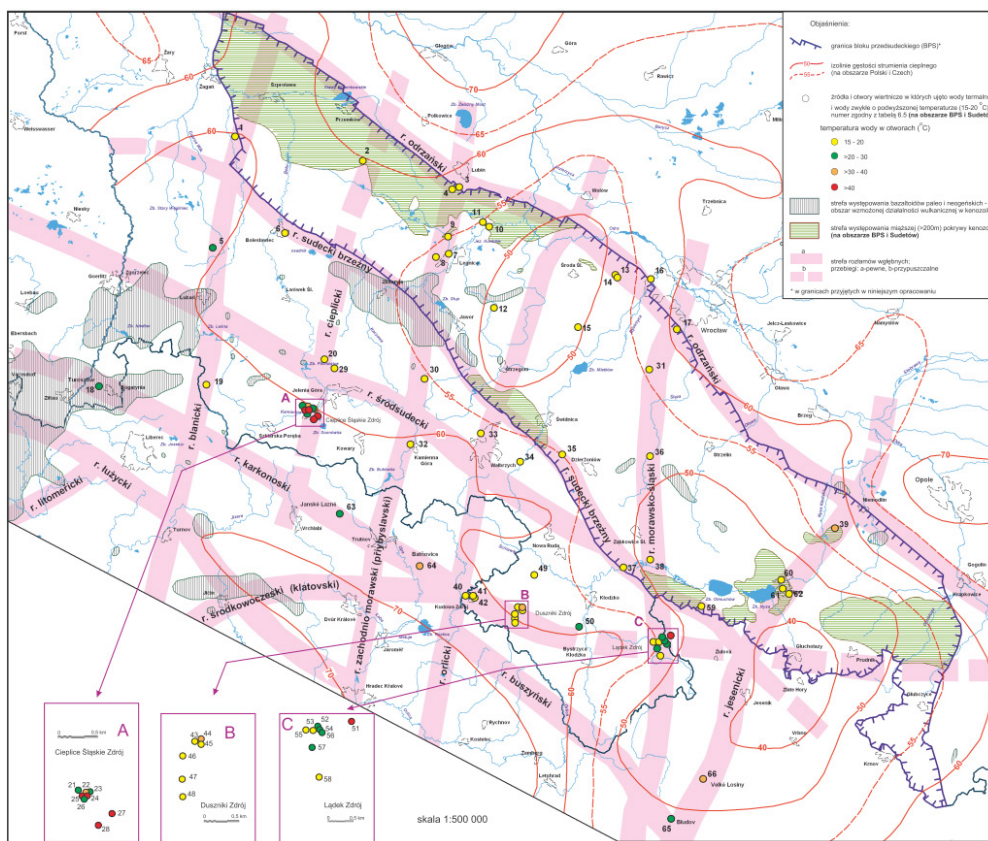
Mapa gęstości strumienia ciepłego opracowana przez Bruszevską (2000) oraz badania Plewy (1996) nakreślają zgeneralizowany obraz warunków geotermicznych polskiej części Sudetów. Przy takiej skali ich rozpoznania, dla określenia obszarów występowania wód geotermalnych najbardziej istotne jest wytypowanie drożnych stref tektonicznych umożliwiających przemieszczanie się wód głębokiego systemu krążenia.

1. WARUNKI TERMICZNE W REJONIE ŁĄDKA-ZDROJU

Warunki geotermiczne oraz sposób formowania się złóż wód termalnych w Sudetach są stosunkowo słabo rozpoznane. Z jednej strony stan ten związany jest ze skomplikowaną budową geologiczną całej jednostki, a przede wszystkim z nielicznymi dotychczas wykonanymi, głębokimi odwiertami rozpoznającymi takie złoża w obrębie Sudetów. Wykonywane w ostatnich latach odwierty głównie w rejonie Cieplic (np. w Stanisławowie, Karpnikach) dostarczają szczegółowych danych do rozpoznania tego rejonu, tj. w odniesieniu do karkonoskiego masywu granitowego.

Spośród złóż wód geotermalnych Ziemi Kłodzkiej dotychczas najlepiej rozpoznanymi są wody Łądka-Zdroju. Liber (2001) zaliczyła je do złóż wód szczelinowych bardzo głębokiego krążenia, których wypływy związane są ze strefami głębokich rozłamów tektonicznych. Zgodnie z regionalizacją złóż wód termalnych podaną przez Dowgiałło (2001), wody łądeckie przynależą do jednego z czterech subregionów geotermalnych (obok s.g. jeleniogórskiego, legnickiego i świdnicko-niemodlińskiego), subregionu wałbrzysko-kłodzkiego.

Wielu autorów (m.in. Fistek 1977, 1989; Ciężkowski 1990; Dowgiałło 2001; Dowgiałło i Fistek 2007; Liber 2001) omawiając warunki występowania leczniczych wód geotermalnych i szczaw sudeckich potwierdza, iż głównymi drogami przemieszczania się tych wód są strefy rozłamów i uskoków tektonicznych. Szczególnie predysponowanymi dla wypływu wód geotermalnych mogą być regionalne strefy rozłamów tektonicznych, umożliwiające im głęboką migrację a przez to pozyskanie ciepła od ośrodka skalnego o wyższej temperaturze (rys. 3).



Rys. 3. Przebieg głównych stref tektonicznych w Sudetach (Przyłbiski i in. 2007)

Fig. 3. Main tectonic zones in Sudety Mts. (Przyłbiski et al. 2007)

Masyw Czeski wraz z jego obrzeżeniem, w tym także z Sudetami, cechuje się obecnością szeregu stref rozłamowych o głębokim, pionowym zasięgu. Rozciągłość tych stref nie zawsze jest zgodna z przebiegiem uskoków stwierdzanych w powierzchniowych partiach górotworu. Bezpośrednio rozłamy te identyfikowane są metodami geofizycznymi (Pozaryski 1975; Cwojdziański i in. 1995). Pośrednio o ich występowaniu wnioskować można na podstawie pasowego układu mineralizacji kruszcowej (Kanasiewicz i Sylwestrzak 1970; Michniewicz 1981), obecności skał zasadowych i ultrasasadowych oraz rejonów wystąpień kenozoicznych bazaltoidów (Cwojdziański i Jodłowski 1982).

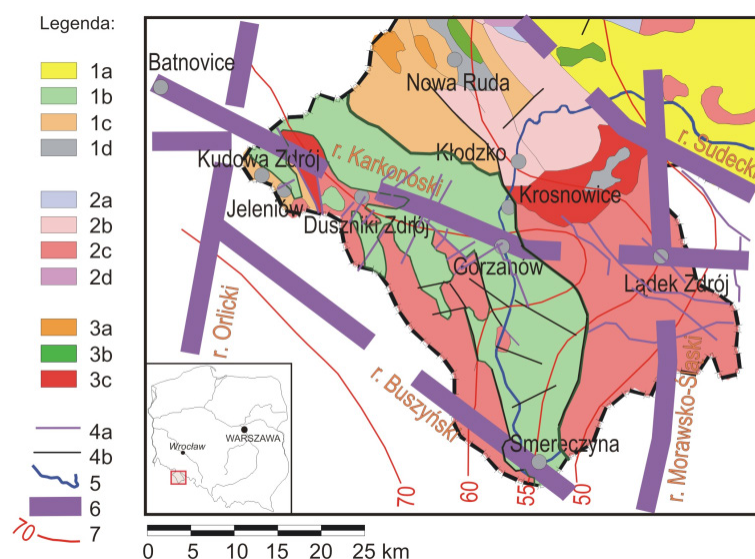
Lokalizacje złóż wód geotermalnych w Sudetach związane są z wystąpieniami głównych stref tektonicznych niejednokrotnie zgodnych z przebiegiem fotolineamentów (Bażyński i in. 1981; Doktor i in. 1985; Graniczny 1994). Struktury te mogą wskazywać na obecność głębokich stref tektonicznych.

Rozciągłość sieci wgłębnych rozłamów w obrębie Sudetów i przyległej części Masywu Czeskiego przedstawił Michniewicz (1981). Kolejne badania uszczegółowiły przebieg rozłamu karkonoskiego oraz pozwoliły wydzielić nową strefę – rozłam cieplicki dla określenia nowych wystąpień wód termalnych w obrębie bloku przedsudeckiego (Przylibski red. 2007; Ciężkowski i in. 2011b).

Prowincja sudecka charakteryzuje się obecnością dwóch systemów rozłamów. Pierwszy z nich przebiega zgodnie z kierunkiem NW-SE, drugi – NNE-SSW. W rejonie Ziemi Kłodzkiej system rozłamów zgodny z kierunkiem NW-SE, tworzy dwie strefy (rys. 4):

- strefę rozłamu buszyńskiego – przybiega jedynie fragmentarycznie w południowej części rowu górnej Nysy Kłodzkiej. W obszarze tym, w Smreczynie, stwierdzono wystąpienie wód $\text{HCO}_3\text{-Na-Ca}$ cechujących się podwyższonymi stężeniami jonów F^- (Kielczawa 2001a, 2001b). W obrębie czeskiej części tej strefy, w Bludovie występują wody termalne wykazujące na wypływie temperatury z zakresu 22–26°C. Ich mineralizacja wynosi 526 mg/dm³ a typ chemiczny jest $\text{SO}_4\text{-Cl-Na}$ (Dowgiałło 1976);
- strefę rozłamu karkonoskiego – tylko częściowo przechodzi przez południową granicę prowincji sudeckiej. Rozciąga się przez depresję Turoszowa, następnie Janské Lázně i Batňovice po czeskiej stronie Sudetów. Ponownie na obszar Polski wkracza w zapadlisku Kudowy, skąd przez Duszniki, Gorzanów, i dalej jako strefa przypuszczalna i nieco bardziej równoleżnikowa, przebiega przez Łądek-Zdrój do Prudnika.

W obrębie tego rozłamu występują wody lecznicze Kudowy-Zdroju i Jeleniowa oraz Dusznik-Zdroju (w tym szczawy termalne Jeleniowa i Dusznik-Zdroju) oraz wody o podwyższonej temperaturze (w Gorzanowie). Ponadto w Krosnowicach stwierdzono samowypływ wody geotermalnej o typie $\text{HCO}_3\text{-Na-Ca-Mg}$, temperaturze 22°C i mineralizacji 1600 mg/dm³ (Kielczawa 2001b). Należy zauważyć, iż miejscowość ta położona jest w pobliżu strefy tektonicznej Pstrązna-Gorzanów przedłużającej się w kierunku Kudowy zgodnie z rozciągłością rozłamu karkonoskiego przebiegającego w tej części Ziemi Kłodzkiej. Stwierdzone wzdłuż wspomnianej strefy wystąpienia wód geotermalnych (oraz dwutlenku węgla), mogą potwierdzać głęboki i regionalny zasięg tego uskoku (Bażyński i in. 1981; Fistek 1977; Kielczawa 2001b). Najliczniejsze wystąpienia wód geotermalnych w Sudetach



Rys. 4. Perspektywiczne obszary występowania wód termalnych na tle uproszczonej budowy geologicznej Ziemi Kłodzkiej (Liber i Kielczawa 2009)

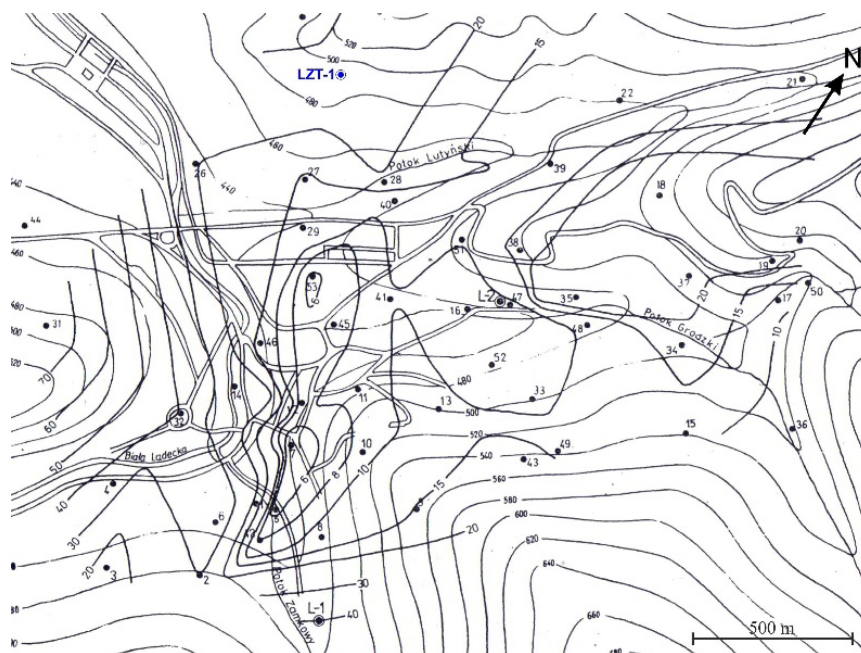
Objaśnienia: 1 – serie osadowe: a – trzeciorzęd, b – kreda, c – perm, d – karbon; 2 – serie metamorficzne: a – mylonity i kataklazyty paleozoiku, b – fylity, łupki krzemionkowe i zieleńce paleozoiku, c – łupki luszczkowe i gnejsy paleozoiku i proterozoiku, d – gnejsy i migmatyty proterozoiku; 3 – serie magmowe: a – wulkanity permu i karbonu, b – wulkanity starszego paleozoiku, c – granity późnopaleozoiczne; 4 – uskoki: a – perspektywiczne dla wód termalnych i wód o podwyższonej temperaturze, b – inne; 5 – rzeki; 6 – rozłamy; 7 – izoliny gęstości strumienia ciepłego [mW/m^2]

Fig. 4. Prospective areas of the thermal waters occurrences on the base of the simplified geological sketch of the Kłodzko region (Liber and Kielczawa 2009)

Legend: 1 – sedimentary complex: a – Tertiary, b – Cretaceous, c – Permian, d – Carboniferous; 2 – metamorphic rocks: a – Paleozoic mylonite and cataclasite, b – Paleozoic phyllite, siliceous schist and greenstones, c – Paleozoic and Proterozoic mica schist and gneisses, d – Proterozoic gneisses and migmatite; 3 – igneous rocks: a – Permian and Carboniferous vulcanite, b – older Paleozoic vulcanite, c – late Paleozoic granites; 4 – faults: a – prospective for thermal waters and waters with higher temperature, b – other faults; 5 – rivers; 6 – deep fracture; 7 – isolines of heat flow density [mW/m^2]

lokalizują się w strefie rozłamu karkonoskiego. Wpływy wód termalnych w Łądku-Zdroju także są związane z tym rozłamem.

W latach 1969–1973, w związku ze wzrastającym zapotrzebowaniem na lecznicze wody termalne, w Łądku-Zdroju i jego najbliższej okolicy wykonano wiele badań mających na celu wytypowanie najbardziej perspektywicznych obszarów dla lokalizacji nowych ujęć. Na podstawie wyników pomiarów wykonanych w 53 płytkich otworach (o głębokościach z przedziału 25–30 m) Ciężkowski (1980) wyznaczył wartości przypowierzchniowego stopnia geotermicznego i gradientu geotermicznego odpowiednio $5,5 m/^{\circ}C$ i $0,18^{\circ}C/m$. Uzyskany obraz (rys. 5), mimo iż jak sam autor zauważa, nie jest precyzyjny, to jednak odzworowuje ogólny rozkład anomalii termicznej badanego terenu.



Rys. 5. Anomalia geotermiczna rejonu Łądeka-Zdroju (Ciężkowski i in. 2016)
 Objaśnienia: linia ciągła – wartość stopnia geotermicznego, LZT-1 – planowany odwiert

Fig. 5. Geothermal anomalies in Łądek region (Ciężkowski et al. 2016)
 Explanations: solid line – geothermal degree, LZT-1 – planned borehole

Zauważyć można wyraźnie zarysowujący się obszar o podwyższonych wartościach gradientu geotermicznego w centralnej części miejscowości oraz na wschód od uzdrowiska. Najprawdopodobniej wpływy wód termalnych związane są ze strefą uskoku Łądek-Orłowiec – Karpno przy czym obecność wód termalnych na wschód od miejscowości, w rejonie uskoku Łądek-Orłowiec-Karpno i Raszowiec-Karpno sugerują podwyższone wartości gradientu geotermicznego. Stosunkowo mały zasięg tej anomalii sugeruje, iż strumień wód termalnych jest zwarty, tj. nie wykazuje rozproszenia (Ciężkowski 1978, 1980).

2. GEOTERMOMETRY

Prawdopodobny zakres temperatur wód dla wszystkich ujęć Łądeka-Zdroju oszacował Porowski (2007), stosując kilka geotermometrów chemicznych (kwarcowy, chalcedonowy, Mg–Li) i równowag izotopowych tlenu w systemie $\text{SO}_4\text{--H}_2\text{O}$. Na podstawie wyników tych badań autor ten wskazuje na przedział temperatur od około 30°C do około 91°C . Ponieważ omawiane wody Łądeka-Zdroju zawierają H_2S pochodzący z procesów redukcyjnych redukcji bakteryjnej, stosowanie tlenowego geotermometru w układzie $\text{SO}_4\text{--H}_2\text{O}$ daje niemiarodajne wyniki (Porowski i Dowgiałło 2009). Wspomniani uczeni korygują temperatury ładec-

kich wód na przedział od około 48 do około 57°C. Dobrzyński i Leśniak (2010) analizując zmienność wskaźników nasycenia w zależności od zmian temperatury, określili wielkość temperatur wód dla łądeckiego złoża na $80\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Zauważyć tutaj należy, iż najbardziej prawdopodobne wyniki z zastosowaniem geotermometrów chemicznych uzyskuje się dla wód będących w stanie równowagi termodynamicznej z ośrodkiem skalnym. Wody Łądka cechują się niedosyceniem względem bez mała wszystkich minerałów skałotwórczych ośrodka skalnego, w którym się przemieszczają. Stąd, wykorzystując geotermometry dla wód wykazujących nawet częściową równowagę, należy ostrożnie wyciągać wnioski z badań (Dowgiało 2007; Leśniak i Nowak 1993).

PODSUMOWANIE

W celu szczegółowego rozpoznania złoża wód termalnych Łądka-Zdroju uzasadnione staje się opracowanie numerycznego modelu złoża i jego otoczenia geologicznego na podstawie wyników archiwalnych oraz nowych badań geofizycznych wraz z wykonaniem symulacji hydrodynamicznych, hydrogeochemicznych i geotermalnych. Wyniki tych badań mogą być podstawą wyznaczenia zasobów dyspozycyjnych złoża. Szczegółowych informacji mogą dostarczyć planowane prace i roboty geologiczne w związku z wykonaniem odwiertu LZT-1.

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, Łądka-Zdroju.

LITERATURA

- Bazyński i in. 1981 – Bazyński, J., Fistek, J., Graniczny, M., Sławiński, A. i Wilczyński, M. 1981. Interpretacja zdjęć satelitarnych w świetle badań hydrologicznych południowo-zachodniej części Ziemi Kłodzkiej. *Technika Poszukiwań Geologicznych* R. 20, z. 1, s. 14–16.
- Bruszevska, B. 2000. Warunki geotermiczne Dolnego Śląska. *Przegląd Geologiczny* t. 48, nr 7, Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny.
- 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. 1990. Studium hydrogeochemii wód leczniczych Sudetów polskich. *Prace Naukowe Instytutu Geotechniki Politechniki Wrocławskiej* 60.
- Ciężkowski i in. 2011b – Ciężkowski, W., Michniewicz, M. i Przylibski, T.A. 2011b. Wody termalne na Dolnym Śląsku. [W:] Żelaźniewicz A., Wojewoda J., Ciężkowski W. red.: *Mezozoik i Kenozoik Dolnego Śląska*. Wrocław: WIND.
- Ciężkowski i in. 2016 – Ciężkowski, W., Marszałek, H. i Wąsik, M. 2016. *Projekt robót geologicznych poszukiwania wód termalnych otworem LTZ-1 w Łądku-Zdroju*. Archiwum Urzędu Gminy Łądek-Zdrój.
- Cwojdziański, S. i Jodłowski S. 1982. „Plamowe” koncentracje bazaltowe masywu czeskiego i Dolnego Śląska. *Biul. Inst. Geol.* Nr 341, s. 201–229.
- Cwojdziański i in. 1995 – Cwojdziański, S., Młynarski, S., Dziewińska, L., Jóźwiak, W., Zientara, P. i Baziuk, T. 1995. GB-2A – pierwszy sejsmiczny profil głębokich badań refleksyjnych (GBS) na Dolnym Śląsku. *Przegląd Geologiczny* t. 43, s. 727–737.
- Doktór i in. 1985 – Doktór, S., Graniczny, M. i Wiśniewska, M. 1985. Wykorzystanie badań teledetekcyjnych do poszukiwań wód termalnych i mineralnych na przykładzie masywu granitowego Karkonoszy. *Przegląd Geologiczny* t. 33, nr 8, s. 454–458.
- Dowgiałło, J. 2001. Sudecki region geotermalny – określenie, podział, perspektywy poszukiwawcze. [W:] *Współczesne Problemy Hydrogeologii* Vol. 10, s. 301–308.
- Dowgiałło, J. 1976. Wody termalne Sudetów. *Acta Geologica Polonica* Vol. 26, No 4.
- Dowgiałło, J. 2002. The Sudetic geothermal region of Poland. *Geothermics* 31.
- Dowgiałło, J. 2007. Stan rozpoznania zasobów termalnych regionu sudeckiego i perspektywy ich wykorzystania. *Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównoważony Rozwój* R. 46, z. 2, s. 29–34.
- Dowgiałło, J. i Fistek, J. 2007. Prowincja sudecka. [W:] *Hydrogeologia regionalna Polski* t. 2.
- Fistek, J. 1977. Szczawy Kotliny Kłodzkiej i Gór Bystrzyckich. *Biul. Geol. UW* t. 22, s. 61–111.
- Fistek, J. 1989. Rola uskoku Pstrążna – Gorzanów w kształtowaniu warunków hydrogeologicznych SW obrzeżenia synklinorium śródsudeckiego. *Prace Nauk. Inst. Geotech. PWr* Nr 58, seria: Konferencje nr 29, s. 362–368.
- Graniczny, M. 1994. *Strefy nieciągłości tektonicznych w świetle korelacji wielotematycznych danych geologicznych na przykładzie Żarnowca i Ziemi Kłodzkiej*. Warszawa: PIG.
- Kanasiewicz, J. i Sylwestrzak, H. 1970. Zależność między przebiegiem głębokich stref tektonicznych a rozmieszczeniem złóż endogenicznych w Sudetach. *Przegląd Geologiczny* t. 18, nr 5, s. 219–221.

- Kielczawa, B. 2001a. Wybrane zagadnienia chemizmu wód kredowego piętra wodonośnego rowu górnej Nisy Kłodzkiej, [w:] Współczesne Problemy Hydrogeologii X, t. 1, Wrocław, s. 321–327.
- Kielczawa, B. 2001b. *Wody zmineralizowane Gorzanowa*. Praca doktorska, Wydział Górniczy PW, Raporty Inst. Gór. Ser. PRE nr 9, Politechnika Wroclawska, s. 1–167.
- Leśniak, P. i Nowak, D. 1993. Water-rock interaction in some mineral waters in the Sudetes, Poland: implications for chemical geothermometry. *Annales Societatis Geologorum Poloniae* Vol. 63.
- 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. i Kielczawa, B. 2009. Wody termalne w rejonie Ziemi Kłodzkiej – wystąpienia udokumentowane i perspektywiczne. *Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównoważony Rozwój* R. 48, z. 2, s. 101–110.
- Michniewicz, M. 1981. Próba interpretacji wczesnych etapów tektogenezy Sudetów w nawiązaniu do teorii diapiryzmu wgłębnego oraz koncepcji głębokich rozłamów. *Geologia Sudetica* Vol. 16, No. 2, s. 75–141.
- Plewa, S. 1994. *Rozkład parametrów geotermalnych na obszarze Polski*. Kraków: Wyd. CPPGSMiE PAN.
- Plewa, M. (red.) 1996. Badania ciepła radiogenicznego skał krystalicznych i osadowych obszaru sudeckiego. *Prace Geol.* nr 141, Kom. Nauk. Geol. PAN, Kraków.
- Porowski, A. 2007. Sens i znaczenie badań geotermometrycznych w poszukiwaniach wód termalnych o niskiej entalpii. *Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównoważony Rozwój* R. 46, nr 2, s. 69–77.
- Porowski, A. i Dowgiałło, J. 2009. Application of selected geothermometers to exploration of low-enthalpy thermal water: the Sudetic Geothermal Region in Poland. *Environ. Geol.* 58, s. 1629–1638.
- Požaryski, W. 1975. Interpretacja geologiczna wyników głębokich sondowań sejsmicznych na VII profilu międzynarodowym. *Przegląd Geologiczny* t. 23, nr 4, s. 163–171.
- Przylibski, T.A. (red.) 2007. *Studium możliwości rozpoznania nowych wystąpień wód zmineralizowanych, swoistych i termalnych na obszarze Bloku Przed-sudeckiego*. Instytut Górnictwa, Politechnika Wroclawska.

GEOTHERMAL CONDITIONS IN THE ŁĄDEK-ZDRÓJ AREA

ABSTRACT

In terms of geothermal conditions recognition, as well as the geothermal waters, the Sudeten region can be classified as poorly identified. This is due to the complexity of the geological conditions of the whole unit and, on the other hand, from the lack of deep boreholes that recognize such deposits within the Sudetes. Recognizing the geothermal conditions of an area, it is important to locate areas characterized by increased parameters of the rock's thermal conductivity, surface heat flow or temperature gradient. These areas are often accompanied by the occu-

rence of geothermal waters which confirm anomalous, prospective geothermal conditions on a local scale. Most often, these waters move through deep-circulation systems using deep dislocation with the nature of tectonic zones. The Łądek-Zdrój geothermal waters are associated with the intersection of the Karkonosze and Moravia-Silesia splits zone.

KEYWORDS

Sudety Mts., Łądek-Zdrój, geothermal waters, geothermometers

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: Konstantynów Łódzki, Poddębice, Sochaczew, Łądek-Zdrój.

