

Charakterystyka wód geotermalnych cenomańskiego systemu wodonośnego na pograniczu SE części niecki miechowskiej i zapadliska przedkarpackiego

Grażyna Gorczyca¹, Józef Chowaniec¹, Tomasz Gałulski¹

Characteristics of geothermal water of the Cenomanian aquifer system at the boundary of the SE part of the Miechów Basin and the Carpathian Foredeep. *Prz. Geol.*, 65: 962–967.

Abstract. Wider exploration of geothermal waters of the Cenomanian aquifer system at the south-eastern border of the Miechów Basin and the Carpathian Basin was possible due to research carried out in boreholes OB-I and OB-II in 2016. Geothermal water occurring in sand and Cenomanian sandstone was found in both boreholes. The waters differ in mineralization and content of specific constituents, and the outflow temperature. In borehole OB-I occurs Cl–Na, I type water with the mineralization of 9.83 g/dm³ and the outflow temperature of 27.2°C, whereas in borehole OB-II the water was Cl–Na, S type with a mineralization of 12.08 g/dm³ and outflow temperature of 21.5°C.

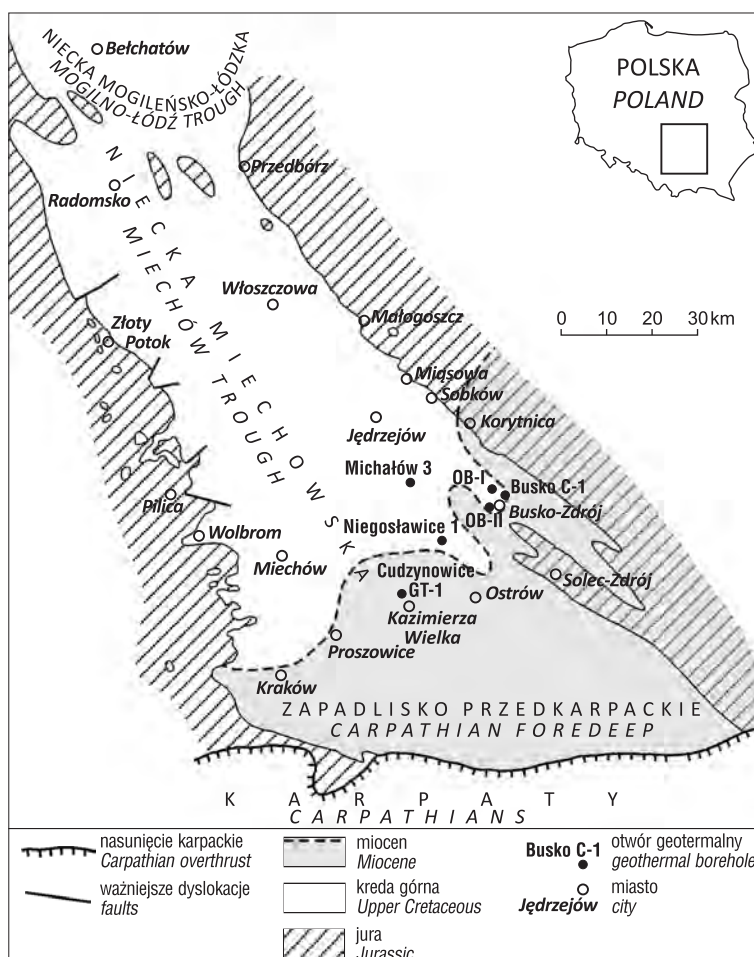
Keywords: geothermal waters, total mineralization, hydrogen sulphide, test borehole, Cenomanian

Niecka miechowska była zaliczona przez Barbackiego (2007) do obszarów perspektywicznych pod względem występowania wód geotermalnych, zwłaszcza w utworach cenomanu, o walorach zarówno leczniczych, jak i rekreacyjnych (Wiktorowicz i in., 2015; Wiktorowicz, 2016). Występowanie tego typu wód w tym rejonie w utworach cenomanu (kreda górna) potwierdziły archiwalne otwory badawcze, wykonane m.in. w rejonie Kazimierzy Wielkiej, Niegostawic czy Michałowa (m.in. Kulikowska, 1976; Oszczytko, 1981; Barbacki, 2004; Chowaniec i in., 2007, 2009; Duliński, Mateńko, 2010; Lisik, 2010; Rózkowski, Rózkowski, 2010; Zuber i in., 2010; Górecki, 2012; Lisik, Szczepański, 2014). W ostatnim dziesięcioleciu występowanie wód geotermalnych na pograniczu niecki i zapadliska przedkarpackiego zostało stwierdzone dwoma otworami hydrogeologicznymi Busko C-1 oraz Cudzynowice GT-1 (Gała, 2011, 2013). Ten drugi otwór jest pierwszym ujęciem z udokumentowanymi zasobami eksploatacyjnymi wód geotermalnych w województwie świętokrzyskim (Wiktorowicz, 2016).

W 2016 r. wody geotermalne na badanym obszarze zostały rozpoznane także otworami badawczymi – OB-I w Lesie Winiarskim oraz OB-II w Welczu. Otwory te zostały wykonane w ramach prac badawczych prowadzonych przez Oddział Karpacki Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego (OK PIG-PIB), w związku z dokumentowaniem zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych, siarczkowych w rejonie Buska-Zdroju i Solca-Zdroju.

Celem opublikowania nowych danych na temat wód geotermalnych cenomańskiego systemu wodonośnego w rejonie Buska-Zdroju jest upowszechnianie i uszczegółowianie wiedzy dotyczącej krążenia i hydrochemii tych wód

w skomplikowanym pod względem tektonicznym obszarze badań.



Ryc. 1. Lokalizacja otworów z wodami geotermalnymi na tle jednostek tektonicznych wg Stupnickiej (1989)

Fig. 1. Location of geothermal boreholes with regard to tectonic units after Stupnicka (1989)

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, ul. Skrzatów 1, 31-560 Kraków; grazyna.gorczyca@pgi.gov.pl, jozef.chowaniec@pgi.gov.pl, tomasz.gagulski@pgi.gov.pl.

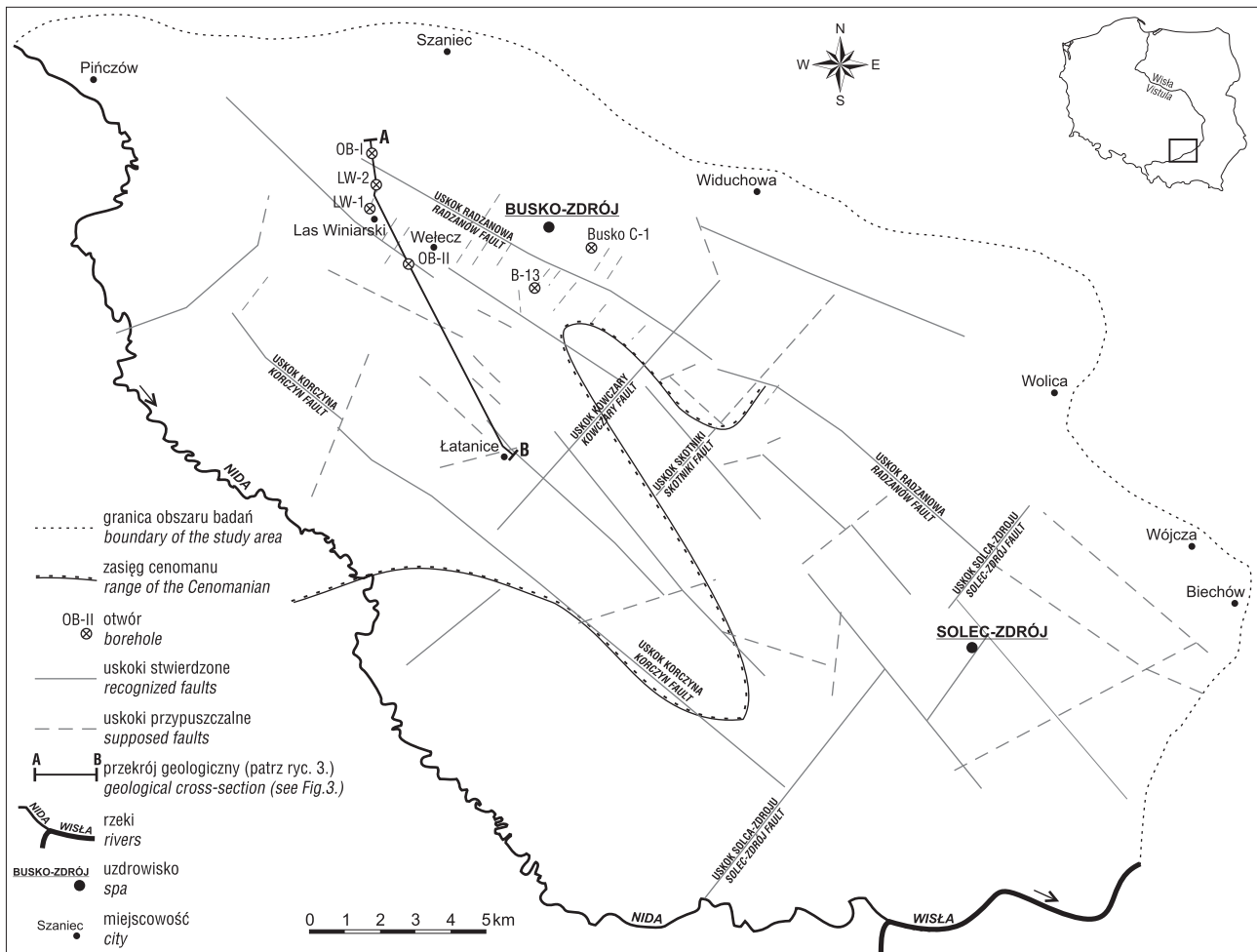
OBSZAR BADAŃ

Niecka miechowska jest najbardziej na południowy wschód wysuniętym elementem dużej struktury geologicznej, zwanej synklinorium szczecińsko-lódzko-miechowskim, rozciągającym się z NW na SE aż do brzegu Karpat. Teren badań jest usytuowany na pograniczu południowo-wschodniej części niecki miechowskiej i zapadliska przedkarpacciego (ryc. 1). Strefa graniczna tych dwóch jednostek geologiczno-strukturalnych charakteryzuje się występowaniem dużych bloków tektonicznych. Główne dyslokacje o kierunku NW–SE oraz prostopadłe i skośne do nich uskoki o mniejszym zasięgu determinują głębokość zalegania stropu utworów cenomanu. Prace dokumentacyjne były realizowane przez Oddział Karpaccy Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego (OK PIG-PIB) na terenie położonym między Wisłą i Nidą na południu a granicą wyznaczoną przez miejscowości: Pińczów, Szaniec, Widuchowa, Wolice, Wójcza oraz Biechów, na północy i północnym zachodzie (Gorczyca, Tott, 2010; Chowaniec i in., 2015a, b; ryc. 2). Wymienione otwory OB-I i OB-II są zlokalizowane po obu stronach regionalnej dyslokacji, zwanej uskokiem Radzanowa, o przebiegu NW–SE (ryc. 2). Wyniki badań hydrogeologicznych poszerzają wiedzę o górnokredowym systemie wodonośnym niecki miechowskiej.

ZARYS WARUNKÓW GEOLOGICZNYCH WYSTĘPOWANIA WÓD GEOTERMALNYCH

Podłoże niecki miechowskiej stanowią silnie zaburzone tektonicznie, różnowiekowe utwory paleozoiczne. Na nich zalegają osady mezozoiczne triasu, jury (środkowej i górnej) oraz kredy (dolnej i górnej). W profilu utworów kredy występują osady albu, cenomanu, turonu i santonu. Z dotychczasowego rozpoznania wynika, że utwory tych trzech pięter stratygraficznych nie mają ciągłego rozprzestrzenienia. Południową część niecki miechowskiej pokrywają morskie osady neogenu (miocenu) zapadliska przedkarpacciego, reprezentowane przez serie ilasto-margliste oraz gipsy i anhydryty. Osady czwartorzędowe występują jedynie lokalnie w dolinach rzecznych w postaci piasków i żwirów oraz jako pokrywy lessowe na niektórych wzniesieniach.

Do rozpoznania głębokości zalegania i miąższości utworów cenomanu, w głównej mierze, przyczyniły się wyniki wierceń poszukiwawczych (naftowych) wykonanych na przełomie lat 50. i 60. XX w. Utwory cenomanu są tu wykształcone jako piaski i piaskowce glaukonitowe, miejscami zlepieńcowate z wkładkami margli piaszczystych z glaukonitem. Zasięg litologiczno-facjalny utworów cenomanu był determinowany ukształtowaniem górnourajskiej powierzchni depozycji (Barbacki, 2004). Miąższość osadów cenomanu jest zróżnicowana i wynosi od ok. 20 do ponad 100 m w centralnej części niecki miechowskiej,



Ryc. 2. Szkic tektoniczny rejonu Buska-Zdroju i Solca-Zdroju wg Gorczyca i Totta (2010), uzupełniony

Fig. 2. Tectonic sketch-map of the Busko-Zdrój and Solec-Zdrój area after Gorczyca and Tott (2010), supplemented

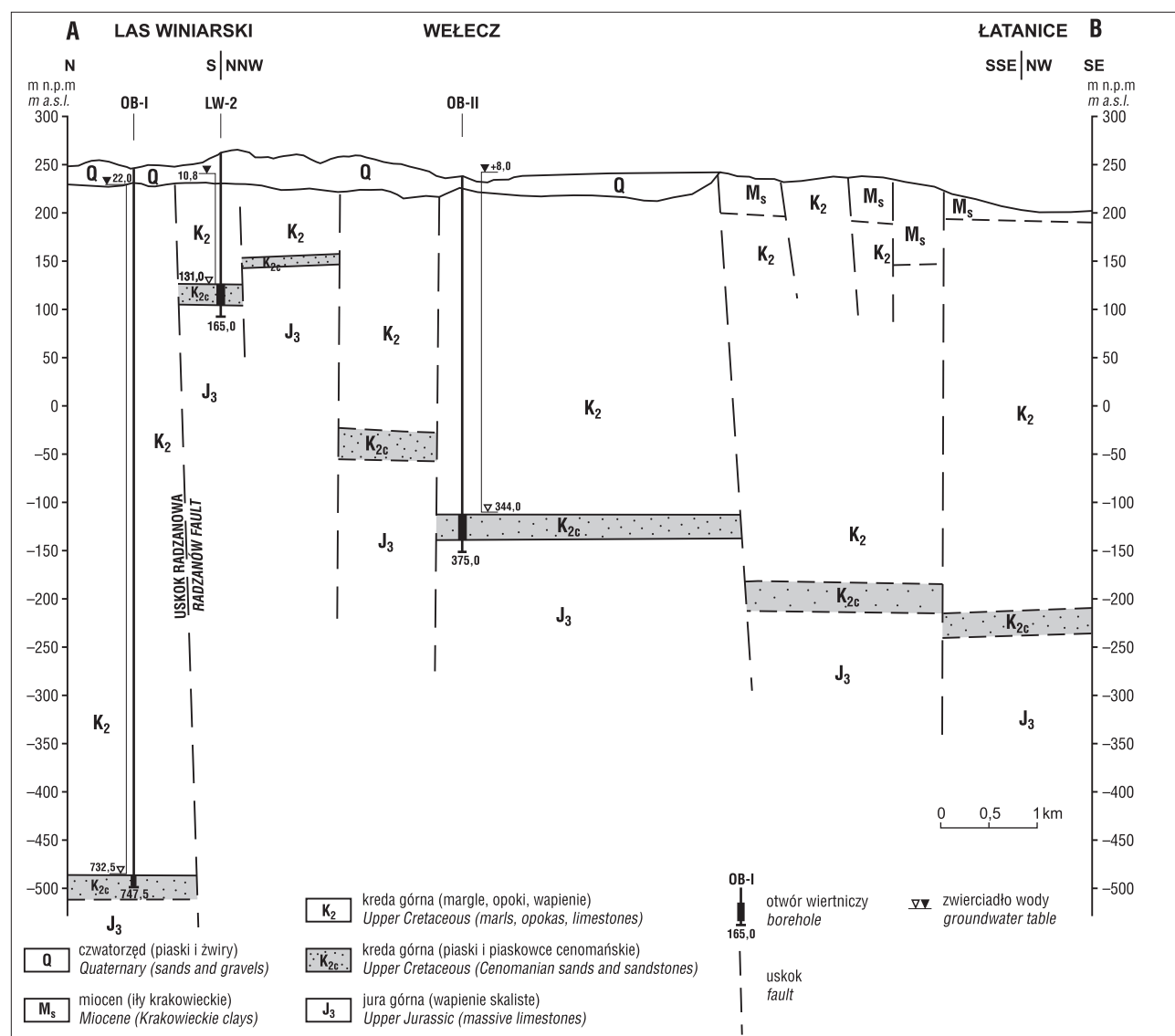
w strefie o największej subsydencji basenu cenomańskiego. Utwory te ulegają całkowitemu wyklinowaniu w kierunku wschodnim i południowo-wschodnim. Maksymalne miąższości, dochodzące do 150 m, utwory cenomanu osiągają w zapadlisku przedkarpacim (Heller, Moryc, 1984).

Wyniki badań sejsmicznych i grawimetrycznych oraz głębokich wierceń wskazują, że strefa pogranicza południowej części niecki miechowskiej i zapadliska przedkarpaciego charakteryzuje się występowaniem dużych bloków tektonicznych, poprzecinanych głównymi dyslokacjami o kierunku NW–SE oraz prostopadłymi i skośnymi do nich uskokiemi o mniejszym zasięgu (ryc. 2).

Występowanie takich bloków w rejonie Buska-Zdroju jest efektem procesów geologicznych i tektonicznych zachodzących głównie w okresie jury, kredy, neogenu i w mniejszym stopniu czwartorzędu (Oszczypko, Oszczypko-Clowes, 2010). W tym rejonie główną jednostką tektoniczną jest antyklinorium wójczańsko-pińczowskie, stanowiące ciąg bloków kredowo-neogeńskich, zaznaczające się dodatnio w morfologii. Stwierdzono tu liczne dyslokacje

powodujące wzajemne przesunięcia poszczególnych bloków i w głównej mierze decydujące o przepływie wód podziemnych, w tym wód geotermalnych (ryc. 3).

W rejonie Buska-Zdroju deniwelacje powierzchni stropu utworów cenomanu dochodzą do ponad 600 m i są związane z uskokiem Radzanowa (ryc. 3). Po jego północnej stronie, w skrzydle zrzuconym, strop utworów cenomanu jest położony na głębokości 622,2 m p.p.t. w otworze Busko C-1, oraz na głębokości 732,5 m p.p.t. w otworze OB-I. W skrzydle południowym (wiszącym) strop tych utworów stwierdzono na głębokości 20 m p.p.t. w otworze B-13 w Busku-Zdroju oraz 131,0 m p.p.t. w otworze LW-2 i 135,5 m p.p.t. w otworze LW-1 w Lesie Winiarskim. W zlokalizowanym również w skrzydle wiszącym otworze OB-II, usytuowanym pomiędzy wymienionymi powyżej otworami, utwory cenomanu nawiercono zdecydowanie głębiej, tj. 344 m p.p.t. (tab. 1; ryc. 2, 3). Rezultaty wiercenia otworu OB-II wyraźnie wskazują, że znajduje się on w obszarze rowu tektonicznego rozciągającego się pomiędzy miejscowościami Busko-Zdrój i Las Winiarski (ryc. 2).



Ryc. 3. Uproszczony przekrój geologiczny z elementami hydrogeologicznymi między Lasem Winiarskim a Łatanicami
Fig. 3. Simplified hydrogeological cross-section with hydrogeological features between Las Winiarski and Łatanice

Tab. 1. Wybrane parametry hydrogeologiczne cenomańskiego zbiornika wód podziemnych pogranicza SE części niecki miechowskiej i zapadliska przedkarpackiego**Table 1.** Selected hydrogeological parameters of Cenomanian groundwater aquifer at the boundary between the SE Miechów Basin and the Carpathian Foredeep

Nazwa otworu <i>Well name</i>	Rodzaj otworu <i>Well type</i>	Strop–spąg utworów cenomanu <i>Top–base of Cenomanian sediments</i> [m p.p.t.]	Temperatura wody na wypływie <i>Water temperature at the outflow</i> [°C]	Mineralizacja wód <i>Total dissolved solids</i> [g/dm ³]	Typ wód <i>Water type</i>	Zawartość H ₂ S <i>Sulphide content</i> [mg/dm ³]	Porowatość średnia zbiornika <i>Average permeability</i> [%]
OB-I	badawczy <i>test borehole</i>	732,5–747,5 ¹⁾	27,2	9,83	Cl–Na, I	<0,02	nb
OB-II	badawczy <i>test borehole</i>	344,0–364,5	21,5	12,08	Cl–Na, S	36,8	nb
Kazimierza Wielka 4*	badawczy <i>test borehole</i>	650,5–720,0	25,0–27,0	13,8	Cl–Na	nb, wyczuwalny H ₂ S odour	nb
Cudzynowice GT-1**	eksploatacyjny <i>operating borehole</i>	660,0–780,0	27,0	14,0	Cl–SO ₄ –Na, S, I	108	nb
Niegosławice 1*	badawczy <i>test borehole</i>	495,0–537,5	33,0	17,1	Cl–Na	nb, wyczuwalny H ₂ S odour	19,4
Michałów 3*	badawczy <i>test borehole</i>	575,0–750,0	25–30	11,0	Cl–Na	nb, wyczuwalny H ₂ S odour	17,7
Busko C-1***	eksploatacyjny <i>operating borehole</i>	662,2–649,6	23,5–25,5	12,4	Cl–Na, S, I	29,7	nb

* wg Barbackiego (2004) / after Barbacki 2004, ** wg Wiktorowicza (2016) / after Wiktorowicz 2016, *** wg Gały (2013) / after Gała 2013, ¹⁾ – nie przewiercono / not drilled through, nb – nie badano / not tested

REZULTATY BADAŃ W OTWORACH OB-I I OB-II

Otwory OB-I i OB-II zostały zlokalizowane po obu stronach regionalnej dyslokacji, zwanej uskokiem Radzanowa. Pierwszy z otworów OB-I usytuowano na NW od Buska-Zdroju, w północnym skrzydle uskoku (ryc. 3).

W trakcie badań hydrogeologicznych w tym otworze stwierdzono wodę leczniczą, termalną typu Cl–Na, I, o mineralizacji 9,83 g/dm³ i temperaturze na wypływie wynoszącej 27,2°C. W trakcie prowadzonych badań hydrogeologicznych w wodzie stwierdzono śladowe zawartości siarkowodoru (tab. 1, 2). Trzeci stopień pompowania prowadzono w warunkach nieustalonych, z wydajnością 8,0 m³/h.

Woda występuje pod ciśnieniem subartezyjskim, zwierciadło wody nawiercono na głębokości 732,5 m, a stabilizuje się ono na ok. 22,0 m p.p.t. (tab. 2).

W otworze OB-II, zlokalizowanym w południowym skrzydle uskoku Radzanowa, stwierdzono wodę leczniczą, termalną typu Cl–Na, S, o mineralizacji 12,08 g/dm³, z zawartością siarkowodoru w ilości maksymalnej 36,8 g/dm³ i temperaturze na wypływie 21,5°C (tab. 2). Zwierciadło wody nawiercono na głębokości 344,0 m p.p.t. Trzeci stopień pompowania prowadzono w warunkach nieustalonych, z wydajnością 8,0 m³/h. Woda występuje pod ciśnieniem artezyjskim i stabilizuje się na wysokości ok. 8 m n.p.t. (tab. 2).

Tab. 2. Wyniki badań hydrogeologicznych w otworach OB-I i OB-II**Table 2.** Results of hydrogeological analyses in boreholes OB-I and OB-II

Nazwa otworu <i>Well name</i>	Opróbowany interwał <i>Tested interval</i> [m p.p.t.]	Zwierciadło wody ustalone nawiercone <i>Water table fixed/confined</i> [m]	Pompowanie badawcze / <i>Pumping test</i>						
			Wydajność <i>Discharge</i> [m ³ /h]	Depresja <i>Depression</i> [m]	Czas <i>Time</i> [h]	Temperatura wody na wypływie <i>Water temperature on the outflow</i> [°C]	PEW <i>Water electrolytic conductivity</i> [mS/cm]	pH	Eh <i>Redox potential</i> [mV]
OB-I	732,5–747,5	22,0 732,5	2,5	41,0	72,0	16,5–21,4	16,0–17,2	7,5–7,7	(–107,8)–(–30,4)
			5,0	87,4	117,0	21,6–25,0	14,1–16,8	7,4–7,8	(–105,2)–(–61,2)
			8,0	147,9*	240,0	23,9–27,2	15,7–16,9	7,3–7,9	(–136,7)–(–25,4)
OB-II	344,0–364,5	+8,0 344,0	2,7	5,0	25,0	19,3–20,1	18,2–18,9	6,9–7,3	(–372,0)–(–61,0)
			5,0	9,6	87,0	20,4–22,3	18,7–19,1	7,1–8,1	(–372,1)–(–201,8)
			8,0	17,6*	216,0	19,4–21,5	18,5–19,4	6,6–8,2	(–238,5)–(–134,2)

* – badanie w warunkach ruchu nieustalonego / analysis in unsteady flow conditions

DYSKUSJA WYNIKÓW

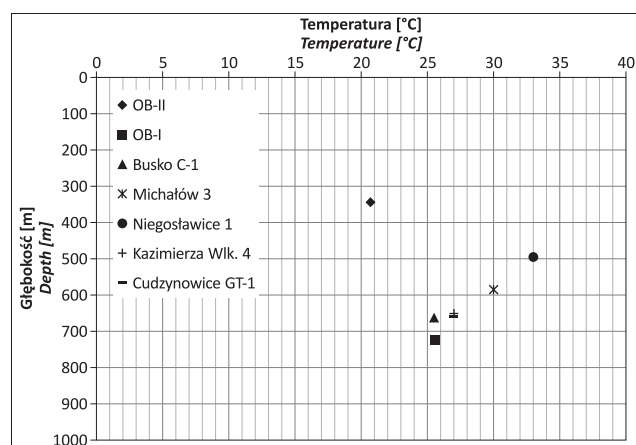
Wody geotermalne cenomańskiego systemu wodonośnego w strefie granicznej niecki miechowskiej i zapadliska przedkarpackiego, przed wykonaniem otworów OB-I i OB-II, zostały rozpoznane w interwałach głębokości 495,0–780,0 m p.p.t. Ich temperatura na wypływie wynosiła od 23,5 do 33,0°C, a mineralizacja kształtowała się w przedziale 11,0–17,14 g/dm³ (tab. 1). Główny typ chemiczny tych wód to Cl–Na, w jednym tylko przypadku odnotowano wodę typu Cl–SO₄–Na (Wiktorowicz, 2016). W swoim składzie wody zawierały również składniki swoiste, tj. siarkowodór, którego obecność była wyczuwalna, jednak jego zawartość nie wszędzie została oznaczona, oraz jodki (tab. 1).

Nowych danych na temat właściwości fizykochemicznych i termiki wód geotermalnych cenomańskiego systemu wodonośnego dostarczyły wyniki analiz i rezultaty badań hydrogeologicznych w otworach OB-I i OB-II wykonane w 2016 r. (tab. 1, 2). Podczas pompowania badawczego w otworach OB-I i OB-II, z częstotliwością jeden raz na cztery godziny, był wykonywany pomiar temperatury wody na wypływie. W obydwu otworach rosła ona stopniowo wraz ze wzrostem wydajności i depresji. W otworze OB-I, po pierwszej godzinie pompowania na I stopniu dynamicznym z wydajnością 2,5 m³/h temperatura wody na powierzchni wynosiła 16,5°C i wraz z upływem czasu systematycznie wzrastała, osiągając maksymalnie 21,4°C. W trakcie pompowania na II stopniu dynamicznym z wydajnością 5,0 m³/h, i III z wydajnością 8,0 m³/h, temperatura nadal sukcesywnie rosła, osiągając odpowiednio maksymalnie 25,0 i 27,2°C (tab. 2).

Podobna sytuacja miała miejsce podczas pompowania badawczego w otworze OB-II, gdzie również odnotowano wzrost temperatury, jednak nie tak znaczący. Pompowanie na I stopniu dynamicznym odbywało się w warunkach samowypływu ze średnią wydajności 2,9 m³/h. Temperatura wody na wypływie, po pierwszej godzinie badań, wynosiła 19,3°C i maksymalnie osiągnęła wartość 20,1°C. Podczas pompowania na II i III stopniu dynamicznym, wydajności były analogiczne jak w przypadku otworu OB-I (5,0 i 8,0 m³/h), a maksymalne temperatury wynosiły odpowiednio 22,3°C i 21,5°C (tab. 2). Uzyskane różnice temperatury w otworach OB-I i OB-II wnikają głównie z głębokości zalegania stropu cenomańskiego systemu wodonośnego – odpowiednio 732,5 i 344,0 m p.p.t. Wyniki badań hydrogeologicznych przeprowadzonych w otworach OB-I i OB-II zestawiono w tabeli 2.

Jak wynika z opublikowanych danych, wartości średnich gradientów geotermicznych dla zapadliska przedkarpackiego mieszczą się w przedziale 1,72–4,56°C/100 m. W rejonie Buska-Zdroju wartość gradientu geotermicznego wynosi ok. 2,2°C/100 m (Górecki, 2012). Wartości średnich gradientów geotermicznych dla niecki miechowskiej zmieniają się od 1,91 do 3,09°C/100 m (Jurkiewicz, Szczerba, 1976; Górecki, 2006). Według Barbackiego (2004) średni gradient temperatury liczony do stropu zbiornika cenomańskiego, oszacowany dla niecki miechowskiej i środkowej części zapadliska przedkarpackiego, wynosi ok. 2,85°C/100 m.

Obliczone wartości stopnia geotermicznego na podstawie danych z badań hydrogeologicznych w otworach OB-I



Ryc. 4. Temperatury wody na wypływie w zależności od głębokości zalegania warstwy wodonośnej

Fig. 4. Temperatures of water at the outflow depending on the depth of the aquifer

oraz OB-II wynoszą 2,65°C/100 m dla otworu OB-I i 4,02°C/100 m dla otworu OB-II. Na rycinie 4 pokazano zmiany temperatury wody wraz z głębokością w otworach wiertniczych w analizowanym obszarze. Jak wynika z tego zestawienia i oszacowanych wartości gradientów geotermicznych, najlepszymi parametrami termicznymi charakteryzują się wody z otworu OB-II, mimo najniższej temperatury na wypływie. Zdecydowanie gorsze parametry termiczne posiadają wody z otworu OB-I (ryc. 4). Niższa mineralizacja wód geotermalnych ze śladowymi ilościami siarkowodoru w otworze OB-I oraz zdecydowanie niższa wartość gradientu geotermicznego w stosunku do wód z otworu OB-II świadczy o różnych i skomplikowanych drogach krążenia po obydwu stronach dyslokacji Radzanowa. Pomimo płytkiego zalegania stropu utworów cenomanu w otworze OB-II, uzyskano stosunkowo wysoką wartość temperatury na wypływie (tab. 1, 2). Z tego można wnioskować, że wody w tym otworze prawdopodobnie pochodzą z głębszych partii górotworu.

Z danych zawartych w tabelach 1 i 2 wynika, że nawiercone wody po północnej stronie dyslokacji Radzanowa (otwór OB-I i otwór Busko-C1) również różnią się pod względem wielkości mineralizacji oraz zawartości składników swoistych.

W trakcie pompowania badawczego otworu OB-II zaobserwowano obniżenie się zwierciadła wody w otworach ujmujących wody lecznicze w Lesie Winiarskim oraz Busku-Zdroju, natomiast takiego związku nie stwierdzono podczas badań w otworze OB-I.

PODSUMOWANIE

Otwory badawcze OB-I i OB-II zostały zlokalizowane po obu stronach regionalnej dyslokacji Radzanowa. Z piasków i piaskowców cenomanu uzyskano wody geotermalne różniące się mineralizacją i zawartością składników swoistych oraz temperaturą (tab. 1, 2). Zróżnicowanie to jest zapewne wynikiem budowy blokowej obszaru badań, gdzie strefy uskokowe, w wielu przypadkach, mogą komplikować przepływ wód w tym systemie wodonośnym. W efekcie może to prowadzić do znacznego stopnia odseparowania niektórych obszarów występowania wód geotermalnych. Dobrze ilustrują to uzyskane gradienty

geotermiczne. W otworze OB-II gradient geotermiczny wynosi $4,02^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ i jest zdecydowanie wyższy niż dla otworu OB-I – $2,65^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.

Autorzy pragną przekazać podziękowania Recenzentowi artykułu za wnikliwą i merytoryczną opinię dotyczącą prezentowanych wyników badań. Zostały one wykorzystane podczas końcowego redagowania artykułu.

LITERATURA

- BARBACKI A.P. 2004 – Zbiorniki wód geotermalnych niecki miechowskiej i środkowej części zapadliska przedkarpackiego. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- BARBACKI A.P. 2007 – Możliwości wykorzystania wód geotermalnych w rejonie Buska. Mat III Krajowej Konf. Nauk.-Tech. Geologia stosowana i ochrona środowiska. Suchedniów, Hydrogeotechnika Sp. z o.o., PG Kielce Sp. z o.o. Kielce: 119–132.
- CHOWANIEC J., ZUBER A., CIEŻKOWSKI W. 2007 – Prowincja karpacka. [W:] Paczyński B., Sadurski A. (red.), Hydrogeologia regionalna Polski, t. II. Wody mineralne, lecznicze i termalne oraz kopalniane. Państw. Inst. Geol., Warszawa: 78–96.
- CHOWANIEC J., NAJMAN J., OLSZEWSKA B., ZUBER A. 2009 – Pochodzenie i wiek wody mineralnej w Dobrowodzie k. Buska Zdroju. *Prz. Geol.*, 57 (4): 286–293.
- CHOWANIEC J., GAĞULSKI T., GORCZYCA G. 2015a – Chemizm niezagospodarowanych wód mineralnych rejonu Buska-Zdroju i Solca-Zdroju. *Prz. Geol.*, 63 (10/1): 645–651.
- CHOWANIEC J., GAĞULSKI T., GORCZYCA G., OPERACZ T. 2015b – Główne założenia badawcze oceny zasobów dyspozycyjnych złóż wód leczniczych na przykładzie Buska-Zdroju – Solca-Zdroju. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 465: 195–202.
- DULIŃSKI M., MATEŃKO T. 2010 – Pochodzenie i wiek wód mineralnych rejonu Buska-Zdrój, określone na podstawie znaczników środowiskowych. [W:] Lisik R. (red.), Wody siarczkowe w rejonie Buska-Zdroju. Wyd. XYZ, Kielce: 125–149.
- GAŁA I. 2011 – Wstępne rozpoznanie i charakterystyka siarczkowych wód termalnych w otworze Busko C-1. *Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównowazony Rozwój*, 1/2 (250): 339–348.
- GAŁA I. 2013 – Charakterystyka hydrochemiczna siarczkowych wód termalnych w otworze Busko C-1. *Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównowazony Rozwój*, 2 (252): 117–126.
- GORCZYCA G., TOTT M. 2010 – Projekt prac geologicznych w celu ustalenia zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych, siarczkowych w rejonie Buska-Zdroju i Solca-Zdroju ETAP I. *Przeds. Geol. S.A. Kraków. GÓRECKI W. (red. nauk.) 2006 – Atlas zasobów geotermalnych formacji mezozoicznej na Niżu Polskim. Wyd. AGH, Kraków.*
- GÓRECKI W. (red. nauk.) 2012 – Atlas geotermalny zapadliska przedkarpackiego. Wyd. AGH, Kraków.
- HELLER I., MORYC W. 1984 – Stratygrafia utworów kredy górnej przedgórze Karpat. *Biul. Inst. Geol.*; 346: 63–116.
- JURKIEWICZ H., SZCZERBA A. 1976 – Wyniki badań termicznych centralnej części niecki miechowskiej i przyległego obszaru Gór Świętokrzyskich. *Biul. Inst. Geol.* 296: 129–161.
- KULIKOWSKA J. 1976 – O pochodzeniu wód mineralnych w rejonie Buska i Solca i możliwości zwiększenia ich zasobów. *Problemy uzdrowiskowe*, 6/8 (104/106): 191–222.
- LISIK R. 2010 – Lecznicze wody siarczkowe rejonu Pińczów–Busko-Zdrój–Kazimierza Wielka. [W:] Lisik R. (red.), Wody siarczkowe w rejonie Buska-Zdroju. Wyd. XYZ, Kielce: 23–86.
- LISIK R., SZCZEPAŃSKI A. 2014 – Siarczkowe wody lecznicze w części zapadliska przedkarpackiego. *Fundacja POSTERIS, Kielce*: 1–288.
- OSZCZYPKO N. 1981 – Wpływ neogénskiej przebudowy przedgórze Karpat na warunki hydrodynamiczne i hydrochemiczne zapadliska przedkarpackiego. *Biul. Inst. Geol.*, 325: 5–87.
- OSZCZYPKO N., OSZCZYPKO-CLOWES M. 2010 – Alpejska tektonika południowej części synklinorium miechowskiego. [W:] Lisik R. (red.), Wody siarczkowe w rejonie Buska-Zdroju. Wyd. XYZ, Kielce: 109–117.
- RÓŻKOWSKI J., RÓŻKOWSKI A. 2010 – Pochodzenie mineralizacji wód siarczkowych Buska – ich paleogeneza. [W:] Lisik R. (red.), Wody siarczkowe w rejonie Buska-Zdroju. Wyd. XYZ, Kielce: 151–184.
- STUPNICKA E. 1989 – Geologia regionalna Polski. Wyd. Geol., Warszawa.
- WIKTOROWICZ B. 2016 – Wody geotermalne rejonu Kazimierzy Wielkiej i możliwości ich zagospodarowania. *Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównowazony Rozwój*, 2 (258): 45–54.
- WIKTOROWICZ B., LIPIEC I., KOS M., MŁYŃCZAK T. 2015 – Perspektywy i możliwości wykorzystania siarczkowych wód termalnych w rejonie Kazimierzy Wielkiej. *Prz. Geol.*, 63 (10/2): 1131–1134.
- ZUBER A., CHOWANIEC J., PORWISZ B., NAJMAN J., MOCHALSKI P., ŚLIWKA I., DULIŃSKI M., MATEŃKO T. 2010 – Pochodzenie i wiek wód mineralnych rejonu Buska-Zdrój, określone na podstawie znaczników środowiskowych. [W:] Lisik R. (red.), Wody siarczkowe w rejonie Buska-Zdroju. Wyd. XYZ, Kielce: 125–149.