

Otwór geotermalny LZT-1 w Łądku-Zdroju – obiecujący potencjał, niewykorzystane możliwości

Barbara Kielczawa¹, Mirosław Wąsik², Karolina Szostak¹, Marek Rasala³, Wojciech Ciężkowski¹



B. Kielczawa



M. Wąsik



K. Szostak



M. Rasala



W. Ciężkowski

Borehole LZT-1 in Łądek-Zdrój – promising potential, hidden opportunities. *Prz. Geol.*, 71: 174–181; doi: 10.7306/2024.6

Abstract. In the years 2018–2019, in Łądek-Zdrój, about 700 metres northwest of the existing thermal water intakes, a well was drilled to a depth of 2.5 km. The investor was the Municipality of Łądek-Zdrój and the well is located within the mining area designated for the structure of therapeutic thermal waters. The article presents the results of the work and research conducted (petrographic, thermal conductivity and permeability of rocks, concentration of radioactive elements, physicochemical properties of water, pumping test, etc.). Potentially, the well's discharge rate could be approximately 60 m³/h with a depression of about 70 metres. During the pumping test, the impact of the LZT-1 well on the spa intakes was observed. As a result, complete hydrodynamic tests were not performed, and the exploitable resources of this intake were not determined. The temperature at the bottom of the heated (period of time once mud circulation has stopped) well is 58.9°C, and the water exhibits properties similar to the therapeutic thermal waters used in the health resort. Long-term observations and studies of the regime of the Łądek-Zdrój thermal water deposit show that the development of optimal operating parameters for the LZT-1 well and spa intakes would make it possible to increase in the total amount of extracted water by approximately 25%, as well as with a higher temperature. This would enable the utilization of the heat from all intakes. Unfortunately, the well remains unused to this day.

Keywords: thermal waters, Sudety Mts., Łądek-Zdrój, deep drilling, crystalline rocks, water-bearing capacity

Łądek-Zdrój jest jednym z najstarszych i najlepiej znanych uzdrowisk w Polsce. Przez wieki były w nim wykorzystywane wody termalne wypływające z 6 źródeł, a od 1973 r. również wody ujmowane z otworu L-2. Na przełomie lat 2018 i 2019 wykonano w Łądku-Zdroju otwór LZT-1, najgłębszy (2500 m) w polskich Sudetach, którym rozpoznano głęboki system krążenia wód termalnych oraz mechanizm kształtowania się ich chemizmu w trakcie migracji ku strefom drenażu. Celem artykułu jest przedstawienie wyników badań prowadzonych po odwierceniu tego otworu, głównie dotyczących możliwości jego zagospodarowania i potencjału zasobowego złoża wód termalnych Łądku-Zdroju.

ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ

Sudety stanowią najbardziej na północ wysuniętą część masywu czeskiego i należą do waryscyjskiej jednostki geologicznej, która podczas orogenezy alpejskiej została podzielona przez głębokie rozłamy tektoniczne na mniejsze kry i bloki strukturalne. Rozłamy te uwarunkowały roz-

wój stref aktywności wulkanicznej na tym obszarze (Oberc, 1972; Żelaźniewicz i in., 2011). W wyniku tych procesów w Sudetach uformowały się liczne złoża szczaw, wód kwasowęglowych, mineralnych i termalnych. Są one wykorzystywane m.in. w miejscowościach Janské Lázně, Jelenia Góra-Cieplice, Karpniki, Łądek-Zdrój, Bludov i Velké Losiny (Dowgiałło, 1976; Franko, Kolářová, 1985; Ciężkowski, 1990; Janoška, 2011).

Rejon Łądku-Zdroju leży w granicach metamorfiku Łądku i Śnieżnika, który stanowi część kopuły orlicko-śnieżnickiej. Kopuła orlicko-śnieżnicka jest jednostką tektoniczną Sudetów Zachodnich wysuniętą najdalej na wschód. Na wschodzie sięga ona do pasma Starého Města, przez które przebiega nasunięcie nyznerowskie, oddzielające ją od jednostek morawsko-śląskich (Żelaźniewicz, Aleksandrowski, 2008; Żelaźniewicz i in., 2011). Jednostka ta obejmuje pasma górskie otaczające rów górnej Nysy Kłodzkiej, w tym Góry Złote i Masyw Śnieżnika. Jej wewnętrzną część wypełniają para- i ortognejsy, tzw. gnejsy śnieżnickie i gierałtowskie. Występują one w wielu odmianach,

¹ Politechnika Wroclawska, Katedra Górnictwa, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50–370 Wrocław; barbara.kielczawa@pwr.edu.pl, karolina.szostak@pwr.edu.pl; ORCID ID: B. Kielczawa – 0000-0003-1514-8641, K. Szostak – 0009-0000-7878-0164

² Uniwersytet Wroclawski, Instytut Nauk Geologicznych, ul. Cybulskiego 34, 50–205 Wrocław; miroslaw.wasik@uwr.edu.pl; ORCID ID: 0000-0003-0894-1553

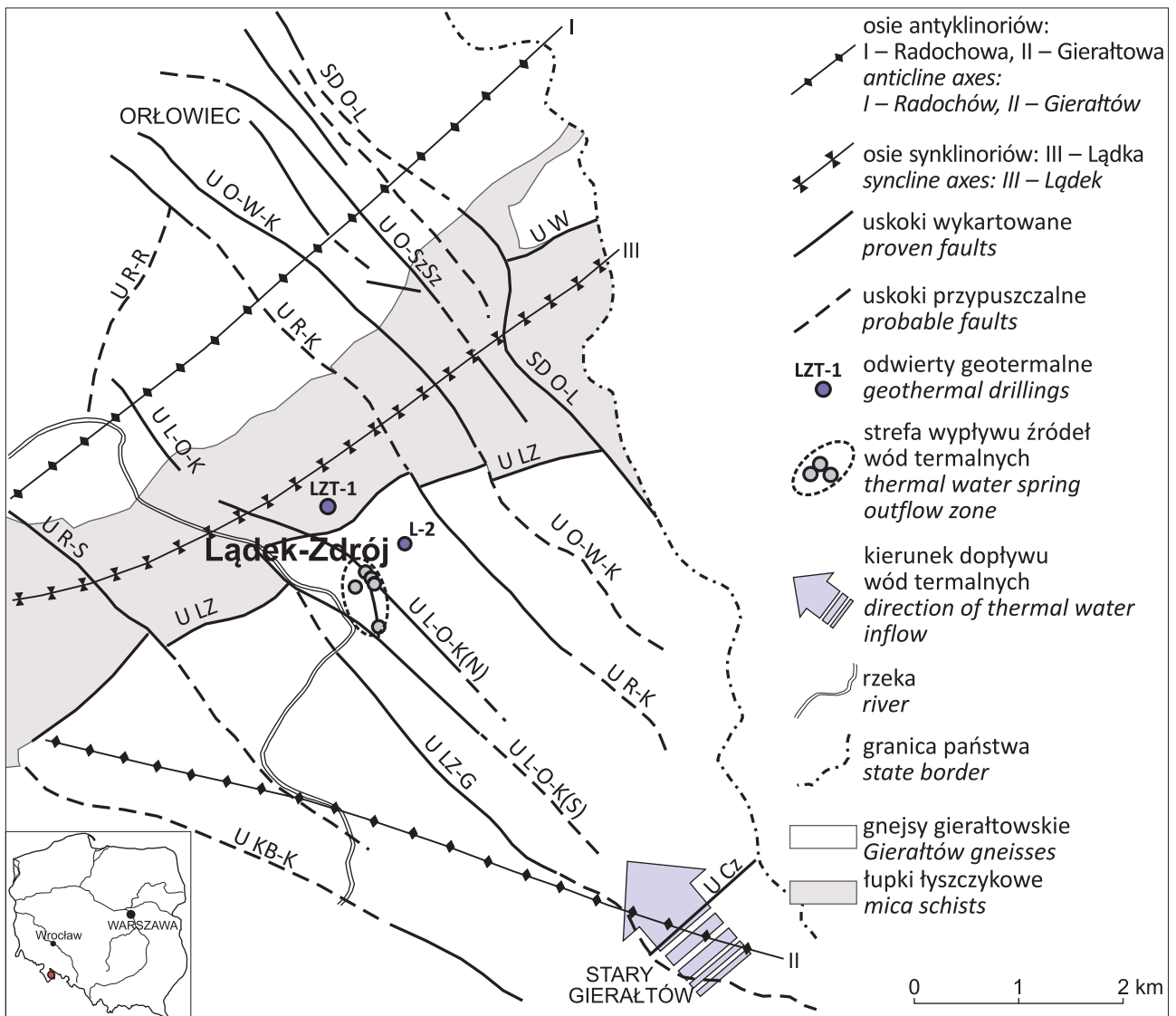
³ Hydro-Geo-term, Poznań; mrasala@interia.pl; ORCID ID: 0000-0002-7284-8970

od gnejsów biotytowych, migmatycznych, gruboziarnistych oczkowych po gnejsy warstwowane i smużyste. Gnejsy gierałtowskie są przeważnie drobnokrystaliczne o barwie szarej i składzie chemicznym odpowiadającym leukokratycznym granitom wzbogaconym w potas. Są one przełamane z tzw. serią strońską, do której należą łupki łyszczkowe, paragnejsy, wapienie krystaliczne (marmury), amfibolity i łupki amfibolitowe (ryc. 1). Serie tych skał przecinają neogeńskie intruzje bazaltów nefelinowych. We wschodniej części kopuły występują skały zmetamorfizowane w warunkach facji granulitowej i eklogitowej.

Gruboblastyczne gnejsy orlicko-śnieżnickie mają teksturę soczewkową lub też oczkową. W skałach tych grano-

blasty kwarcowo-skaleniove lub mikroklinowe są otoczone łyszczkami (Gierwielaniec, 1970; Don i in., 2003). Wydatowano je na 514–490 Ma. Towarzyszą im łupki łyszczkowe, amfibolity i leptynity (metaryolity) datowane na ok. 520–500 Ma (Żelaźniewicz i in., 2011). W czasie orogenezy waryscyjskiej w skały te wniknęła magma granitoidowa. W profilach otworów L-2 oraz LZT-1 stwierdzono także żyłowe wystąpienia lamprofirów.

Efektom alpejskiej aktywności tektonicznej są w rejonie Łądka-Zdroju cztery kopuły bazaltowe (Don i in., 2003). Obszar ten charakteryzuje się silnym zaangażowaniem tektonicznym i obecnością uskoków o biegu zgodnym z tzw. kierunkiem sudeckim (NW-SE) i o płaszczyznach stromo



Ryc. 1. Lokalizacja otworu LZT-1 na tle budowy geologicznej wschodniej części ziemi kłodzkiej (na podst. Gierwielanica, 1968, 1970): SD O-L – system dyslokacyjny Orłowiec–Lutynia, U O-SzSz – uskok Orłowiec–Szwedzkie Szańce, U O-W-K – uskok Orłowiec–Wojtówka–Karpno, U R-K – uskok Rasztowiec–Karpno, U L-O-K – uskok Łądek–Orłowiec–Karpno (N), uskok Łądek–Orłowiec–Karpno (S), U LZ-G – uskok Łądek-Zdrój–Gierałtów, U O-Sz – uskok Radochów–Stójków, U KB-K – uskok Kąty Bystrzyckie–Kłóbka, U R-R – uskok Rasztowiec–Radochów, U W – uskok Wrzosówki, U LZ – uskok Łądek-Zdroju, U Cz – uskok Czepinka

Fig. 1. Location of the LZT-1 borehole at the background of geological setting of E part of Kłodzko region (based on: Gierwielaniec, 1968, 1970): SD O-L – Orłowiec–Lutynia Dislocation System, U O-SzSz – Orłowiec–Szwedzkie Szańce Fault, U O-W-K – Orłowiec–Wojtówka–Karpno Fault, U R-K – Rasztowiec–Karpno Fault, U L-O-K – Łądek–Orłowiec–Karpno (N) Fault, Łądek–Orłowiec–Karpno (S) Fault, U LZ-G – Łądek-Zdrój–Gierałtów Fault, U O-Sz – Radochów–Stójków Fault, U KB-K – Kąty Bystrzyckie–Kłóbka Fault, U R-R – Rasztowiec–Radochów Fault, U W – Wrzosówka Fault, U LZ – Łądek-Zdrój Fault, U Cz – Czepinek Fault

nachylonych ku NE (50°–61°). Strefom dyslokacyjnym towarzyszą wystąpienia neogénskich bazaltów (Birkenmajer i in., 2002; Don i in., 2003).

Główne zespoły spękań skał metamorficznych mają orientację podobną do uskoków. Płaszczyzny spękań układają się w dwóch zasadniczych kierunkach: NW-SE oraz NE-SW i najczęściej są stromo nachylone. Ponadto występują nieliczne szczeliny tektoniczne tnące utwory krystaliczne południkowo.

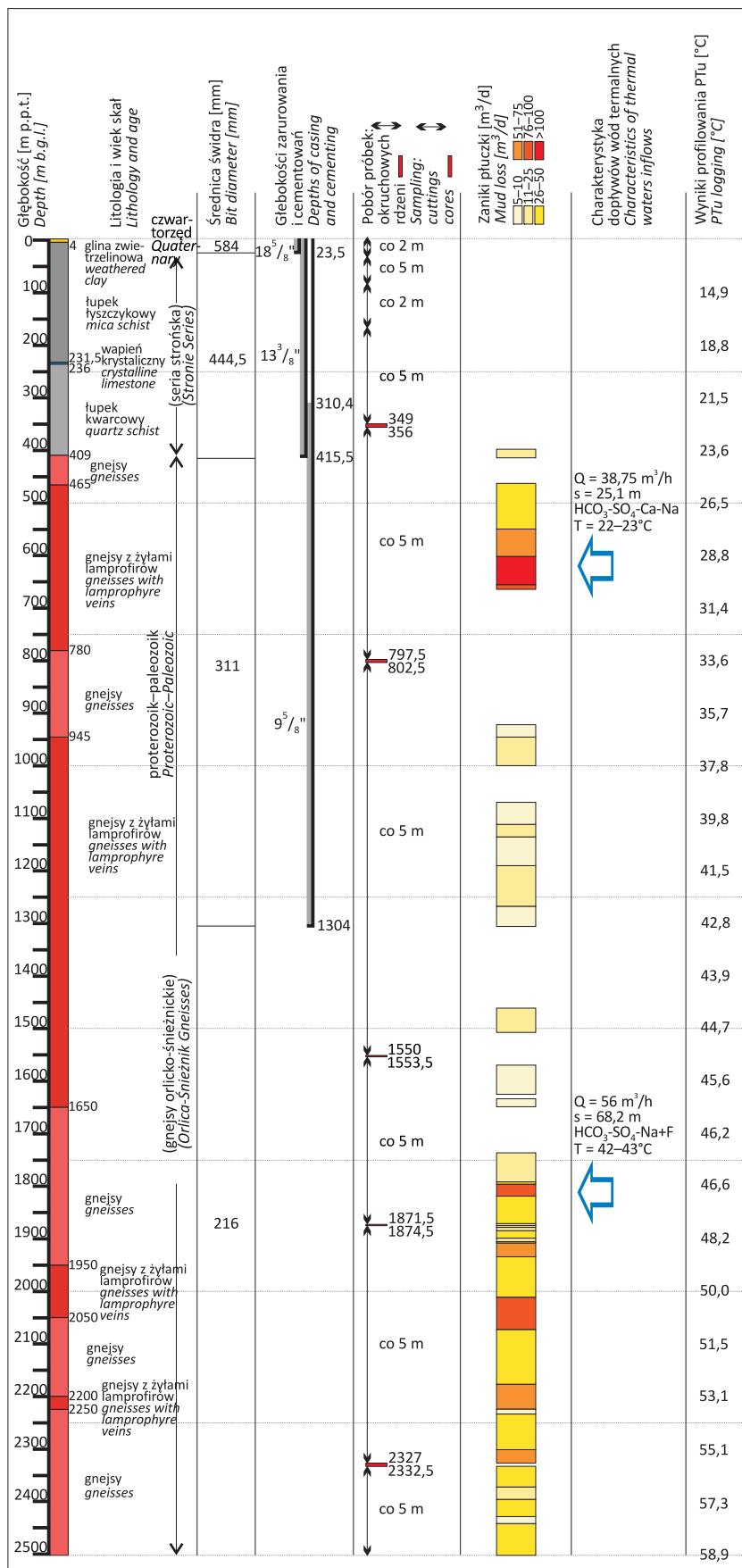
Na proterozoiczno-paleozoicznych łupkach i gnejsach leżą niezgodnie neogénskie mułki oraz piaski zwietrzelinowe. Czwartorzędowe serie osadowe wypełniają przeważnie doliny rzeczne.

WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

W metamorfiku Łądka i Śnieżnika wody podziemne występują w trzech wzajemnie powiązanych strefach. Pierwsza od powierzchni ziemi obejmuje aluwia i pokrywy zwietrzelinowe, druga – partie masywu krystalicznego z gęstą siecią spękań, a najgłębsza lite, słabo spękane skały krystaliczne (Staško, 2002, 2010; Staško, Tarka, 2002; Kryza, 2012).

Wody termalne Łądka-Zdroju co najmniej od średniowiecza były pobierane z sześciu źródeł: *Chrobry, Dąbrówka, Jerzy, Skłodowska-Curie, Stare i Wojciech*, znajdujących się na wysokości około 450 m n.p.m. Współcześnie są ujmowane z pięciu naturalnych wypływów (nie jest wykorzystywane źródło *Stare*) oraz z odwiertu L-2 (ryc. 1) o głębokości 700 m (Fistek, Szarszewska, 1975; Ciężkowski, Ciężkowski, 1982/1983). Pochodzą one z jednego złoża wód termalnych, a ich właściwości fizyczno-chemiczne ukształtowały się głównie na skutek kontaktu z gnejsami gierałowskimi (Ciężkowski, 1980; Ciężkowski i in., 2011).

Wydajność źródeł mieści się w przedziale od 0,7 m³/h (*Dąbrówka*) do 13,5 m³/h (*Jerzy*), w tym w większości nie przekracza 3,45 m³/h (*Skłodowska-Curie*). Nieco większy wydatek, około 15,1 m³/h, ma samowypływ z otworu L-2 (Liber-Makowska, 2011). Pomiędzy ujęciami termalnych wód Łądka-Zdroju, zwłaszcza pomiędzy źródłami *Wojciech* i *Skłodowska-Curie*, istnieją silne więzi hydrauliczne (Liber-Madziarz, 1997; Liber, 2001, 2009; Liber-Makowska, 2011). Co więcej, zmiany reżimu złoża wód termalnych wpływają na parametry eksploatacyjne ujęć wód zwykłych (Ciężkowski, 1978).



Ryc. 2. Zgeneralizowany profil litologiczny odwiertu LZT-1 oraz parametry wiercenia, zabudowa otworu, strefy zaniku płuczki i głębokość opróbowania (na podst. Rasała i in., 2019)

Fig. 2. Generalized lithological profile in the LZT-1 borehole and drilling parameters, casing design, mud loss zones, and sampling depths (based on Rasała et al., 2019)

ODWIERT GEOTERMALNY LZT-1 I METODYKA BADAŃ

W latach 2018–2019 w odległości ok. 700 m na NW od dotychczasowych ujęć wód termalnych w Łądku-Zdroju wykonano odwiert LZT-1 (ryc. 2) o głębokości 2500 m (Rasała i in., 2019). W trakcie wiercenia pobrano łącznie 20 m rdzenia oraz próbki okruchowe skał – w sumie 538 próbek skalnych. Fragmenty rdzenia wykorzystano do:

- ❑ badań petrograficznych z użyciem mikroskopu polaryzacyjnego;
- ❑ oznaczenia przepuszczalności metodą przepuszczalności gazowej (względem azotu);
- ❑ badań przewodnictwa cieplnego metodą ustalonego przepływu ciepła;
- ❑ oznaczenia koncentracji pierwiastków promieniotwórczych trójkanałowym spektrometrem promieniowania gamma.

Skład mineralny skał określono metodą dyfrakcji rentgenowskiej (XRD). Próbkę skał pobrane z różnych odcinków rdzenia otworu LZT-1 wykorzystano do pomiarów przewodnictwa cieplnego skał w temperaturze 25°C. Badaniom poddano próbki suche (suszone 12 godzin w temperaturze 105°C) i po nasyceniu wodą destylowaną, co umożliwiło oszacowanie intensywności wymiany ciepła – parametru kluczowego dla projektowania otworowych wymienników ciepła (Gonet i in., 2011). Fragmenty rdzenia wykorzystano także do oznaczenia parametrów hydrogeologicznych ośrodka wodonośnego.

Podczas wiercenia otworu wykonano w nim badania geofizyczne, a po osiągnięciu jego docelowej głębokości dokonano pomiarów umożliwiających charakterystykę parametrów technicznych (średnica i krzywizna otworu) oraz litologiczno-złożowych. Gdy osiągnięto równowagę termiczną otworu (po 10-dniowej stabilizacji) w interwale 0–2500 m wykonano profilowanie temperaturowe.

Otwór LZT-1 zabudowano trzema kolumnami stalowych rur okładzinowych, w przelotach głębokości kolejno od 0 do 23,5 m p.p.t. (zacementowane do powierzchni), od 0 do 415,5 m p.p.t. (zacementowane do powierzchni) oraz od 310,4 do 1304 m p.p.t. (zacementowane na całej długości). Poniżej głębokości 1304 m p.p.t. otwór jest niezabudowany.

Technika wiercenia otworu LZT-1 (obrotowa na prawy obieg płuczki) uniemożliwiła prowadzenie badań hydrogeologicznych podczas robót wiertniczych. W trakcie przewiercania utworów szczelinowych nie zaobserwowano dopływów wód do otworu. Zidentyfikowano natomiast strefy, w których zachodziły zaniki płuczki, niekiedy bardzo intensywne – osiągające 151 m³/d. Największe zaniki płuczki obserwowano na głębokości 652 i 1795 m p.p.t. (ryc. 2). Aby im zapobiec, uszczelniono ściany otworu za pomocą blokatorów węglanowych, szczególnie poniżej 1304 m p.p.t.

W celu oszacowania wielkości możliwych dopływów wód podziemnych i określenia ich charakterystyki fizyczno-chemicznej po przewierceniu stref zaniku płuczki przeprowadzono próbne pompowania. Kolejne pompowania otworu wykonano po zakończeniu wiercenia i badań geofizycznych (profilowania temperatury). Pod koniec pompowań z głębokości 415,5–664,0, 1304–1795 oraz 1304–2500 m p.p.t. pobrano próbki wody w celu wykonania analiz fizyczno-chemicznych, w tym oznaczenia składu izo-

topowego, stężenia aktywności radonu oraz zawartości siarczków.

Po zakończeniu wiercenia i badań geofizycznych w interwale 1304–2500 m p.p.t. wykonano pompowania oczyszczające otwór LZT-1. Łącznie przeprowadzono 14 cykli krótkich pompowań z maksymalną wydajnością do 40 m³/h oraz ciągłe pompowanie z wydajnością 9,5 m³/h, trwające 37 godzin. W rezultacie niepełnego oczyszczenia otworu LZT-1 nie ustalono jego zasobów eksploatacyjnych. Następnie przeprowadzono pompowania badawcze otworu LZT-1 z wydajnością 10 m³/h i 5 m³/h, trwające odpowiednio 210 i 68 godzin.

WYNIKI BADAŃ

Geofizycznych

W profilu otworu LZT-1, na głębokości poniżej 1304 m p.p.t. wykryto kilka stref skał o większej porowatości, ze szczelinami i spękaniami, z których może następować dopływ wód do otworu. Główne strefy spękanych skał występują w interwałach: 1470–1510, 1540–1560, 1670–1680, 1830–1840 oraz 2170–2180 m p.p.t. Ponadto w licznych interwałach otworu LZT-1 stwierdzono powiększenie jego nominalnej średnicy, a także odchylenie od pionu. Spąg otworu znajduje się w odległości 48,26 m od wytyczonej osi otworu (azymut 117,16°).

Petrologicznych

W profilu litologicznym otworu LZT-1 (ryc. 2, tab. 1) występują utwory serii strońskiej oraz typowe dla tego obszaru gnejsy gierałtowskie (Gierwielanec, 1968, 1970). Skały te są zaangażowane tektonicznie i w związku z tym silnie spękanne (Rasała i in., 2019).

Na podstawie wyników analizy mikroskopowej materiału rdzeniowego oraz próbek okruchowych (metoda dyfrakcji rentgenowskiej XRD) stwierdzono, że gnejsy metamorfiku Łądko-Śnieżnika są produktem metamorfizmu regionalnego facji amfibolitowej. Ich głównymi składnikami są kwarc i skalenie – plagioklasy i skalenie potasowe (tab. 2). W próbkach łupków kwarcowych i gnejsów z profilu otworu LZT-1 stężenie potasu (K) mieści się w przedziale od 2,85 do 4,14%, uranu (U) od 2,31 do 5,46 ppm i toru (Th) od 9,14 do 17,93 ppm. Zawartość K i U zmniejsza się wraz z głębokością, a toru zwiększa. Najmniejsze stężenie K i U stwierdzono na głębokości 2331 m p.p.t. Wartości współczynnika przewodności cieplnej próbek suchych tych skał zmieniają się od 1,84 do 2,91 W/mK, a próbek nasyconych wodą od 2,35 do 3,25 W/mK. Najmniejszą przewodnością cieplną charakteryzują się gnejsy występujące na głębokości 2331 m p.p.t. (tab. 3).

Na podstawie wyników profilowania temperaturowego otworu stwierdzono, że na jego dnie panuje temperatura 58,9°C. Wody dopływające do otworu na głębokości ok. 240 m mają temperaturę 20°C. Wody o takiej temperaturze nawiercono także w ujęciu L-2 na głębokości 150 m p.p.t. (Liber-Madziarz, 1997). W profilu otworu LZT-1 w przedziale głębokości 100–2500 m nastąpił przyrost temperatury o 44°C – stopień geotermiczny wynosi zatem 54,5 m/°C, a gradient geotermiczny 1,83°C/100 m (Rasała i in., 2019). Uśredniona wartość strumienia cieplnego w ośrodku nasycionym wynosi 50,84 mW/m².

Wartości współczynnika przepuszczalności litych, nierozsyplywych gnejsów (<0,001 mD) i łupków kwarcowych (<0,04 mD) wskazują, że skały te są nieprzepuszczalne.

Hydrogeologicznych

W wyniku próbných pompowań otworu LZT-1, przeprowadzonych w strefach intensywnych zaników płuczki,

z kilku interwałów uzyskano przyplwy wód podziemnych do otworu. Z interwału 415,5–664 m p.p.t. nastąpił dopływ 38,75 m³/h wody o temperaturze na wypływie 22–23°C, przy nieustalanej depresji 25,1 m. Większą wydajność uzyskano ze skał na głębokości 1304–1795 m p.p.t. – 56 m³/h wody o temperaturze 43,2°C na wypływie. Nie stwierdzono, aby pompowanie płytszej z tych stref oddziaływało na wydajność naturalnych wypływów wód

Tab. 1. Profil litologiczno-stratygraficzny otworu LZT-1 (wg Rasała i in., 2019)

Table 1. Lithologic and stratigraphic profile of the LZT-1 borehole (after Rasała et al., 2019)

Głębokość od powierzchni terenu [m] <i>Depth from the ground surface [m]</i>	Litologia <i>Lithology</i>	Seria skalna <i>Rock series</i>	Wiek skał <i>Rock age</i>
0,0–4,0	glina zwietrzelinowa <i>weathered clay</i>	osady pokrywowe <i>cover sediments</i>	Q
4,0–236,0	łupki łyszczkowe z wkładką wapieni krystalicznych <i>mica schists with an intercalation of crystalline limestone</i>	seria strońska <i>Stronie series</i>	Pt–Pz
236,0–409,0	łupki kwarcowe <i>quartz schists</i>		
409,0–1090,0	gnejsy szare z żyłami lamprofirów <i>grey gneisses with lamprophyre veins</i>	seria gieraltowska <i>Gieraltów series</i>	
1090,0–1950,0	gnejsy różowo-szare <i>pink-grey gneisses</i>		
1950,0–2500,0	gnejsy szare z żyłami lamprofiru <i>grey gneisses with lamprophyre veins</i>		

Objaśnienia / Explanations: Q – czwartorzęd / *Quaternary*; Pz–Pt – paleozoik–proterozoik / *Paleozoic–Proterozoic*

Tab. 2. Skład mineralny gnejsów (wg Rasała i in., 2019)

Table 2. Mineral composition of gneisses (after Rasała et al., 2019)

Głębokość [m] <i>Depth [m]</i>	Q [%]	Pl [%]	K [%]	C [%]	M [%]	Ch [%]	Am [%]	Cpx [%]
560	29	15	3	1	36	12		4
1495	14	51	8	9	15	3		
1965	23	24	5	1	38	6	2	
2220	12	17	8		25	25	15	
2500	28	25	11		29	29		

Objaśnienia / Explanations: Q – kwarc / *quartz*; Pl – plagioklaz / *plagioclase*; K – skałen potasowy / *K-feldspar*; C – kalcyt / *calcite*; M – minerały z grupy mik lub illitu / *minerals from the mica or illite group*; Ch – minerały z grupy chlorytów / *minerals from the chlorite group*; Am – amfibol jednoskośny / *monoclinic amphibole*; Cpx – piroksen jednoskośny / *monoclinic pyroxene*

Tab. 3. Przewodność cieplna skał (wg Rasała i in., 2019)

Table 3. Thermal conductivity of rocks (after Rasała et al., 2019)

Głębokość [m] <i>Depth [m]</i>	Litologia <i>Lithology</i>	Współczynnik przewodności cieplnej [W/mK] <i>Thermal conductivity coefficient [W/mK]</i>	
		próbka sucha <i>dry sample</i>	próbka nasycona <i>saturated sample</i>
352,5	łupki kwarcowe / <i>quartz schists</i>	2,40	2,40
802	gnejsy / <i>gneisses</i>	2,91	3,12
1553,5	gnejsy / <i>gneisses</i>	2,82	3,25
1876,5	gnejsy / <i>gneisses</i>	2,33	2,77
2331	gnejsy / <i>gneisses</i>	1,84	2,35

Tab. 4. Charakterystyka pompowań wykonanych w otworze LZT-1
Table 4. Characteristics of pumping tests performed in the LZT-1 well

Interwał otworu [m p.p.t.] Drill hole interval [m b.g.s.]	Data Date	Rodzaj pompowania Type of pumping	Q [m ³ /h]	Depresja Depression [m]	Czas pompowania Pumping time [h]	Stabilizacja zwierciadła wody Stabilization of water table	Temperatura wody na wypływie Water temperature at the outflow [°C]
415,5–664	18–21.11. 2018	badawcze / <i>searching</i>	17,4	6,6	38	nie / <i>no</i>	
		badawcze / <i>searching</i>	38,75	25,1	5	nie / <i>no</i>	22–23
1304–1795	24–26.01. 2019	badawcze / <i>searching</i>	21	15,5	6	nie / <i>no</i>	34–36
		badawcze / <i>searching</i>	56	68,2	25	tak / <i>yes</i>	43,2
1304–2500	15–16.03. 2019	oczyszczające (udary hydrodynamiczne) <i>cleansing (hydrodynamic shocks)</i>	40	262,9		nie / <i>no</i>	
		oczyszczające / <i>cleansing</i>	9,5	187	37	tak / <i>yes</i>	34,4
	20.03–01.04. 2019	badawcze / <i>searching</i>	10	195,3	210	tak / <i>yes</i>	37,4
		badawcze / <i>searching</i>	5	78,5	68	tak / <i>yes</i>	32,3

Objaśnienia / Explanations: Q – wydajność / *yield*

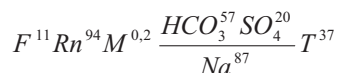
termalnych wykorzystywanych przez Uzdrawisko Łądek-Długopole S.A. ani też na wydajność otworu L-2, jednak pompowanie głębszej strefy spowodowało zmniejszenie wydajności otworu L-2 o około 13%. Po zakończeniu pompowań wydajność otworu L-2 powróciła do poprzedniego stanu. Organ nadzoru geologicznego województwa dolnośląskiego wydał wówczas decyzję, zgodnie z którą dopuszczono możliwość przeprowadzenia kolejnych pompowań w otworze LZT-1, ale pod warunkiem, że nie spowodują one zmniejszenia natężenia samowypływu z otworu L-2 o ponad 5%, to jest poniżej 14,25 m³/h.

Pompowania oczyszczające nie doprowadziły do pełnego udrożnienia dopływu wód podziemnych do otworu LZT-1; świadczą o tym duże depresje obserwowane w ich trakcie (tab. 4). Zabieg ten spowodował natomiast nieznaczne zmniejszenie wydajności otworu L-2, jednak nie przekroczyło ono 0,5% (Rasała i in., 2019).

Podczas pompowań badawczych otworu LZT-1, o wydajności 10 m³/h i 5 m³/h, trwających odpowiednio 210 i 68 godzin, uzyskano stabilizację depresji zwierciadła wody na głębokości 195,3 m i 78,5 m. Ze względu na spadek wydajności otworu L-2 o 5,13% pompowania te przerwano. Poziom zwierciadła wody w otworze LZT-1 ustalił się wówczas na głębokości 29,1 m p.p.t. Temperatura wody na wypływie w trakcie pompowań badawczych o wydajności 10 m³/h wynosiła 37,4°C, a w czasie pompowań o wydajności 5 m³/h – 32,3°C.

Ogólna mineralizacja wód termalnych z otworu LZT-1 (ok. 0,2 g/L) jest zbliżona do mineralizacji tych wód ze wszystkich pozostałych ujęć w Łądku-Zdroju (0,15–0,27 g/L). W składzie chemicznym tych wód dominują aniony HCO₃⁻ (57% meq) i SO₄²⁻ (20% meq) oraz kationy Na⁺ (87% meq). Wody te charakteryzują się znacznym udziałem jonów fluorkowych (11,1 mg/L) oraz podwyższoną aktywnością radonu (²²²Rn; około 94 Bq/L). Zgodnie ze skróconą for-

mułą Kurlowa wzór wody z otworu LZT-1 przyjmuje postać:



gdzie:

F – stężenie jonu fluorkowego [mg/L];

Rn – stężenie aktywności radonu [Bq/L];

M – ogólna mineralizacja wody [g/L];

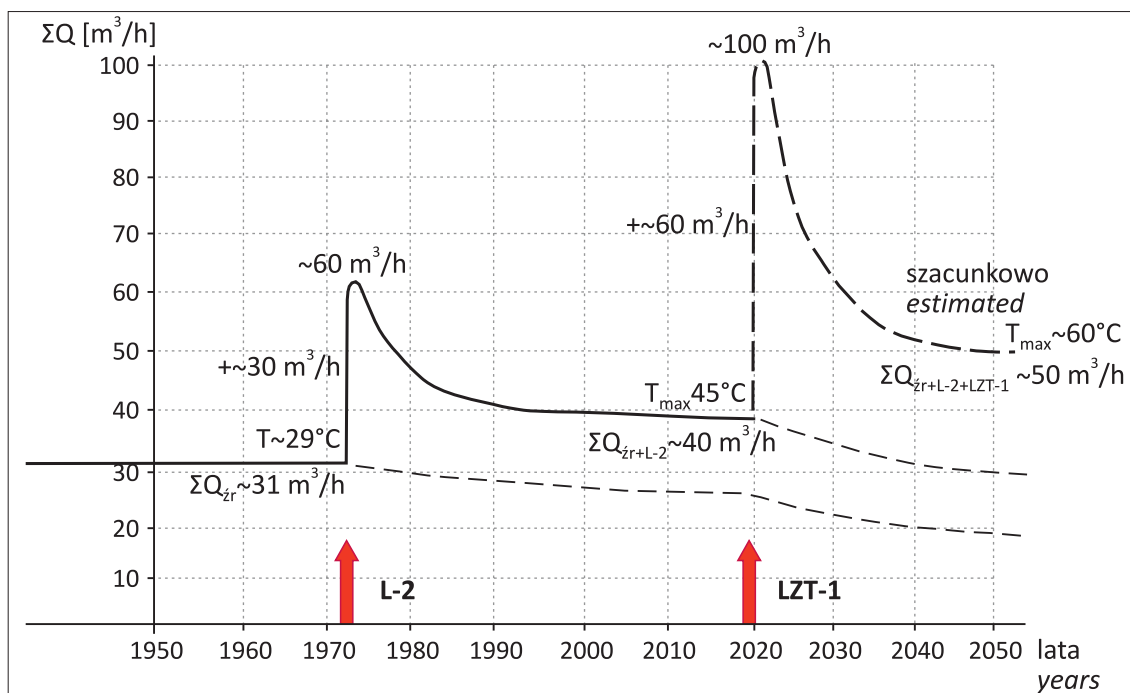
T – temperatura wody na wypływie z opróbowanego przedziału głębokości [°C].

Wody z otworu LZT-1, podobnie jak ze wszystkich pozostałych ujęć w Łądku-Zdroju, ze względu na podwyższoną zawartość jonów fluorkowych (*F*) i siarkowodoru (0,72 mg/L H₂S), a także stężenie aktywności radonu (²²²Rn) oraz temperaturę wody na wypływie wyższą od 20°C, są klasyfikowane jako lecznicze wody fluorkowe, siarczkowe, radonowe oraz termalne (Kiełczawa i in., 2021).

WYDAJNOŚĆ UJĘĆ WÓD TERMALNYCH W ŁĄDKU-ZDROJU

Wody termalne ze wszystkich ujęć w Łądku-Zdroju pochodzą, jak już wspomniano, z jednego złoża (Ciężkowski, 1980, 1990). Ciekawie przedstawia się w tym kontekście zmienność w czasie ilości wód eksploatowanych przez uzdrowisko. Do początku lat 70. XX w. wody te wypływały z sześciu źródeł. Ich sumaryczna wydajność nie ulegała znaczącym zmianom od pierwszych udokumentowanych pomiarów przez cały XIX w. (Ciężkowski, Ciężkowski, 1982/1983). W latach 1955–1972 wynosiła ona 522 dm³/min, tj. ok. 31,3 m³/h (ryc. 3), przy czym temperatura wody nie przekraczała 29°C (Ciężkowski, 1980).

W 1973 r. zakończono wiercenie nowego, siódmego ujęcia wody termalnej w Łądku-Zdroju – L-2 (*Zdzisław*).



Ryc. 3. Dotychczasowe i prognozowane sumaryczne zasoby eksploatacyjne ujęć termalnych wód leczniczych Łądek-Zdroju
 Fig. 3. The current and forecasted total operational resources of intakes of thermal medicinal waters of Łądek-Zdrój

W trakcie wiercenia wydajność samowypływu wód wynosiła aż $180 \text{ m}^3/\text{h}$, a ich temperatura wzrosła do 45°C (Fistek, Szarszewska, 1975). W 1976 r. rozpoczęto eksploatację otworu L-2 – początkowo z wydajnością $30 \text{ m}^3/\text{h}$. Sumaryczna wydajność wszystkich ujęć wzrosła wtedy do około $60 \text{ m}^3/\text{h}$. Po ośmiuset dobach eksploatacji wydajność naturalnych wypływów wód ze źródeł zmniejszyła się o 10–27%, a z odwiertu L-2 o 25% (Ciężkowski, 1979).

Na podstawie równania E. Mailleta (Castany, 1972, Wieczysty, 1982) wyliczono wówczas, że po 800 dobach sumaryczna wydajność ujęć wód termalnych Łądek-Zdroju ustabilizuje się na poziomie $45,3 \text{ m}^3/\text{h}$ (Ciężkowski, 1980). Wedle wyników pomiarów prowadzonych w latach 1981–2004 (8300 dób) wydajność ta ustabilizowała się na poziomie $39,6 \text{ m}^3/\text{h}$ (Liber, 2009). Tak więc za sprawą eksploatacji otworu L-2 całkowite zasoby eksploatacyjne złoża wód termalnych Łądek-Zdroju zwiększyły się o ok. 22% i podniosła się ich temperatura – znacząca część wód ma obecnie temperaturę ok. 45°C .

W 2019 r. zakończono wiercenie w Łądku-Zdroju odwiertu LZT-1, ósmego ujęcia łądeckich wód. Przypuszczalnie można by było czerpać z niego około $60 \text{ m}^3/\text{h}$ wody, wytwarzając depresję około 70 m (ryc. 3). Temperatura na dzień wygrzanego otworu LZT-1 (po 10 dniach stabilizacji) wyniosła, jak już wspomniano, $58,9^\circ\text{C}$.

Ze względu na zaniki płuczki, spowodowane obecnością stref intensywnego spękania górotworu, w celu poprawy parametrów wiercenia modyfikowano właściwości płuczki, dodając do niej blokatory (Rasała i in., 2019). Można przypuszczać, iż wskutek tych zabiegów ograniczono bądź nawet fragmentarycznie zamknięto przyotworową strefę dopływu wód. W związku z tym oraz z powodu obserwowanego oddziaływania otworu LZT-1 na ujęcia uzdrowiskowe nie wykonano pełnych testów hydrodynamicznych. W rezultacie nie ustalono zasobów eksploatacyjnych tego ujęcia wód termalnych, a jego wydajność należy przyjmować tylko jako szacunkową i zaniżoną.

Teoretycznie włączenie do eksploatacji głębokiego odwiertu LZT-1 mogłoby, podobnie jak w przypadku odwiertu L-2, spowodować początkowo wzrost sumarycznej wydajności ujęć do ok. $100 \text{ m}^3/\text{h}$, która przez kolejnych 20–25 lat obniżyłaby się do ok. $50 \text{ m}^3/\text{h}$ (ryc. 3). Docelowo ilość wody wypływającej ze złoża wzrosłaby o ok. $10 \text{ m}^3/\text{h}$, tj. o ok. 25%. Możliwe byłoby zatem wykorzystywanie większej ilości wody termalnej.

Należy podkreślić, że temperatura wody z odwiertu LZT-1 byłaby niewątpliwie wyższa od temperatury wód obecnie eksploatowanych. Temperatura ok. 60°C , zmierzona na dzień nieoczyszczonego otworu LZT-1, sugeruje, iż po udrożnieniu strefy przyotworowej można by było uzyskać wody o jeszcze wyższej temperaturze. W tym celu należy oczyścić ściany otworu z blokatorów i wykonać kompleksowe, równoczesne badania hydrogeologiczne, obejmujące wszystkie ujęcia wód termalnych w Łądku-Zdroju – tzw. badania złożowe. Taki zakres badań umożliwiłby rozpoznanie stanu hydrodynamicznego całego złoża, co pozwoliłoby oszacować w nowych warunkach zasoby eksploatacyjne ujęć i parametry wód, przede wszystkim ich temperaturę.

ROZBIEŻNOŚĆ INTERESÓW WŁADZ GMINY I UZDROWISKA

Łądeckie wody termalne są wydobywane przez Uzdrowisko Łądek-Długopole S.A. na podstawie koncesji obejmującej obszar górniczy *Łądek-Zdrój 2*. Odwiert LZT-1 wykonano zgodnie z przepisami ustawy *Prawo geologiczne i górnicze* w granicach tego obszaru górniczego, w ramach prac poszukiwawczych i rozpoznawczych. Inwestorem była gmina Łądek-Zdrój. Wykonanie jakichkolwiek prac lub robót w tym odwiercie (takich jak np. oczyszczenie i aktywizacja stref dopływu), a także badania złożowe w kontekście jego oddziaływania na pozostałe łądeckie ujęcia, wymagają zgody organu nadzorującego eksploatację wód

lecniczych, tj. zgodę spółki uzdrowiskowej. I tu, niestety, pojawia się problem, ponieważ Zarząd Uzdrowiska Łądek-Długopole S.A. i jego rada nadzorcza nie są zainteresowane wykonaniem żadnej z wymienionych prac.

Mija właśnie pięć lat od wykonania odwiertu LZT-1 i nadal ani władze gminy Łądek-Zdrój, ani spółka uzdrowiskowa nie zagospodarowały potwierdzonych zasobów wód termalnych, choćby na potrzeby balneoterapii, rekreacji czy ciepłownictwa.

Rozbieżność interesów gminy i spółki blokuje rozwój całej miejscowości i jest dobitnym przykładem na to, że o koncesje na wydobywanie kopaliny leczniczych powinny się ubiegać nie tylko firmy, ale także władze samorządowe, które w przeciwieństwie do firm realizujących wyłącznie własne cele, optymalnie i kompleksowo gospodarowałyby zasobami wód.

WNIOSKI

Parametry fizykochemiczne wód doptywających do otworu LZT-1 są bardzo zbliżone do właściwości wód z pozostałych ujęć w Łądku-Zdroju. Skład chemiczny determinują stężenia jonów wodorowęglanowych (57% meq), siarczanowych (20% meq) i sodowych (87% meq). Zarówno obecność składników swoistych (fluorki, ^{222}Rn , H_2S), jak i podwyższona temperatura na wypływie ($37,4^\circ\text{C}$) kształtują właściwości lecznicze tych wód.

Ze względu na obserwowane oddziaływanie otworu LZT-1 na ujęcia uzdrowiskowe nie wykonano pełnych testów hydrodynamicznych, a w konsekwencji nie ustalono jego zasobów eksploatacyjnych.

Na podstawie dotychczas przeprowadzonych badań można tylko szacować jego wydajność na około $60\text{ m}^3/\text{h}$. Zmierzona na dnie wygrzanego otworu temperatura ($58,9^\circ\text{C}$) sugeruje, iż po udrożnieniu strefy przyotworowej, pobierana woda będzie miała znacznie wyższą temperaturę od wód wykorzystywanych w uzdrowisku.

Obecnie, kiedy coraz większego znaczenia nabierają ograniczanie emisji gazów cieplarnianych, zagospodarowanie odnawialnych źródeł energii, produkcja „zielonej” energii i gospodarowanie wodami w cyklu obiegu zamkniętego, z powodzeniem i korzyścią dla lokalnej społeczności można by było zagospodarować ciepło wód z wszystkich ujęć Łądku-Zdroju, zarówno uzdrowiskowych, jak i z odwiertu LZT-1. W przypadku miejscowości uzdrowiskowej wszystkie te zagadnienia nabierają szczególnego znaczenia.

Autorzy dziękują władzom gminy Łądek-Zdrój oraz władzom Uzdrowiska Łądek-Długopole S.A. za współpracę podczas badań, wymianę poglądów i doświadczeń. Prace badawcze zostały finansowane z subwencji Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, przyznanej Wydziałowi Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej na rok 2023.

LITERATURA

BIRKENMAJER K., PECSKAY Z., GRABOWSKI J., LORENC M.W., ZAGOŹDŻON P.P. 2002 – Radiometric dating of the Tertiary volcanics in Lower Silesia, Poland. II. K-Ar dating and paleomagnetic data from Neogene basanites near Łądek-Zdrój, Sudetes Mts. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 72: 119–129.
 CASTANY G. 1972 – Poszukiwanie i eksploatacja wód podziemnych. *Wyd. Geol.*, Warszawa.
 CIĘŻKOWSKI M., CIĘŻKOWSKI W. 1982/1983 – Źródła Łądku Zdroju. Historia i badania. *Balneol. Pol.*, 27 (1–4): 5–19.

CIĘŻKOWSKI W. 1978 – Hydrogeologia i hydrochemia wód termalnych Łądku Zdroju. Praca doktorska. *Inst. Geotech. Pol. Wroc.*, Komunikat nr 284.
 CIĘŻKOWSKI W. 1979 – Die Bestimmung der perspektivischen Vorräte des Heilwassers im Fall der Vornahme von einer zusätzlichen Bohrung. *Probl. Uzdrow.*, 7/8 (141–142): 185–189.
 CIĘŻKOWSKI W. 1980 – Hydrogeologia i hydrochemia wód termalnych Łądku-Zdroju. *Probl. Uzdrow.* 4 (150): 125–193.
 CIĘŻKOWSKI W. 1990 – Studium hydrogeochemii wód leczniczych Sudetów Polskich. *Pr. Nauk. Inst. Geotech. Pol. Wroc.*, 60, Monografie 19.
 CIĘŻKOWSKI W., LIBER-MAKOWSKA E., CIEKOT B., OGÓREK A. 2011 – Charakterystyka warunków występowania i eksploatacji wód termalnych Łądku-Zdroju. *Tech. Posz. Geol.*, 50 (1/2): 61–69.
 DON J., SKÁCEL J., GOTOWAŁA R. 2003 – The boundary zone of the East and West Sudetes on the 1:50 000 scale geological map of the Velké Vrbno, Staré Město and Šniežnik Metamorphic Units. *Geol. Sudet.*, 35: 25–59.
 DOWGIAŁŁO J. 1976 – Wody termalne Sudetów. *Acta Geol. Pol.*, 26 (4): 617–643.
 FISTEK J., SZARSZEWSKA Z. 1975 – Nowe ujęcie wody termalnej w Łądku Zdroju. *Przewodnik XLVII Zjazdu PTG*, Warszawa: 259–262.
 FRANKO O., KOLÁŘOVÁ M. 1985 – Explanations to the Map of Mineral Waters in Czechoslovakia, 1: 500 000. *Dionýz Štúr Institute of Geology – Central Institute of Geology, Bratislava–Praha*.
 GIERWIELANIEC J. 1968 – Objasnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Sudetów 1:25000, arkusz Łądek-Zdrój. *PIG*, Warszawa.
 GIERWIELANIEC J. 1970 – Z geologii Łądku-Zdroju. *Pr. Nauk. Inst. Geotech. Pol. Wroc.*, nr 5, *Studia i Materiały*, 5: 1–43.
 GONET A., ŚLIWA T., STRYCZEK S., SAPIŃSKA-ŚLIWA A., JASZCZUR M., PAJAŁEK L., ZŁOTKOWSKI A. 2011 – Metodyka identyfikacji potencjału cieplnego górotworu wraz z technologią wykonywania i eksploatacji otworowych wymienników ciepła. *Wydawnictwa AGH, Kraków*.
 JANOŠKA M. 2011 – Minerální prameny v Čechách, na Moravě a ve Slezsku. *Academia, Praha*: 495.
 KIEŁCZAWA B., CIĘŻKOWSKI W., WĄSIK M., RASAŁA M. 2021 – Hydrochemical characteristics of thermal water reservoir in Łądek-Zdrój in light of research into the borehole LZT-1 – the deepest borehole in the Sudetes (SW Poland). *Energies*, 14: 1009; <https://doi.org/10.3390/en14041009>
 KRYZA J. 2012 – Ujęcia wód podziemnych w masywie sudeckim. [W:] Dąbrowski S., Przybyłek J. (red.), *Ocena prognoz zasobów eksploatacyjnych poprzez porównanie szacunków zasobowych z wynikami długotrwałej eksploatacji ujęć wód podziemnych (studium metodyczne)*. *Min. Środ.*, Warszawa.
 LIBER E. 2001 – Zmienność wydajności ujęć wód leczniczych eksploatowanych samoczynnie ze złóż sudeckich. Praca doktorska. *Raporty Inst. Gór. Ser. PRE nr 3*, Politechnika Wrocławska, Wrocław.
 LIBER E. 2009 – Charakterystyka opróżniania zbiornika wód szczelinowych głębokiego krążenia na przykładzie złoża wód termalnych Łądku-Zdroju. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 436: 317–322.
 LIBER-MADZIARZ E. 1997 – Charakterystyka wydajności ujęć wód termalnych Łądku Zdroju. [W:] *Współczesne problemy hydrogeologii*, t. 8. *Wyd. WIND*, Wrocław: 357–360.
 LIBER-MAKOWSKA E. 2011 – Dynamiczne oddziaływanie pomiędzy ujęciami wód termalnych Łądku-Zdroju. *Tech. Posz. Geol., Geotermia, Zrównoważony Rozwój*, 1–2 (247–248): 71–80.
 OBERC J. 1972 – Budowa geologiczna Polski. T. IV Tektonika, cz. 2: Sudety. *Wyd. Geol.*, Warszawa.
 RASAŁA M., CIĘŻKOWSKI W., WĄSIK M., KIEŁCZAWA B. 2019 – Dokumentacja geologiczna z wykonania prac geologicznych niekończących się udokumentowaniem zasobów złoża kopaliny w związku z wykonaniem otworu poszukiwawczego za wodami termalnymi LZT-1 w Łądku-Zdroju. *Arch. Urzędu Miasta i Gminy Łądek-Zdrój*.
 STAŠKO S. 2002 – Zawodnienie szczelinowych skał krystalicznych w Sudetach. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 404: 249–262.
 STAŠKO S. 2010 – O wodach podziemnych w utworach krystalicznych Sudetów i ich przedpola. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 440: 135–144.
 STAŠKO S., TARKA R. 2002 – Zasilanie i drenaż wód podziemnych w obszarach górskich na podstawie badań w Masywie Śnieżnika. *Acta Univ. Wratisl.*, 2528.
 WIECZYŃSTY A. 1982 – Hydrogeologia inżynierska. *PWN*, Warszawa.
 ŻELAZNIEWICZ A., ALEKSANDROWSKI P. 2008 – Regionalizacja tektoniczna Polski – Polska południowo-zachodnia. *Prz. Geol.*, 56: 904–911.
 ŻELAZNIEWICZ A., ALEKSANDROWSKI P., BUŁA Z., KARKOWSKI P., KONON A., OSZCZYPKO N., ŚLĄCZKA A., ŻABA J., ŻYTKO K. 2011 – Regionalizacja tektoniczna Polski. *Komitet Nauk Geologicznych PAN*, Wrocław.

Praca wpłynęła do redakcji 14.02.2024 r.
 Akceptowano do druku 11.04.2024 r.