

GENEZA WÓD LECZNICZYCH W UTWORACH JURAJSKICH REJONU BUSKA-ZDROJU I SOLCA-ZDROJU

ORIGIN OF THE THERAPEUTIC WATER IN JURASSIC FORMATIONS OF THE BUSKO-ZDRÓJ AND SOLEC-ZDRÓJ AREA

JÓZEF CHOWANIEC¹, TOMASZ GAĞULSKI¹, GRAŻYNA GORCZYCA¹

Abstrakt. Z badań składu chemicznego i izotopowego wód górnourajskiego poziomu wodonośnego rejonu Buska-Zdroju i Solca-Zdroju wynika, że są to solanki pierwotne i wody słone, zasilane w okresie przedplejstoceniowym, kiedy klimat charakteryzował się długimi okresami znacznie cieplejszymi niż współcześnie. Solanki te mają zdecydowanie cięższy skład izotopowy niż wody lecznicze, siarczkowe występujące na tym obszarze w utworach kredowych (głównie cenomanu) oraz zbliżone wartości wskaźników hydrochemicznych do wód morskich.

Słowa kluczowe: solanki, izotopy, skład wody, geneza wód, wskaźniki hydrochemiczne, jura górna.

Abstract. The study of the chemical and isotopic composition of the Upper Jurassic aquifer in the Busko-Zdrój and Solec-Zdrój region suggests primary nature of the brines supplied before the Pleistocene under climate conditions characterized by long and much warmer periods than today. Compared to the sulphide healing waters occurring in the Cretaceous formations, mainly of Cenomanian age, the discussed brines and salt water are characterized by a far heavier isotopic composition as well as by the values of hydrochemical indicators mostly similar to those of marine waters.

Key words: brines, isotopes, water composition, groundwater origin, hydrochemical indices, Upper Jurassic.

WSTĘP

Uzdrowiska Busko-Zdrój i Solec-Zdrój są znane od wielu lat z lecznictwa uzdrowiskowego, wykorzystującego głównie wody lecznicze, siarczkowe o mineralizacji od 12,0 do 20,0 g/dm³ z utworów kredy górnej (m.in.: Prażak, 2010; Witczak, Świąder, 2010; Lipiec, Wiktorowicz, 2015; Wątor, 2015). Występują tu również wody lecznicze – solanki i wody słone – o mineralizacji od 22,0 do 67,5 g/dm³, typu chlorkowo-sodowego (Cl–Na), w obrębie utworów jury górnej. Wody lecznicze z otworów B-15 i Wełnin charakteryzują się mineralizacją poniżej 35,0 g/dm³ (tab. 1), a więc są wodami słonymi, ale ze względu na typ chemiczny Cl–Na w ar-

tykule zostały przez autorów potraktowane jako solanki. Solanką nazywamy wody o mineralizacji ogólnej powyżej 35,0 g/dm³ (Dowgiało i in., 2002). Czynnikiem zwiększającym walory lecznicze solanek jest obecność w ich składzie jodków, fluorków, jonu żelazawego oraz siarkowodoru.

Dotychczas (2016 r.) solanki z utworów jury górnej na omawianym obszarze są eksploatowane trzema otworami: B-15 (ujęcie Henryk), B-19 (ujęcie Małgorzata) oraz Wełnin (fig. 1; tab. 1). Solanka z otworów B-15 i B-19 od 1960 r., po rozcieńczeniu wodą zwykłą, była wykorzystywana przez Uzdrowisko Busko-Zdrój SA do produkcji wody

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

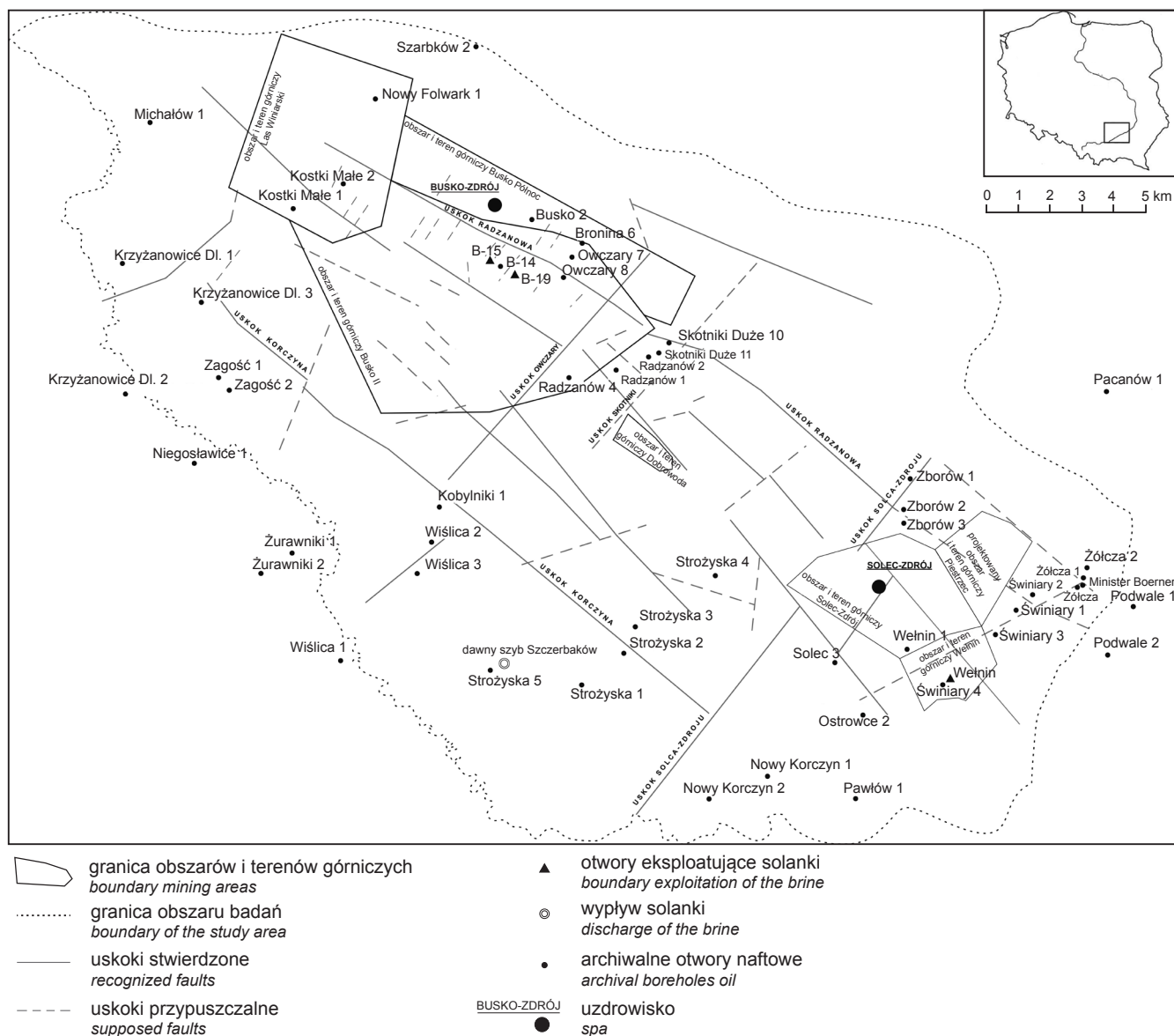


Fig. 1. Występowanie solanek w rejonie Buska-Zdroju i Solca-Zdroju

Occurrences of brines in the Busko-Zdrój and Solca-Zdrój region

mineralnej „Buskowianka-Zdrój”. Solanka z otworu Wełnin jest natomiast używana do kąpieli leczniczych w Solcu-Zdroju.

Badania wód leczniczych, w tym solanek, w rejonie uzdrowisk Buska-Zdroju i Solca-Zdroju są prowadzone w Oddziale Karpackim Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego (OK PIG-PIB)

w związku z dokumentowaniem zasobów dyspozycyjnych tych wód w ramach zadań Państwowej Służby Geologicznej (PSG). Badaniami objęto rejon Buska-Zdroju i Solca-Zdroju położony między Wisłą i Nidą na południu a granicą wyznaczoną przez miejscowości: Pińczów, Szaniec, Widuchowa, Wolice, Wójcza i Biechów na północny i północny zachódzie (fig. 1).

WARUNKI GEOLOGICZNE WYSTĘPOWANIA SOLANEK

Omawiany obszar jest usytuowany w obrębie północnej części zapadliska przedkarpackiego, które od północy graniczy z niecką miechowską. Rejon Buska-Zdroju i Solca-

-Zdroju znajduje się w północnym skrzydle synkliny o przebiegu osi NW–SE, podzielonej na kilka dużych bloków tektonicznych. Obecny obraz budowy geologicznej tego

obszaru jest wypadkową procesów geologicznych (tektonicznych), występujących głównie w okresie jury, kredy, neogenu i w mniejszym stopniu czwartorzędu (Oszczypko, Oszczypko-Clowes, 2010). Główną jednostką tektoniczną jest antyklinorium wójczańsko-pińczowskie, zaznaczające się dodatnio w morfologii – ciąg bloków kredowo-neogeńskich. Występują tu dyslokacje poprzeczne do głównego kierunku tektonicznego, które powodują wzajemne przesunięcia poszczególnych bloków i w głównej mierze decydują o przepływie wód podziemnych.

Do rozpoznania głębokości położenia i miąższości utworów jurajskich, a także występowania solanek w ich obrębie, w znacznym stopniu przyczyniły się dane uzyskane z głębokich wierceń poszukiwawczych (naftowych) wykonanych na przełomie lat 50. i 60. XX w., a także profil geologiczny szybu w miejscowości Szczerbaków (tab. 1, 2). Był to najgłębszy szyb poszukiwawczy w Europie, został wydrążony do głębokości 378,0 m, a następnie pogłębiony do 432,2 m (Gągol, Herman, 2000). Strop wapieni jurajskich znajdował się na głębokości 304,0 m. Prace melioracyjne prowadzone w latach 70. XX w. doprowadziły do jego likwidacji. Najstarszymi utworami stwierdzonymi otworami naftowymi są zmetamorfizowane łupki prekambriu, na których występują utwory ordowiku, syluru, dewonu, karbonu oraz triasu i jury. Na zerodowanej powierzchni wapieni jurajskich osadziły się utwory kredy, wykształcone w postaci piasków i piaskowców, wapieni marglistych i margli. Powyżej występują utwory neogenu (miocenu) reprezentowane przez osady ilasto-margliste oraz gipsy i anhydryty. Osady czwartorzędowe zaznaczają się jedynie lokalnie w dolinach rzecznych w postaci piasków i żwirów oraz jako pokrywy lessowe na niektórych wzniesieniach (Oszczypko, Oszczypko-Clowes, 2010).

Strop utworów jury górnej nawiercono we wszystkich (46) otworach poszukiwawczych (naftowych) wykonanych na omawianym terenie (tab. 2). Pełny profil utworów jury górnej uzyskano w 11 otworach: Kobylniki 1, Kostki Małe 2, Radzanów 1, Radzanów 2, Radzanów 4, Solec 3, Strożyska 1, Strożyska 5, Zborów, Żółcza oraz Żółcza 1. Maksymalną miąższość utworów jury (1430,0 m) stwierdzono w otworze Radzanów 2, natomiast minimalną (824,0 m) w otworze Zborów 3.

W rejonie miejscowości Busko-Zdrój strop utworów jury górnej nawiercono również otworami hydrogeologicznymi B-15 (Henryk), B-18, B-19 (Małgorzata), B-16a, B-16b, B-17, B-20 oraz B-21 (fig. 1). W rejonie Solca-Zdroju utwory jury stwierdzono natomiast w Szybie Solecki oraz w otworach Solec 1, Solec 2 (Karol), Wełnin 1, Wełnin 2 (Malina) i Wełnin (fig. 1). Żaden z otworów hydrogeologicznych nie przewiercił jednak całego kompleksu utworów z tego okresu.

Stropowe partie jury górnej najczęściej są zbudowane ze słabo przepuszczalnych lub nieprzepuszczalnych wapieni ilastych oraz margli. W przypadku ich braku, lub gdy ich miąższość jest niewielka, poziomy jury górnej, cenomanu i kredy dolnej stanowią wspólny system hydrauliczny (Oszczypko, 1981). Nad utworami jury, praktycznie na całym omawianym obszarze, leżą utwory kredy górnej,

Tabela 1

Charakterystyka chemiczna solanek z utworów jurajskich w rejonie Buska-Zdroju i Solca-Zdroju
Chemical characteristics of brines from Jurassic formations in the Busko-Zdrój and Solec-Zdrój area

Miejscowość	Data analizy	Nazwa obszaru górniczego	Nazwa otworu	Stan otworu	Ujęta warstwa	Mineralizacja [g/dm ³]	Typ wody	Zawartość wybranych wskaźników [mg/dm ³]			
								H ₂ S	I ⁻	F ⁻	Fe ²⁺
Busko-Zdrój	04.07.2012	Busko II	B-15 (Henryk)	czynny	jura górna	22,0	Cl-Na (Fe, I, F)	6,8	2,6	12,98	
	04.06.2014		B-19 (Małgorzata)	czynny		67,5		6,6	2,0	29,85	
Wełnin	21.09.1973	Solec-Zdrój	Wełnin 1	zlikwidowany		26,0	Cl-Na (I)	15,8	bd	2,08	
Wełnin	23.11.1974	Wełnin	Wełnin 2 (Malina)	zlikwidowany		33,9	Cl-Na (S, I)	15,8	bd	2,85	
Wełnin	03.06.2014	Wełnin	Wełnin	czynny		32,7	Cl-Na (S, I)	16,8	0,2	0,02	
Szczerbaków	05.06.2014	brak	wypływ Szczerbaków (dawny szyb)	istnieje		48,4	Cl-Na (I, F)	15,7	2,9	0,08	

bd – brak danych/ no data

Tabela 2

Głębokość położenia oraz miąższość utworów jury górnej w rejonie Buska-Zdroju i Solca-Zdroju wg Centralnej Bazy Danych Geologicznych (<http://baza.pgi.gov.pl/>)

The depth to and thickness of the Upper Jurassic in the Busko-Zdrój and Solec-Zdrój region after Central Geological Database (<http://baza.pgi.gov.pl/>)

Lp.	Nazwa otworu	Rok wiercenia	Głębokość otworu	Stratygrafia spągu otworu	Rzędna terenu	Głębokość zalegania stropu utworów jury górnej		Miąższość utworów jury górnej	Uwagi
			[m]		[m n.p.m.]	[m p.p.t.]	[m n.p.m.]	[m]	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Busko 1 (B-14)	1941	455,5	jura górna	220,0	115,0	+105,0	>340,0	podczas wiercenia z głęb. 390 m uzyskano dopływ wody Cl-Na, I, Br o wydajności 10 l/min, natomiast z głęb. 426 m nastąpił samowypływ wód Cl-Na, I, Br o wydajności 100 l/min
2.	Busko 2	1967	679,0	jura górna	275,0	650,0	-375,0	>29,0	-
3.	Kobylniki 1	1965	2921,5	prekambr	200,0	466,0	-266,0	915,0	-
4.	Kostki Małe 1	1966	473,7	jura górna	244,0	420,0	-175,0	>53,7	podczas wiercenia stwierdzono zapach siarkowodoru płuczki z głęb. 370; 400; 406 i 413 m p.p.t.
5.	Kostki Małe 2	1994	2874,0	prekambr	257,0	150,0	+107,0	1017,0	podczas wiercenia w utworach jury stwierdzono występowanie wód o mineralizacji 20-100 g/dm ³
6.	Krzyżanowice Dol. 1	1966	802,0	jura górna	190,0	760,0	-570,0	>37,0	-
7.	Krzyżanowice Dol. 2	1967	656,0	jura górna	197,5	623,0	-425,0	>33,0	-
8.	Krzyżanowice Dol. 3	1967	652,5	jura środkowa	188,0	581,0	-393,0	>44,5	-
9.	Michałów 1	1967	1655,0	jura górna	190,0	486,0	-296,0	>890,0	-
10.	Minister Boerner (szyb)	1930	475,5	jura górna	168,0	353,5	-185,5	>122,0	przy głębokości końcowej nastąpił samowypływ wody o temp. 40°C i mineralizacji ok. 17 g/dm ³
11.	Niegosławice 1	1968	804,0	jura górna	190,0	537,5	-347,5	>262,5	-
12.	Nowy Folwark 1	1967	630,0	jura górna	259,0	604,0	-345,0	>26,0	na głęb. 582-610 m uzyskano zawodniony rdzeń o silnym zapachu siarkowodoru
13.	Nowy Korczyn 1	1966	501,2	jura górna	171,0	352,0	-181,0	>179,2	-
14.	Nowy Korczyn 2	1965	664,2	jura górna	173,0	365,0	-192,0	>299,2	-
15.	Ostrowce	1957	300,2	jura górna	166,0	188,0	-22,0	>117,0	-
16.	Pawłów 1	1957	740,0	jura górna	167,0	305,0	-138,0	>435,0	-
17.	Podwale 1	1960	800,7	jura górna	162,0	736,8	-574,8	>233,9	-
18.	Podwale 2	1960	802,0	jura górna	160,0	199,0	-39,0	>603,0	-
19.	Radzanów 1	1959	1079,0	trias	240,0	91,4	+148,6	948,9	-
20.	Radzanów 2	1961	2632,7	prekambr	240,0	170,0	+70,0	1430,0	-
21.	Radzanów 4	1967	2864,0	prekambr	225,0	200,0	+25,0	960,0	-
22.	Solec 1	1947	500,0	jura górna	174,5	157,0	+17,5	>324,5	-
23.	Solec 3	1970	1505,0	karbon	178,0	196,0	-18,0	918,0	na głęb. 310-319 m nastąpił przypływ solanki 3,2% Cl-Mg w ilości 2 l/min (samowypływ); na głęb. 625-633 m przypływ solanki 3,7% Cl-Mg w ilości 3 l/min; na głęb. 673-681 m przypływ solanki 3,7% Cl-Mg w ilości 3 l/min; na głęb. 713-732 m przypływ solanki 3,7% Cl-Mg w ilości 3 l/min; na głęb. 737-762 m przypływ solanki 3,7% Cl-Mg w ilości 3 l/min

Tabela 2 cd.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24.	Strożyska 1	1962	1446,0	trias	175,0	305,0	-130,0	857,5	-
25.	Strożyska 2	1965	607,0	jura górna	192,0	445,0	-253,0	> 62,0	-
26.	Strożyska 3	1965	646,8	jura górna	197,0	368,0	-171,0	>278,8	w utworach jury górnej stwierdzono wody o zawartości siarkowodoru 700 mg/dm ³
27.	Strożyska 4	1966	610,0	jura górna	192,0	293,0	-101,0	>317,0	-
28.	Strożyska 5	1967	3110,5	ordowik	177,0	412,0	-235,0	824,0	w utworach jury górnej stwierdzono 14-procentową solankę
29.	Świniary 1	1950	239,1	jura górna	170,0	230,1	-60,1	>9,0	-
30.	Świniary 2	1951	248,0	jura górna	169,0	233,0	-64,0	>15,0	-
31.	Świniary 3	1957	302,0	jura górna	166,0	168,0	-2,0	>134,0	-
32.	Świniary 4	1967	310,9	jura górna	163,0	112,0	-51,0	>198,0	-
33.	Szarbków 2	1967	1215,0	jura górna	273,5	680,0	-406,5	>535,0	-
34.	Welnin 1	1973	311,7	jura górna	176,0	198,0	-22,0	>113,7	-
35.	Wiślica 1	1965	800,0	jura górna	187,5	588,5	-401,0	>211,5	-
36.	Wiślica 2	1965	503,8	jura górna	190,0	475,0	-285,0	>125,6	-
37.	Wiślica 3	1965	674,5	jura górna	193,0	280,0	-87,0	>394,5	-
38.	Zagość 1	1968	500,0	jura górna	180,0	352,0	-172,0	>148,0	-
39.	Zborów 1	1957	463,0	jura górna	215,0	376,0	-161,0	>87,0	-
40.	Zborów 2	1957	555,4	jura górna	200,0	158,5	+41,5	>396,9	-
41.	Zborów 3	1957	1503,0	trias	190,0	105,0	+85,0	825,0	na głęb. 500–740 m nastąpił samowypływ solanki o mineralizacji 67 g/dm ³ i wydajności 0,36 m ³ /h; zawartość siarkowodoru w wodzie wynosiła 100–200 mg/dm ³
42.	Żurawniki 1	1965	800,0	jura górna	195,0	506,0	-311,0	>294,0	na głęb. 520–545 m nastąpił przypływ solanki 3,8% Cl–Mg w ilości 1 l/min; na głęb. 550–560 m przypływ solanki 6,7% Cl–Na w ilości 4 l/min; na głęb. 578–583 m przypływ solanki 6,7% Cl–Na w ilości 4 l/min; na głęb. 623–665 m przypływ solanki 6,7% Cl–Na w ilości 4 l/min; na głęb. 695–740 m przypływ solanki 6,7% Cl–Na w ilości 4 l/min
43.	Żurawniki 2	1965	801,5	jura górna	201,5	615,0	-	>186,5	-
44.	Żółcza 1	1950	2262,3	dewon	169,0	360,0	-	1055,0	-
45.	Żółcza 2	1960	801,2	jura górna	165,0	340,0	-175,0	>461,2	-
46.	Żółcza	1960	2262,3	karbon	169,0	370,0	-201,0	1086,2	-

z wyjątkiem rejonów w pobliżu miejscowości Zborów, Winiary, Świniary, Brzostków i Pawłów, gdzie jura górna znajduje się bezpośrednio pod mioceniem. Wychodnie

utworów jury górnej odsłaniają się na omawianym obszarze tylko w rejonie gór Owczarskiej, Zajęczej i Katarzyny oraz w miejscowości Łagiewniki.

SKŁAD CHEMICZNY SOLANEK

Solanki w górnourajskim poziomie wodonośnym rozpoznano w strefie głębokościowej od 126,6 (rejon Solca-Zdroju) do 440,0 m p.p.t. (rejon Buska-Zdroju). Nawiercone wody pozostają pod ciśnieniem hydrostatycznym

różnej wielkości, charakteryzują się warunkami artezyjskimi (ciśnienie ok. 4 MPa) lub subartezyjskimi. Zróznicowanie stref zbiornikowych jest ściśle powiązane z występującą na omawianym obszarze intensywną tektoniką blokową.

Różnice ciśnień w otworach zlokalizowanych blisko siebie najprawdopodobniej wynikają z istnienia stref uskokowych, które tworzą niekiedy bariery dla przepływających wód.

Zbiornik górnourajski nie stanowi systemu wodonośnego o charakterze jednorodnym. W blisko położonych strefach te same poziomy stratygraficzne raz stanowią warstwę wodonośną, innym razem zaś warstwę izolującą. Wynika to stąd, że strefy zbiornikowe jury górnej wykazują silny związek ze strefami krasu, dolomityzacji i strefami spękań, których rozkład przestrzenny jest nieregularny i często przypadkowy. Prawidłowością są natomiast lepsze parametry zbiornikowe stref stropowych, wykształcone w okresie przedmioceńskich procesów wietrzenia (Oszczypko, Tomasz, 1976). Istnienie tych uwarunkowań powoduje, że występują znaczne różnice w wielkości ogólnej mineralizacji i w składzie fizykochemicznym omawianych solanek.

W związku z realizacją w OK PIG-PIB „Dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby dyspozycyjne wód leczniczych, siarczkowych rejonu Buska-Zdroju i Solca-Zdroju” analizie składu fizykochemicznego i izotopowego poddano również solanki, które są eksploatowane trzema otworami hydrogeologicznymi oraz solankę wypływającą w rejonie dawnego szybu w Szczerbakowie. Badania próbek wody wykonano w Laboratorium Hydrogeochemicznym Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Analizowane wody charakteryzują się wysoką i zróżnicowaną mineralizacją, suma rozpuszczonych składników stałych waha się od ponad 22 (otw. B-15) do ponad 67 g/dm³ (otw. B-19) (tab. 1). Z archiwalnych danych pochodzących z otworów ponaftowych wynika, że mineralizacja solanek z utworów jurajskich dochodziła w tym rejonie nawet do 140,0 g/dm³. Solanki te, typu chlorkowo-sodowego, różnią się między sobą zawartością składników swoistych. Solanki buskie (otw. B-15 i B-19) spośród składników swoistych zawierają jony żelazawy, jodkowy i fluorkowy. W otworze Welnin stwierdzono występowanie jonu jodkowego i siarki dwuwartościowej, natomiast w wypływie z dawnego szybu w Szczerbakowie – jonów jodkowego i fluorkowego (tab. 3).

Spśród analizowanych wód największą zawartością jonów Cl⁻, SO₄²⁻, Na⁺, K⁺, Mg²⁺ i Br⁻ charakteryzują się wody z ujęcia B-19 w Busku-Zdroju oraz z wypływu w Szczerbakowie, przy jednocześnie najmniejszej zawartości jonów HCO₃⁻. Siarkowodor, który jest składnikiem swoistym bardzo charakterystycznym dla wód leczniczych w utworach kredowych tego rejonu, stwierdzono również w otworze Welnin (731,0 mg/dm³) w rejonie Solca-Zdroju. W odwiercie Welnin 2 (Malina), obecnie zlikwidowanym, zawartość siarkowodoru wynosiła 850,0 mg/dm³, co stanowi jedną z największych dotychczas odnotowanych wartości w Europie (Lisik, Szczepański, 2014). Solanka z pozostałych analizowanych ujęć jest pozbawiona tego charakterystycznego składnika.

Ponadto solanki i wody słone w obrębie utworów jurajskich nawiercono w otworach naftowych w Zborowie (Zborów 3), w rejonach Solca-Zdroju (Solec 3), miejscowości Strożyska (Strożyska 3 i Strożyska 5), Buska-Zdroju (B-14), oraz Żółczy (szyb Minister Boerner). Odnotowano dużą roz-

Tabela 3

Wybrane parametry chemiczne solanek
Selected chemical parameters of the brines

Nazwa	Data analizy	Mineralizacja [g/dm ³]	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Br ⁻	I ⁻	F ⁻	[mg/dm ³]				Typ wody	
									Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺		H ₂ S
B-15 (Henryk)	04.07.2012	22,0	598,7	12346,0	705,9	42,3	6,8	2,6	290,7	361,1	7421,0	155,4	brak danych	2,2-procentowa woda mineralna swoista Cl-Na, Fe, I, F
B-19 (Małgorzata)	04.06.2014	67,5	277,7	39120,0	2759,0	119,0	6,6	2,0	2414,0	1255,0	20982,0	425,1	<0,04	6,8-procentowa woda mineralna swoista Cl-Na, Fe, I, F
Welnin	03.06.2014	32,7	1012,0	17775,0	1733,0	65,5	16,8	0,2	1073,0	912,7	9850,0	208,2	731,00	3,3-procentowa woda mineralna swoista Cl-Na, S, I
Wypływ Szczerbaków (dawny szyb)	05.06.2014	48,4	372,0	27311,0	2496,0	79,8	15,7	2,9	1752,0	1017,0	14976,0	332,2	<0,04	4,8-procentowa woda mineralna swoista Cl-Na, I, F

piętość mineralizacji wód wysokomineralizowanych – od 20,0 do 140,0 g/dm³ w przedziale głębokości od 390,0 do 760,0 m. Obecność siarkowodoru w wodach z utworów jury stwierdzono w dwóch otworach – Zborów 3 (od 100,0 do

200,0 mg/dm³) oraz Strożyska 3 (700,0 mg/dm³). Zawartość siarkowodoru w tych wodach może wskazywać na połączenie hydrauliczne poziomu jurajskiego z poziomem kredowym, jak również mioceńskim (Chowaniec i in., 2009).

GENEZA SOLANEK W ŚWIETLE DOTYCHCZASOWYCH BADAŃ

Pochodzenie wód leczniczych i solanek Buska-Zdroju i Solca-Zdroju było przedmiotem zainteresowania wielu autorów (m.in.: Kulikowska, 1976; Grabczak i in., 1987; Krawczyk i in., 1999; Chowaniec i in., 2009; Rózkowski, Rózkowski, 2010; Zuber i in., 2010). Na podstawie danych geologicznych, hydrogeologicznych, badań izotopów trwałych tlenu ($\delta^{18}\text{O}$) i wodoru ($\delta^2\text{H}$), radiowęgla (^{14}C), trytu i gazów szlachetnych, wyrażali oni poglądy na temat genezy tych wód. W miarę postępu badań oraz rozwoju metod badawczych poglądy te ulegały zmianie. Z analizy składu izotopowego $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$ badanych solanek wynika, że są one zlokalizowane poniżej światowej linii opadów (WMWL) oraz pomiędzy wartościami reprezentującymi średni skład izotopowy wód oceanicznych (VSMOW) a wartościami charakteryzującymi współczesne wody opadowe (fig. 2A). Skład izotopowy omawianych solanek jest wyraźnie cięższy niż skład wody współczesnej, co może wskazywać na zasilanie w okresie klimatu cieplejszego niż współczesny. Badane wody nie zawierają trytu.

Spośród analizowanych wód, skład izotopowy solanki z otworu B-15 w Busku-Zdroju jest zdecydowanie przesunięty w stronę bardziej ujemnych wartości δ . Pomimo zróżnicowania składu izotopowego możliwe było wyinterpretowanie linii reprezentującej solanki Buska-Zdroju i Solca-Zdroju (fig. 2A). Badania izotopowe wód wykonało Towarzystwo Badania Przemian Środowiska „GEOSFERA” w Krakowie.

Skład izotopowy wodoru w otworze Wełnin jest bardzo zbliżony do składu izotopowego wód siarczkowych z utworów kredy Solca-Zdroju i Buska-Zdroju, co wskazuje, że są tu ujmowane wody infiltracyjne z tego samego ciepłego klimatu sprzed czwartorzędu (mieszanka wód infiltracyjnych, przedczwartorzędowych z wodami reliktowymi). Według Zuber i in. (2010) oraz Chowańca i in. (2009) skład chemiczny tych wód tworzył się głównie na skutek rozpuszczania przez wody infiltracyjne gipsów, wymywania inkluzji solnych i wymianie jonowej z otaczającymi skałami.

Stężenie jonów Cl^- w badanych próbkach można w stosunku do wody morskiej podzielić na dwie grupy. Do pierwszej, z zawartością jonów Cl^- poniżej wartości typowej dla wód oceanicznych, należą te pobrane z otworów Wełnin i B-15, a do drugiej, z zawartością jonów Cl^- powyżej tej wartości, zaliczają się te z otworu B-19 i wypływu w Szczerbakowie (fig. 2B). Wzbogacenie wód w ten jon może być wynikiem zarówno ługowania inkluzji solnych, jak i ultrafiltracji wód morskich (fig. 2A, B).

Według Zuber i in. (2010) stare solanki mają zazwyczaj obniżone wartości Na^+ wskutek długotrwałej wymiany jonowej. Chlor natomiast, zdecydowanie mniej aktywnie niż sód, uczestniczy w takiej wymianie. Analizując zatem stosunek molarny tych dwóch jonów można częściowo wnioskować o genezie wód podziemnych. Ten oraz kilka innych wskaźników hydrochemicznych, które mogą być pomocne

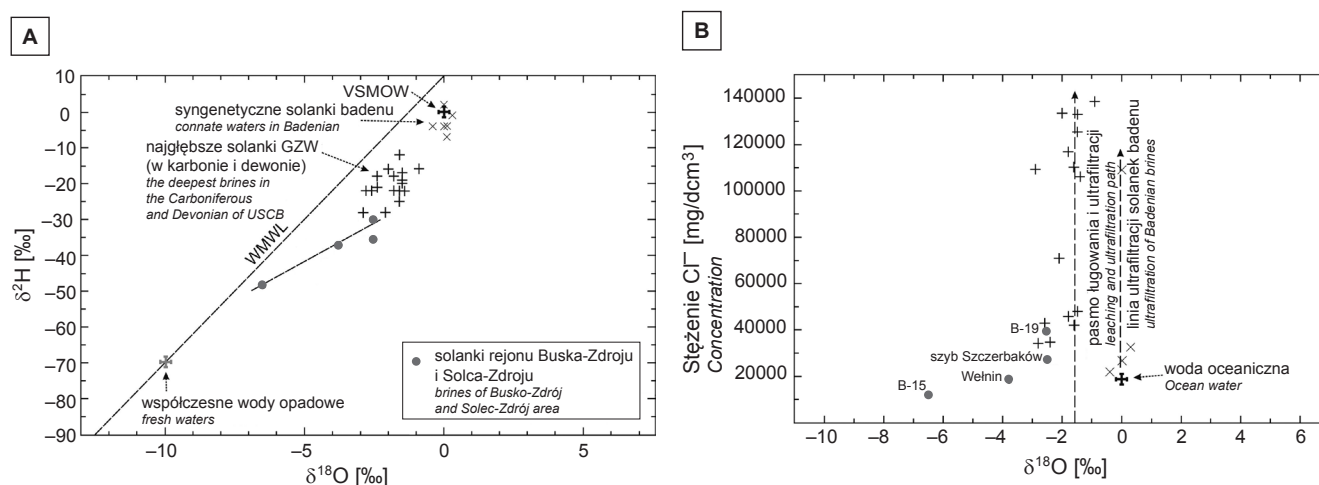


Fig. 2. Przykłady zależności $\delta^{18}\text{O}$ – $\delta^2\text{H}$ (A) oraz $\delta^{18}\text{O}$ – Cl^- (B) syngenetycznych solanek badenu oraz solanek Buska-Zdroju i Solca-Zdroju na tle typowych solanek z najgłębszych formacji Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (Chowaniec, 2009)

Examples of relations between $\delta^{18}\text{O}$ – $\delta^2\text{H}$ (A) and $\delta^{18}\text{O}$ – Cl^- (B) of the connate marine brines in Badenian sediments and the brines of the Busko-Zdrój and Solec-Zdrój area in comparison with the brines from the deepest formations of the Upper Silesia Coal Basin (Chowaniec, 2009)

w identyfikacji genezy wód podziemnych, przedstawiono w tabeli 4. Tem do analizy genezy prezentowanych solanek była woda oceaniczna, która stanowi główny rezerwuuar wód na świecie.

Większość wskaźników hydrochemicznych osiąga wartości bardzo zbliżone do tych charakterystycznych dla wód oceanicznych (tab. 4). Wartości stosunku molarnego Na^+ do Cl^- oraz wagowego Cl^- do Br^- sugerują, że są to solanki pierwotne. Osiągają one odpowiednio wartości od 0,83 (otw. B-19) do 0,93 (otw. B-15) przy wartości 0,87 charakterystycznej dla wód oceanicznych oraz od ok. 271,0 (otw. Wełnin) do ok. 328,0 (otw. B-19) przy wartości 285,0 dla wód oceanicznych. Niska wartość stosunku Cl^- do Br^- może wskazywać na inne pochodzenie zasolenia niż z ługowania złóż soli kamiennej. Zawartość bromu w wodach morskich wynosi średnio $69,0 \text{ mg/dm}^3$ (Macioszczyk, 1987). Największą zawartością bromu ($119,0 \text{ mg/dm}^3$) charakteryzują się wody ujęte otworem B-19 (tab. 1). Jednak na tle innych wód leczniczych, solanek czy wód termalnych, wartości te mieszczą się w granicach od 2,53 do $1328,26 \text{ mg/dm}^3$, tj. charakterystycznych dla występujących w Polsce wód typu Cl-Na (Winid, 2013). W pozostałych punktach zawartości bromu oscylują wokół wartości typowej dla wody morskiej. Wzbogacenie wód w brom może następować m.in. w wyniku procesu desorpcji jonów i obojętnych cząstek z morskich ilów (Macioszczyk, 1987). Wysokie zawartości bromu i jodu są typowe dla wód towarzyszących złożom węglowodorów, których w omawianym rejonie nie stwierdzono. Występowanie jonów Br^- i I^- w badanych solankach prawdopodobnie można wiązać z ich reliktowym pochodzeniem. Zgodnie z danymi literaturowymi (m.in. Macioszczyk, 1987) zawartość bromków w wodzie wzrasta wraz ze wzrostem mineralizacji, co potwierdzają przedstawione wyniki analiz laboratoryjnych (tab. 4).

O bardzo długim czasie przebywania analizowanych wód w systemie wodonośnym oraz o ich utrudnionym kontakcie ze strefą aktywnej wymiany może świadczyć również stosunek wartości molarnych HCO_3^- do Cl^- (bliski wartości typowej dla wód oceanicznych – 0,007), który wynosi od 0,0041 (otw. B-19) do 0,03 (otw. B-15 i Wełnin). Jak podają Sapińska-Śliwa i Lewkiewicz-Małysa (2011) w wodach takich wskaźnik ten powinien wynosić poniżej 1, gdyż na pewnym etapie drogi przepływu zawartość jonów HCO_3^- przestaje wzrastać przy ciągle wzrastającej koncentracji jonów Cl^- . Dzieje się tak dlatego, że koncentracja jonów węglanowych pochodzących z procesu rozpuszczania CaCO_3 wzrasta jedynie do momentu nasycenia się tym składnikiem. Wartość poniżej 0,2 jest charakterystyczna dla wód słonych i solanek.

Brak dopływu ze strefy aktywnej wymiany wód może sugerować stosunek molarny Na^+ do Cl^- , który we wszystkich przypadkach osiąga wartość poniżej 1, co wskazuje na zubożenie wód w jon Na^+ , prawdopodobnie w wyniku procesu wymiany jonu Na^+ na Ca^{2+} . Najniższą wartość (0,83), tj. poniżej wartości 0,85 charakterystycznej dla wód związanych ze złożami ropy i gazu, wskaźnik ten osiągnął w wodach ujętych otworem B-19 (Winid, Lewkiewicz-Małysa, 2010), które występują w zamkniętych, izolowanych strukturach geologicznych. Natomiast największą wartość $r\text{Na}^+/r\text{Cl}^-$ (0,93) uzyskano dla wód z otworu B-15. Na utrudniony dopływ wód infiltracyjnych wskazuje również stosunek wartości molarnych Na^+ do K^+ w przedziale wartości od 50,0 do 70,0, natomiast wartości powyżej 70,0 są charakterystyczne dla wód odizolowanych od wpływu młodszych cykli hydrogeologicznych. Dla omawianych solanek wskaźnik ten osiąga wartości od 76,6 w solance z wypływu w Szczerbakowie do 83,9 w wodzie z otworu B-19, wartość tego wskaźnika dla wód oceanicznych wynosi natomiast 45,8.

Tabela 4

Wybrane wskaźniki hydrochemiczne analizowanych solanek

Selected hydrochemical indicators of the analyzed brines

Nazwa	Mineralizacja	Wskaźniki hydrochemiczne								
	[g/dm ³]	$r\text{Na}^+/r\text{Cl}^-$	$r\text{Na}^+/r\text{K}^+$	$r\text{K}^+/r\text{Cl}^-$	$(r\text{Na}^++r\text{K}^+)/r\text{Cl}^-$	$r\text{Cl}^--(r\text{Na}^++r\text{K}^+)/r\text{Cl}^-$	$r\text{Ca}^{2+}/r\text{Mg}^{2+}$	$r\text{Ca}^{2+}/(r\text{SO}_4^{2-}+r\text{HCO}_3^-)$	$r\text{HCO}_3^-/r\text{Cl}^-$	Cl^-/Br^-
B-15	22,0	0,93	81,18	0,011	0,940	0,06	0,49	0,59	0,03	291,87
B-19	67,5	0,83	83,91	0,010	0,839	0,161	1,17	1,94	0,0041	328,74
Wełnin	32,7	0,86	80,43	0,011	0,867	0,133	0,71	1,02	0,03	271,37
Wypływ Szczerbaków (dawny szyb)	48,4	0,85	76,64	0,011	0,858	0,142	1,04	1,50	0,01	342,24
Woda oceaniczna	–	0,87 ¹⁾	45,85 ²⁾	0,018 ²⁾	0,880 ²⁾	0,12 ²⁾	0,19 ²⁾	0,34 ²⁾	0,007 ²⁾	285,00 ¹⁾

¹⁾ Zuber i in., 2010²⁾ Winid, Lewkiewicz-Małysa, 2010

PODSUMOWANIE

Z analizy składu chemicznego i izotopowego badanych wód wynika, że są to solanki pierwotne, zasilane w okresie przedplejstoceniowym, kiedy to klimat charakteryzował się długimi okresami znacznie cieplejszymi od współczesnych. Ma to swoje odzwierciedlenie w wyraźnie cięższym składzie izotopowym niż w wodach czwartorzędowej infiltracji (Zuber i in., 2010). Przesunięcie składu izotopowego tlenu i wodoru wody z otworu B-15 w kierunku wartości bardziej ujemnych może wskazywać na dopływ wód zasilanych w odmiennym klimacie, w tym przypadku jakimś chłodniejszym. Występowanie w wodach w otworze Welnin bardzo dużych ilości siarkowodoru świadczy o dopływie do niego wód płytszej cyrkulacji, które należy wiązać z serią gipsonośną badenu, ługowaną przez wody infiltracyjne.

W porównaniu do wód leczniczych, siarczkowych rejonu Buska-Zdroju i Solca-Zdroju występujących w utworach kredowych, głównie cenomanu, omawiane solanki i wody słone z utworów jury górnej charakteryzują się zdecydowanie cięższym składem izotopowym oraz wartościami wskaźników hydrochemicznych w większości zbliżonymi do tych charakterystycznych dla wód morskich.

Przeprowadzona analiza potwierdza dotychczas wyrażane poglądy, że są to solanki przedplejstoceniowego etapu infiltracyjnego oraz wody mieszane dwóch ostatnich etapów infiltracyjnych – plejstoceniowego i holoceniowego – w przypadku, kiedy zbiornik jury górnej, cenomanu, kredy dolnej i miocenu mogą stanowić wspólny system hydrauliczny (Rózkowski, Rózkowski, 2010; Zuber i in., 2010).

LITERATURA

- CHOWANIEC J., 2009 — Studium hydrogeologii zachodniej części Karpat polskich. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **434**.
- 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.
- DOWGIAŁŁO J., KLECZKOWSKI A.S., MACIOSZCZYK T., RÓŻKOWSKI A. (red.), 2002 — Słownik hydrogeologiczny. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- GĄGOL J., HERMAN G., 2000 — Wody mineralne w rejonie Buska-Zdroju i Solca-Zdroju. *Prz. Geol.*, **48**, 7: 616–618.
- GRABCZAK J., SZCZEPAŃSKI A., ZUBER A., 1987 — Uwagi na temat genezy wód mineralnych Buska i Solca. *W: 25 lat górnictwa uzdrowiskowego*: 91–99. AGH, Kraków.
- KRAWCZYK J., MATEŃKO T., MĄDRY J., PORWISZ B., 1999 — Wody lecznicze Buska Zdroju w świetle dotychczasowych badań. *W: Materiały IX sympozjum Współczesne problemy hydrogeologii. Biul. Państw. Inst. Geol.*, **388**.
- KULIKOWSKA J., 1976 — O pochodzeniu wód mineralnych w rejonie Buska i Solca i możliwości zwiększenia ich zasobów. *Probl. Uzdrowiskowe*, **6/8** (104/106): 191–222.
- LIPIEC I., WIKTOROWICZ B., 2015 — Lecznicze wody siarczkowe Poniidzia. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **462**: 171–178.
- LISIK R., SZCZEPAŃSKI A., 2014 — Siarczkowe wody lecznicze w części zapadliska przedkarpackiego. Wydaw. Fundacja POSTERIS, Kielce.
- MACIOSZCZYK A., 1987 — Hydrogeochemia. Wydaw. Geol., Warszawa.
- OSZCZYPKO N., 1981 — Wpływ neogeńskiej 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: Wody siarczkowe w rejonie Buska* (red. R. Lisik): 109–117. Wydaw. XYZ, Kielce.
- OSZCZYPKO N., TOMAŚ A., 1978 — Charakterystyka własności zbiornikowych osadów jurajskich na przedgórzu Karpat środkowych. *Kwart. Geol.*, **22**: 585–600.
- PRAŻAK J., 2010 — Szkic warunków paleohydrogeologicznych w procesie kształtowania się składu chemicznego wód mineralnych w rejonie Buska-Zdroju. *W: Wody siarczkowe w rejonie Buska-Zdroju* (red. R. Lisik): 205–210. Wydaw. XYZ, Kielce.
- RÓŻKOWSKI J., RÓŻKOWSKI A., 2010 — Pochodzenie mineralizacji wód siarczkowych Buska – ich paleogeneza. *W: Wody siarczkowe w rejonie Buska-Zdroju* (red. R. Lisik): 151–184. Wydaw. XYZ, Kielce.
- SAPIŃSKA-ŚLIWA A., LEWKIEWICZ-MAŁYSA A., 2011 — Wody termalne Uniejowa w świetle interpretacji wskaźników hydrochemicznych. *Nafta Gaz*, **28**, 1/2: 359–369.
- WĄTOR K., 2015 — Ocena leczniczego charakteru wód z wykorzystaniem niepewności pomiaru w wodach uzdrowiska Busko-Zdrój. *Tech. Poszuk. Geol.*, **2**: 79–88.
- WINID B., 2013 — Brom jako potencjalne zagrożenie jakości środowiska wodnego w rejonach eksploatacji górniczej. *Gosp. Sur. Miner.*, **29**, 2: 125–153.
- WINID B., LEWKIEWICZ-MAŁYSA A., 2010 — Mineralne wody lecznicze Wysowej w świetle badań wskaźników hydrochemicznych. *Nafta Gaz*, **27**, 1/2: 457–466.
- WITCZAK S., ŚWIĄDER A., 2010 — Analiza składników swoistych wód siarczkowych rejonu Buska-Zdroju. *W: Wody siarczkowe w rejonie Buska-Zdroju* (red. R. Lisik): 245–266. Wydaw. XYZ, Kielce.
- ZUBER A., CHOWANIEC J., PORWISZ B., NAJMAN J., MOCHAŁSKI P., ŚLIWKA I., DULIŃSKI M., MATEŃKO T., 2010 — Pochodzenie i wiek wód mineralnych rejonu Buska-Zdrój, określone na podstawie znaczników środowiskowych. *W: Wody siarczkowe w rejonie Buska-Zdroju* (red. R. Lisik): 125–149. Wydaw. XYZ, Kielce.

SUMMARY

Busko-Zdrój and Solec-Zdrój have been known for many years for spa treatment based mainly on the sulphide therapeutic water. Its mineralization ranges from 12.0 to 20.0 g/dm³ and originates from the Upper Cretaceous beds. There are also therapeutic waters – brine and salt water, with mineralization from 22.0 to 67.5 g/dm³, of sodium chloride (Cl–Na) type, occurring within the Upper Jurassic beds. A factor increasing therapeutic values of these brines is the presence of iodide, fluoride, ferrous ion, and hydrogen sulphide.

Chemical and isotopic analysis of the waters allows classifying them as primary brines supplied during pre-Pleistocene time when the climate was characterized by

long periods much warmer than today, which is reflected in their significantly heavier isotopic composition as compared to the water of Quaternary infiltration. The presence of very large amounts of hydrogen sulphide in the water from the Welin borehole points to an inflow of shallow circulation water, which should be linked to a Badenian gypsum series leached by infiltration water.

The analysis confirms the previously expressed views that the brines are of a pre-Pleistocene infiltration stage, and mixed waters of the last two stages of infiltration – in the Pleistocene and Holocene, if the Upper Jurassic, Cenomanian, Lower Cretaceous and Miocene aquifers may constitute a common hydraulic system.