

Wody lecznicze regionu sudeckiego – wybrane problemy

Wojciech Ciężkowski¹, Barbara Kielczawa¹, Elżbieta Liber-Makowska¹,
Tadeusz A. Przylibski¹, Stanisław Żak¹



W. Ciężkowski



B. Kielczawa

E. Liber-
-Makowska

T.A. Przylibski



S. Żak

Mineral waters of the Sudetic region (SW Poland) – selected problems. Prz. Geol., 64: 671–682.

Abstract. Mineralized waters used for medical treatment are common in the Sudetes. Due to reservoir rock types and the depth of groundwater circulation, two main types of groundwater deposits are distinguished. These are fissure deposits, the most often present in granites and gneisses, and fissure-porous deposits present first of all in sandstones. The main types of mineralized groundwater are CO₂-rich waters, containing up to 99.5% of CO₂ as the primary gas component, thermal waters characterized by the temperatures up to 87°C, which classifies these waters as the warmest in Poland, as well as radon waters, containing the highest activity concentrations of ²²²Rn, reaching above 2,000 Bq/dm³. All these groundwater types are infiltration waters. Discharge rates of the intakes in the Sudetes changes with time, which is influenced by changes in atmospheric parameters. The time of reaction is similar for all the intakes in the same hydrogeological structure. The process of mixing between the highly-mineralized, deep-circulation groundwater component and the shallow-circulation, low-mineralized component is intensely studied. Another problem is the presence of CO₂ in the amount exceeding its solubility in the water. Juvenile CO₂ flows from the deep crust through tectonic discontinuities, where it dissolves in groundwater, forming CO₂-oversaturated waters, as well as it forms gas anomalies in soil air. CO₂ concentrations may reach in soils more than 60 vol.%, and the flux of this gas reaches even 66 g/m²/d. Radon dissolves in groundwater in the zone of its outflow, where reservoir rocks are densely cracked, weathered, and cut by tectonic faults. The hydrogeochemical background of ²²²Rn in groundwater of the Sudetes is between 4 and 306 Bq/dm³.

Keywords: Mineral waters, medicinal waters, thermal waters, radon waters, mixing of waters, Sudetic region

Hydrogeologiczny region sudecki, który obejmuje południowo-zachodnią część kraju, jest obszarem szczególnie pod względem występowania wód leczniczych. Znajduje się tu ponad dwadzieścia złóż takich wód, a tylko ich część jest wykorzystywana w jedenastu uzdrowiskach. Złoża te, często leżące w niewielkiej odległości od siebie, cechują się wodami o zróżnicowanym charakterze chemicznym i dynamicznym. Dotyczy to również wód potencjalnie leczniczych, a więc posiadających takie właściwości, ale nie potwierdzonych na zasadach określonych w Ustawie z dnia 28 lipca 2005 r. o lecznictwie uzdrowiskowym, uzdrowiskach i obszarach ochrony uzdrowiskowej oraz o gminach uzdrowiskowych (Ustawa, 2005).

Występowanie zróżnicowanych złóż wód leczniczych w regionie sudeckim jest związane z ich budową geologiczną, określaną jako mozaikową. Blok sudecki, którego cokolwiek jest zbudowany z krystalicznych skał paleozoicznych i proterozoicznych, jest podzielony na mniejsze jednostki geologiczne. Granice tych jednostek mają charakter tektoniczny, zaznaczając się strefami uskoku i nasunięć. Granice elementów struktury geologicznej są często związane z granicami jednostek hydrogeologicznych.

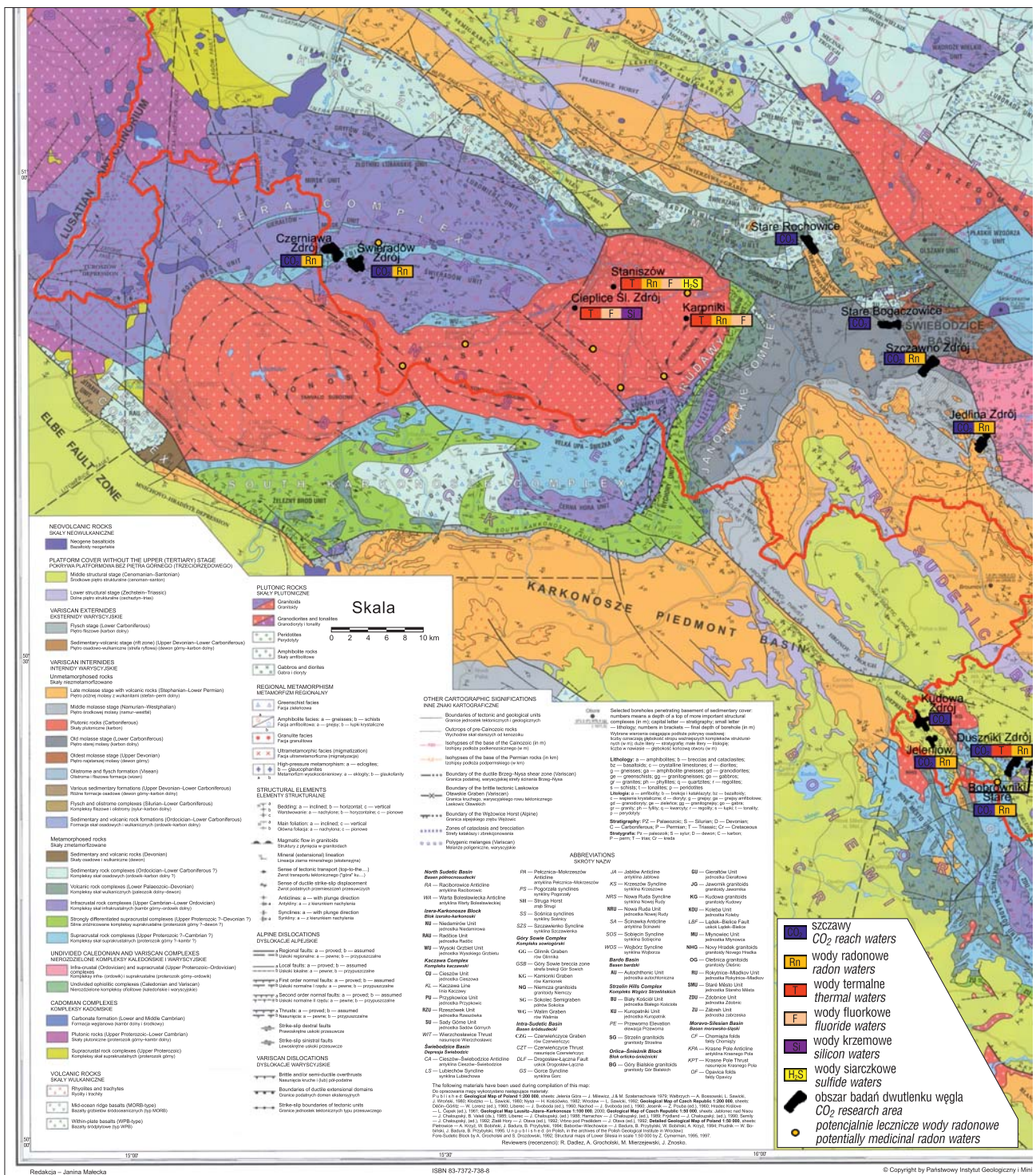
Celem pracy jest przedstawienie wybranych problemów charakterystycznych dla sudeckich wód leczniczych.

TYPY WÓD LECZNICZYCH

Występujące w regionie sudeckim źródła wód zmineralizowanych mają najczęściej charakter szczelinowy i są związane z lokalną szczelinowatością w strefach zaburzeń tektonicznych różnego wieku. Najlepiej odsłonięte są strefy zaburzeń odnowione w fazie ruchów laramijskich. Największe znaczenie hydrogeologiczne posiadają dyslokacje prostopadłe do kierunku głównych uskoku sudeckich. W strefach takich dyslokacji, często o charakterze głębokich rozłamów tektonicznych, występują systemy ascenzyjne wyprowadzające wody głębokiego krążenia, tworzące anomalie hydrodynamiczne, hydrogeochemiczne i hydrogeotermiczne. Z takimi dyslokacjami są związane wypływy wód leczniczych, m.in. Cieplic, Rochowic Starych, Szczawna-Zdroju, Dusznik-Zdroju, Polanicy-Zdroju czy Łądką-Zdroju.

Dzięki głębokim rozłamom tektonicznym i szczelinowatości skał wody lecznicze wypływają zazwyczaj samo-

¹ Zakład Geologii i Wód Mineralnych, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wroclawska, Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław; wojciech.ciezkowski@pwr.edu.pl, barbara.kielczawa@pwr.edu.pl, elzbieta.liber-makowska@pwr.edu.pl, tadeusz.przylibski@pwr.edu.pl, stanislav.zak@pwr.edu.pl.



Ryc. 1. Wody lecznicze regionu sudeckiego na tle mapy tektonicznej Dolnego Śląska wg Cymmermana (2004)

czynnie w strefach drenażu w postaci źródeł lub są ujmowane za pomocą otworów – najczęściej z samowypływem.

W regionie sudeckim, w skład którego wchodzi Sudety i blok przedsudecki, występują trzy podstawowe rodzaje wód leczniczych – szczawy, wody radonowe i wody termalne, tworzące nieraz mieszaniny. Wszystkie są pochodzenia infiltracyjnego (Ciężkowski, 1990). Lokalizację poszczególnych złóż wód leczniczych na tle budowy geologicznej regionu sudeckiego przedstawiono na rycinie 1, natomiast typy chemiczne ważniejszych złóż wód leczniczych i potencjalnie leczniczych regionu

sudeckiego zestawiono na podstawie dokumentacji zasobowych – w tabeli 1.

Potwierdzone właściwości lecznicze posiadają tylko wody wydobywane i wykorzystywane w uzdrowiskach:

- szczawy – Czerniawa-Zdrój, Długopole-Zdrój, Duszniki-Zdrój, Jedlina-Zdrój, Kudowa-Zdrój, Polanica-Zdrój, Szczawno-Zdrój i Świeradów-Zdrój;
- wody termalne – Cieplice i Łądek-Zdrój;
- wody radonowe – Świeradów-Zdrój.

Wody lecznicze regionu sudeckiego zostały kompleksowo przedstawione w pracach Dominikiewicza (1951),

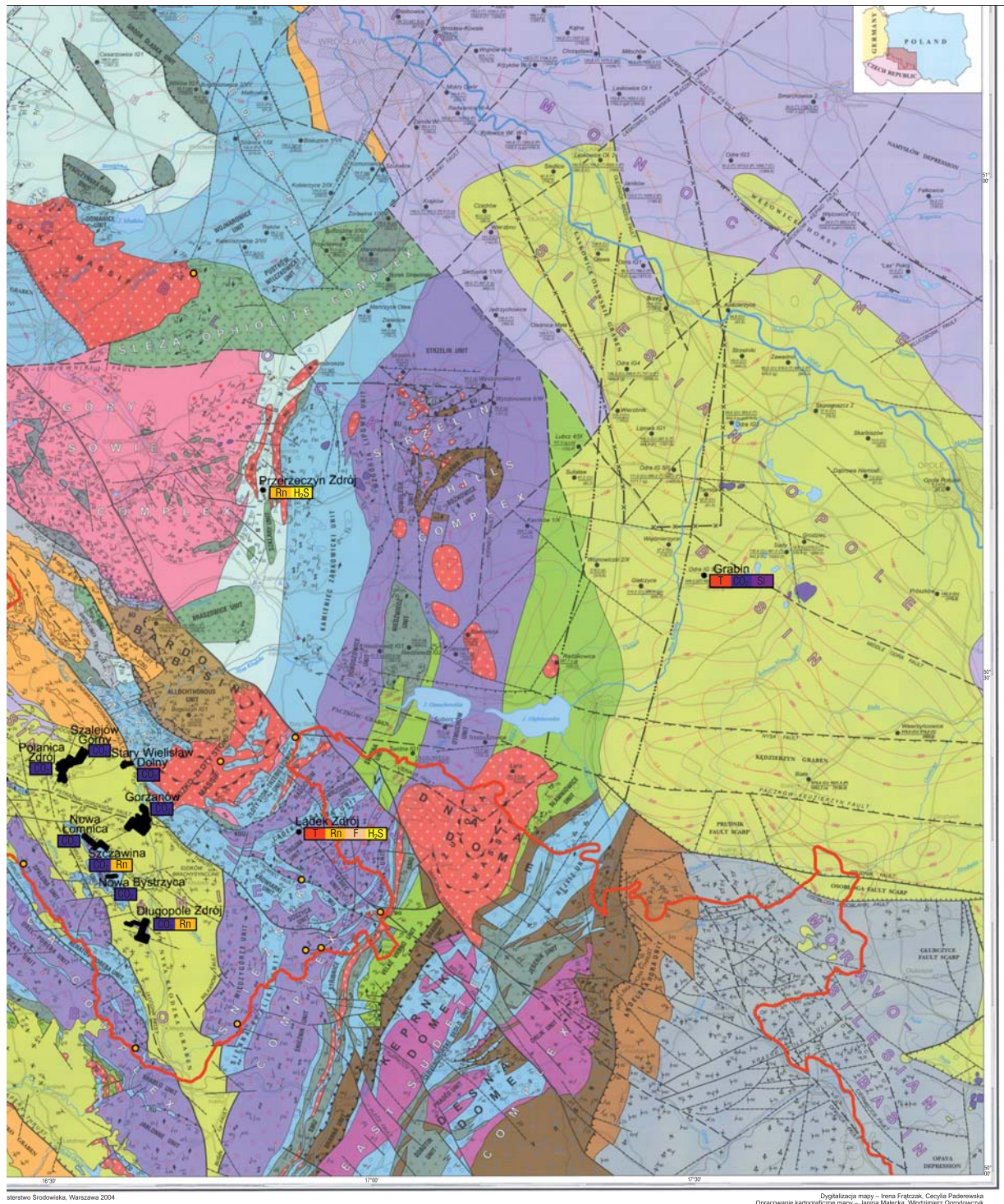


Fig. 1. Medicinal waters of the Sudetic region on the background of the tectonic map of Lower Silesia by Cymerman (2004)

Dowgiałły i in. (1969), Fistka (1979), Ciężkowskiego (1990), Paczyńskiego i Płochniewskiego (1996), Ciężkowskiego i in. (2002), Paczyńskiego i Sadurskiego (2007), Ciężkowskiego i in. (2010), Liber i Liber-Makowskiej (2012), a ostatnio także Felter i in. (2015). Natomiast katalog poszczególnych ujęć wód przedstawili Pilich i in. (1979).

Odrębnych opracowań oczekiwały się szczawy Ziemi Kłodzkiej (Fistek, 1977), szczawy Gór Izerskich (Ciężkowski, 1983), wody termalne Dolnego Śląska (Dowgiałło, 1976, 2002; Ciężkowski i in., 2011), wody radonowe Sudetów (Przylibski, 2005; Przylibski i in., 2007) oraz szczawy i wody kwasowęglowe Sudetów (Żak i in., 2008).

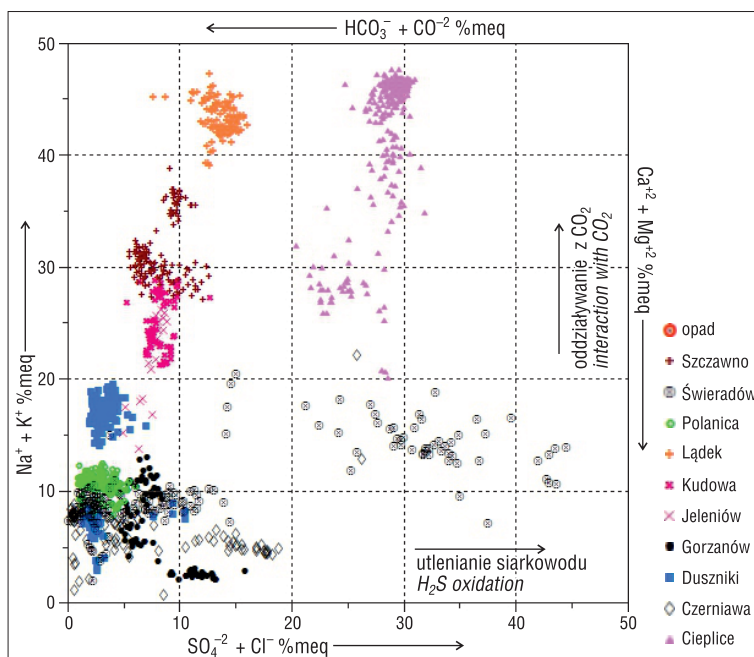
Liczne prace dotyczące poszczególnych złóż wód leczniczych oraz szczegółowych zagadnień dotyczących ich genezy, zasobów, eksploatacji, ochrony i innych problemów można znaleźć w bazie Polskie Publikacje Hydrogeologiczne zamieszczonej na stronie internetowej Państwowej Służby Hydrogeologicznej (www.psh.gov.pl).

MIESZANIE SIĘ WÓD

Zaprezentowane na diagramie Langeliera-Ludwiga (ryc. 2) wyniki analiz fizyko-chemicznych wód z wybranych uzdrowisk (z lat 1952–2011 w poszczególnych

Tab. 1. Ogólna charakterystyka chemiczna wybranych źródeł wód leczniczych (na podstawie Ciężkowskiego i in., 1996; Felter i in., 2009)**Table 1.** General chemical characteristics of selected medicinal waters of the Sudety Mts. (after Ciężkowski et al., 1996, Felter et al., 2015)

Złoże wód	Mineralizacja oraz typy chemiczne wód
Cieplice	- 0,59–0,63 g/dm ³ SO ₄ -HCO ₃ -Na, F - 0,7–0,9 g/dm ³ HCO ₃ -(SO ₄)-(Cl)-Na-Ca, Rn
Czerwiawa-Zdrój	- 0,31 g/dm ³ szczyawy HCO ₃ -Ca-Mg, Fe, Rn, Si, F - słabo zmineralizowane SO ₄ -Ca, Rn
Duszniki-Zdrój	- 0,8–3,5 g/dm ³ szczyawy: HCO ₃ -Ca-Mg, HCO ₃ -Ca-Na, HCO ₃ -Ca-Na-(Mg), Fe, Rn
Gorzanów	- 0,4–1,6 g/dm ³ szczyawy i wody kwasowęglowe: HCO ₃ -Ca, HCO ₃ -Ca-Na, Fe
Jedlina-Zdrój	- 2,1 g/dm ³ szczyawy HCO ₃ -Ca-Mg-Na, Fe, Rn - słabo zmineralizowane szczyawy, Rn
Jeleniów	- 1,4 g/dm ³ szczyawy HCO ₃ -Ca-Na, Rn, - 0,2–0,4 g/dm ³ HCO ₃ -(SO ₄)-Ca-Mg, Fe, Rn
Kudowa-Zdrój	- 1,3–3,3 g/dm ³ szczyawy: HCO ₃ -Na-Ca, Fe, Rn, HCO ₃ -Ca-Na, Rn
Łądek-Zdrój	- 0,17–0,19 g/dm ³ HCO ₃ -Na, F, Rn, H ₂ S
Polanica-Zdrój	- 0,9–2,6 g/dm ³ szczyawy i wody kwasowęglowe HCO ₃ -Ca (Na) (Fe)
Przerzeczyn-Zdrój	- 0,4–0,6 g/dm ³ HCO ₃ -Ca-Mg, Rn, (H ₂ S)
Świeradów-Zdrój	- 0,05–0,35 g/dm ³ szczyawy: HCO ₃ -Ca-Mg, Fe, Rn, SO ₄ -HCO ₃ -Ca (Na)-(Mg), Rn HCO ₃ -(SO ₄)-Na-Ca, Rn
Szczawno-Zdrój	- wody HCO ₃ -(Cl)-Na-Ca-Mg i HCO ₃ -Ca-Na-Mg+CO ₂ , - 0,8–2,4 g/dm ³ szczyawy: HCO ₃ -Na, HCO ₃ -Na, Rn; HCO ₃ -Na-Mg; HCO ₃ -Na-Ca; HCO ₃ -Ca-Na, Fe

**Ryc. 2.** Diagram L-L dla wybranych źródeł wód leczniczych i potencjalnie leczniczych Sudetów (na podstawie Langeliera & Ludwiga, 1942; zmodyfikowany)**Fig. 2.** Langelier-Ludwig classification diagram for selected medicinal waters of the Sudety Mts. (based on Langelier & Ludwig, 1942; modified)

uzdrowiskach, w zależności od dostępności danych), przedstawiają podział badanych wód na dominujące typy:

- HCO₃-Ca-(Na) – w całości złoże Polanicy-Zdroju, Duszniki-Zdroju, Gorzanowa, Czerniawy-Zdroju oraz częściowo wody złoże w Jeleniowie i Świeradowie-Zdroju;

- HCO₃-Na-(Ca) – w całości złoże wód w Szczawnie-Zdroju, Łądku-Zdroju i Kudowie-Zdroju oraz częściowo w Jeleniowie;

- SO₄-Na-(Ca) – wody Cieplic;

- SO₄-Ca-(Na) – częściowo wody Świeradowa-Zdroju.

Specyficznymi pod względem składu są wody z ujęcia Sobieski w Cieplicach oraz radonowe w Świeradowie-Zdroju. Pierwsze z nich wykazują zmienność udziału jonów głównych na tyle istotną, że można je określić jako HCO₃-(Cl)-(SO₄)-Na-Ca. W wodach ze Świeradowa-Zdroju dominują natomiast jony siarczanowe i wapniowe, niemniej jednak wahania udziału pozostałych jonów głównych powodują, że mogą one wykazywać typ SO₄-HCO₃-(Cl)-Ca-Na. Jest to spowodowane bardzo małą mineralizacją ogólną tych wód płytkiego krążenia.

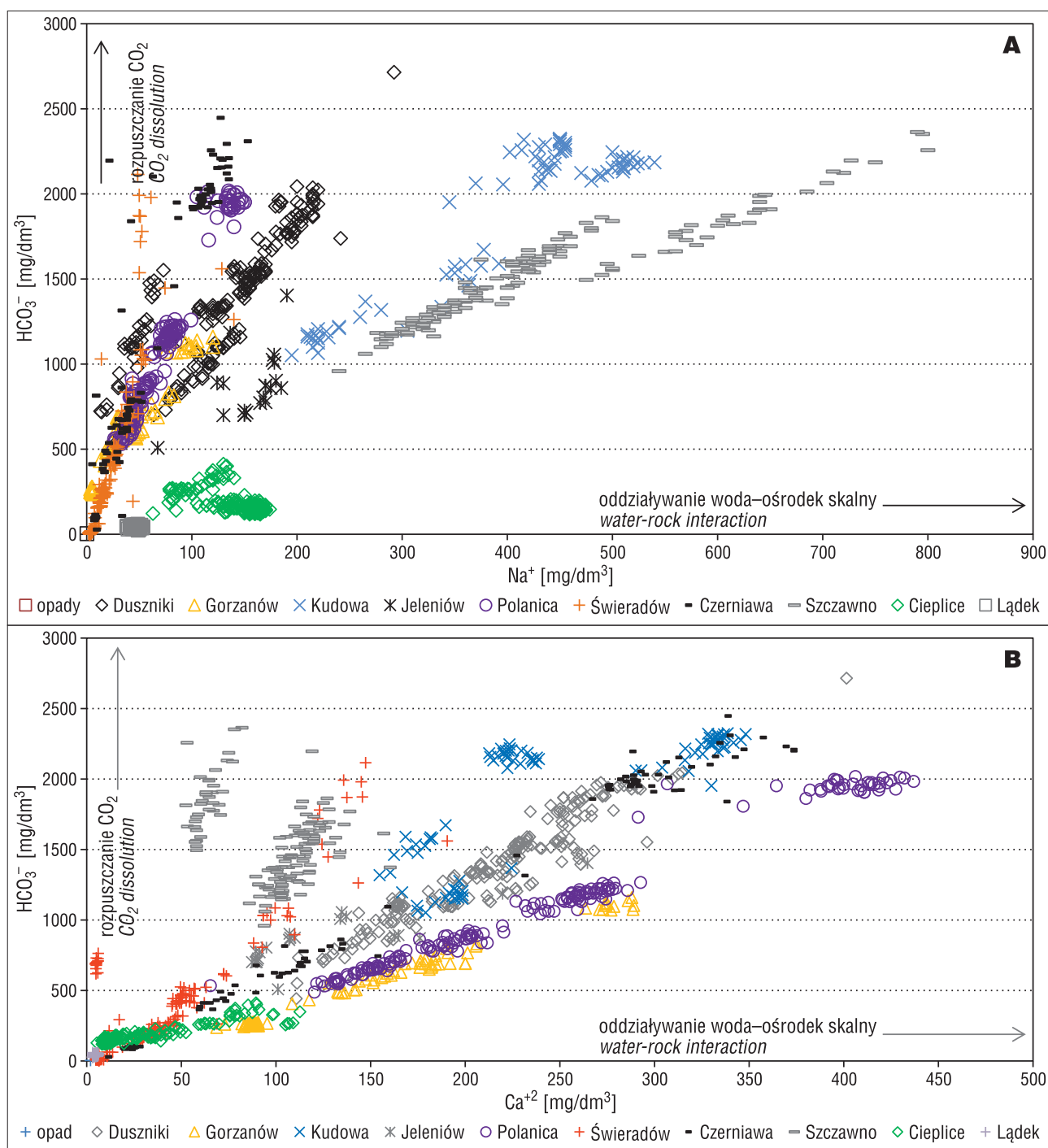
Jak wynika z wykresu wody termalne Łądku-Zdroju i Cieplic znajdują się w obszarze o największym względnym udziale jonów sodowych w swoim składzie.

Zmienność udziałów poszczególnych kationów głównych jest wyraźnie widoczna w przypadku wód złożeń w Dusznikach-Zdroju, Gorzanowie czy Szczawnie-Zdroju. Następuje ona w wyniku mieszania się wód głębokiego systemu krążenia z wodami płytkimi bądź w efekcie oddziaływania wód z ośrodkiem skalnym (rozpuszczanie, wymiana jonowa) przy współudziale gazów. Szczegółowo w odniesieniu do wybranych źródeł leczniczych wód Sudetów procesy te opisywali m.in. Ciężkowski (1990), Ciężkowski i Szarszewska (1978), Ciężkowski i in. (1996), Kielczawa (2001) i Kozłowski (1997).

Analizując zmienność stężeń jonów wodorowęglanowych w zestawieniu ze stężeniami jonów sodowych (ryc. 3A) i wapniowych (ryc. 3B) można zauważyć, że w złożu dusznickim wyodrębniają się trzy grupy wód o różnicowanym charakterze zależności stężeń wspomnianych jonów. Podobny podział wykazują wody Szczawna-Zdroju (dwie grupy), przy czym jest widoczne zróżnicowanie w mineralizacji wydzielonych grup. We wszystkich tych przypadkach mamy do czynienia z mieszaniem się wód różnych systemów krążenia. Należy zauważyć, że w Szczawnie-Zdroju wody są ujmowane płytko, systemem dzwonowym, co z pewnością ułatwia ich mieszanie.

Równie wyraźny podział wykazują wody ze złożeń w Kudowie-Zdroju, Polanicy-Zdroju czy Cieplicach (ryc. 3A). W przypadku ostatniego – uwagę zwraca zróżnicowanie rodzaju wzajemnych zależności stężeń jonów Na⁺ i HCO₃⁻. Jedną grupę w złożu cieplickim tworzą wody, w których wzrost stężenia jonów sodowych następuje niezależnie od ilości wodorowęglanów. Drugą grupą to wody o proporcjonalnych zmianach w stężeniach omawianych jonów (ujęcie Sobieski).

W analizie wahań stężenia jonów Ca²⁺ w powiązaniu ze stężeniem jonów wodorowęglanowych (ryc. 3B) wody ze złożeń w Cieplicach zwracają uwagę ze względu na podobieństwo charakteru zmienności stężeń tych składników do



Ryc. 3. Zmienność stężenia jonów HCO_3^- w zależności od stężeń jonów: **A** – Na^+ , **B** – Ca^{2+}
Fig. 3. Variability of HCO_3^- ions concentrations depending on the concentration of: **A** – Na^+ , **B** – Ca^{2+}

wód Polanicy-Zdroju i Gorzanowa. Dzieje się tak, pomimo że wody ciepłackie posiadają małą mineralizację, formują się w masywie granitoidowym, natomiast wody Polanicy-Zdroju i Gorzanowa są mieszaninami wód głębokiego systemu metamorficznego podłoża rowu Nysy Kłodzkiej i wód górnokredowych formacji osadowych wypełniających tę jednostkę (Kielczawa, 2001). Dużym podobieństwem zmian stężeń omawianych jonów cechują się także wody w złożach Duszniki-Zdrój, Czerniawa-Zdrój oraz Świeradów-Zdrój. Uwzględniając fakt, że złożo dusznickie formuje się w wyniku dopływu wód z serii metamorfiku orlicko-bystrzyckiego (gnejsy, łupki łyszczykowe), a skład wód Świeradowa-Zdroju i Czerniawy-Zdroju kształtuje się w obrębie metamorfiku izerskiego (głównie różnych

odmian gnejsów), uzyskany obraz sugeruje podobieństwo składu mineralnego skał i procesów determinujących skład omawianych wód. Natomiast wpływ dopływu do wód znacznych ilości CO_2 , skutkujący szybkim wzrostem ilości jonów HCO_3^- , można obserwować na przykładzie wód Szczawna-Zdroju (ryc. 3B). Położenie punktów w kierunku prawego narożnika na wykresach (ryc. 3A, B) świadczy o wzrastającym stopniu oddziaływania ośrodka skalnego na występujące w nim wody (Tassi i in., 2006).

OBECNOŚĆ DWUTLENKU WĘGLA W WODACH

Występowanie szczaw na Dolnym Śląsku wiąże się przede wszystkim z naturalnymi drogami migracji endoge-

nicznego CO₂, jakimi są dyslokacje tektoniczne i strefy uskoku. Największe znaczenie mają tutaj: zachodni ramowy uskók górnej Nysy Kłodzkiej, dyslokacje Strugi i Szczawna-Głuszycy oraz uskoki: Duszniki-Gorzanów, Wolany-Polonica-Zdrój, w rejonie Świeradowa i Czerniawy (Żak i in., 2008). Migrujący z głębi dwutlenek węgla rozpuszcza się w wodzie, a następnie wraz z wodą płynie w kierunku powierzchni. Obecność tego gazu w wodach w istotny sposób zwiększa rozpuszczalność minerałów zawartych w skałach. Ponieważ w trakcie przepływu zmniejsza się ciśnienie, CO₂ wydziela się z wody i pojawia w postaci gazowej. W takich miejscach obserwuje się jego zwiększone stężenie w powietrzu glebowym i wypływ (strumień) endogenicznego CO₂ z powierzchni Ziemi do atmosfery w postaci gazowej. Jeżeli wypływającej wodzie towarzyszy duża ilość gazu tworzą się nawet ekshalacje (Duszniki-Zdrój, Szczawina, Długopole-Zdrój).

W szczawach występujących na Dolnym Śląsku jest rozpuszczony niemal sam dwutlenek węgla. Stanowi on zazwyczaj ok. 90–99,5% obj. (Ciężkowski i in., 2002). Poza CO₂ może występować głównie azot oraz domieszki metanu, argonu, helu i wodoru. Badania własne wykonane na Wydziale Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej dla ujęcia Maria w Bobrownikach, potwierdzają te wyniki. Uzyskano tutaj stężenie CO₂ w mieszaninie gazów wydzielonych z wody wynoszące 92,2% obj., stężenie azotu 7,6% obj. i śladowe ilości argonu oraz helu.

Rozpoznanie węglanej budowy geologicznej litologii utworów, z których wydobywa się CO₂, oraz badania izotopowe wskazują, że dwutlenek węgla jest pochodzenia magmowego. Spójne są w tym przypadku zarówno badania $\delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2)$ (Lis & Hałas, 1980), jak i oznaczenia stosunku $^3\text{He}/^4\text{He}$ (Ciężkowski i in., 1992). Również interpretacja wyników badań gazów z kopalń wałbrzyskich (Kotarba, 1998, 1990; Gogolewska & Winiarska, 2004) wskazuje na dopływający z głębi dwutlenek węgla pochodzenia magmowego.

W rejonach występowania szczaw wykonano liczne badania stężenia CO₂ w powietrzu glebowym. Największy kompleksowy zakres takich badań miał miejsce w latach 2006 i 2007. Objęły one nie tylko pomiary stężenia CO₂ w powietrzu glebowym, ale również wielkości strumienia CO₂ z powierzchni terenu do atmosfery. Pomiary jego stężenia w powietrzu glebowym wykonano w 1503 profilach (Żak i in., 2008), a pomiary strumienia CO₂ w ponad 1500 punktach. Objęte badaniami powierzchnie zaznaczono na rycinie 1. Największe stężenia CO₂ w powietrzu glebowym przekraczały 60% obj. Wartości średnie dla poszczególnych rejonów uzyskano w granicach od 0,3% obj. w Świeradowie-Zdroju do 3,62% obj. w Kudowie-Zdroju. Natomiast największe wartości strumienia sięgały 50–66 g/m²·d¹. Uzyskane wyniki wskazują, że zarówno podwyższone wartości stężenia CO₂ w powietrzu glebowym, jak również zwiększony strumień tego gazu z powierzchni terenu znajdują się najczęściej w rejonach dolin i wąwozów w strefach dopływu wód podziemnych do cieków powierzchniowych. Duże wartości stężenia tego gazu w powietrzu glebowym i strumienia pojawiają się w najgłębszych wcięciach erozyjnych terenu, zwłaszcza w utworach dobrze przepuszczalnych (rejon Szczawna-Zdroju, Jedliny-Zdroju, Starego Wielisławia Dolnego, Kudowy-Zdroju, Jeleniowa, Polanicy-Zdroju, Szalejowa Górnego i Gorzanowa). Wyniki wskazują także, że we wszystkich rejonach objętych badaniami widoczny jest istotny wpływ endogenicznego dwutlenku węgla na jego stężenie w powietrzu glebowym,

natomiast w niewielkiej liczbie punktów zaznaczył się wyraźny udział strumienia endogenicznego CO₂ z powierzchni do atmosfery. Może to oznaczać, że jego naturalny strumień z głębi na powierzchnię jest stosunkowo niewielki.

Eksploatacja szczaw może prowadzić do sytuacji, w której łączny przepływ CO₂ dopływającego z głębi do atmosfery w postaci konwekcyjno-dyfuzyjnego strumienia oraz wypływu tego gazu z ujęć szczaw jest większy niż wynosi naturalny strumień. Jest to możliwe z uwagi na dobrą rozpuszczalność dwutlenku węgla w wodzie oraz dzięki naturalnemu magazynowaniu go w wodach podziemnych. W przypadku magazynowania dużych ilości CO₂ w wodzie i intensywnej eksploatacji takich wód może dochodzić do wyczerpywania zasobów nagazowanych wód (szczaw). Żeby do tego nie dopuścić należałoby dokonać oceny zagrożeń pod kątem ilościowej ochrony złóż szczaw. Polegałaby ona z jednej strony na podjęciu prac w celu określenia naturalnego strumienia CO₂, a z drugiej – na monitorowaniu ilości wydobywanego gazu w związku z eksploatacją szczaw. Badaniami strumienia należałoby objąć nie tylko rejon występowania szczaw, ale również tereny wzdłuż dyslokacji i stref uskoku, którymi następuje prawdopodobna migracja CO₂. W szczególności powinno się monitorować ilość wydobywanego CO₂ towarzyszącą eksploatacji szczaw. Ważne jest żeby monitoring obejmował nie tylko określenie zawartości CO₂ w szczawach, które wypłynęły na powierzchnię, ale także wykładnika gazowego. Badania zawartości CO₂ w szczawach są wykonywane często, natomiast sporadycznie jest oznaczanie wykładnika gazowego. Należy podkreślić, że badanie wykładnika gazowego jest dużo ważniejsze niż zawartości CO₂ w szczawie pojawiającej się na powierzchni terenu. Zmiany wykładnika gazowego w czasie mogą świadczyć o niekorzystnych procesach zachodzących w złożu. Parametr ten jest niezbędny do określenia zawartości dwutlenku węgla w całym złożu.

PROMIENIOTWÓRCZOŚĆ NATURALNA

Wśród wszystkich naturalnych izotopów promieniotwórczych występujących w wodach podziemnych największe znaczenie odgrywają te, które mogą najbardziej oddziaływać na organizm człowieka. Należą do nich izotopy promieniotwórcze występujące w wodach podziemnych w największych koncentracjach, charakteryzujące się wysoką właściwą aktywnością promieniotwórczą i stosunkowo długim okresem półrozpadu. Dla wód podziemnych na Polski, podobnie jak i dla większości innych państw świata, najważniejsze pod tym względem są naturalne izotopy promieniotwórcze radu i radonu: ^{226}Ra , ^{228}Ra oraz ^{222}Rn , a sporadycznie istotną rolę mogą odgrywać także izotopy promieniotwórcze ^{210}Po oraz ^{210}Pb (Chau i in., 2011).

Radon w środowisku wód podziemnych jest reprezentowany przede wszystkim przez izotop ^{222}Rn . Lecznicza woda radonowa musi zawierać rozpuszczony radon w ilości nie mniejszej niż 74 Bq/dm³, przy czym górnej granicy zawartości tego gazu nie podano. Nie określono również izotopu promieniotwórczego radonu, którego dotyczy zdefiniowana minimalna zawartość (Ustawa, 2011). Jednak z drugiej strony radon jest uznawany za czynnik rakotwórczy (IARC, 2012), w związku z czym w Polsce jego maksymalne dopuszczalne stężenie aktywności w wodzie przeznaczonej do spożycia wynosi 100 Bq/dm³ (Rozporządzenie, 2015).

W wodach leczniczych Dolnego Śląska naturalne izotopy promieniotwórcze ^{222}Rn , ^{226}Ra i ^{228}Ra występują powszechnie (tab. 2). Część z nich jest uznana właśnie za takie ze względu na zawartość rozpuszczonego w nich radonu (izotopu ^{222}Rn), są to lecznicze wody radonowe. Natomiast zawartość ^{226}Ra i ^{228}Ra w tych wodach należy traktować jako niepożądaną, mogącą ograniczać lub uniemożliwiać wykorzystanie takich wód leczniczych.

W miejscowościach kuracyjnych Dolnego Śląska ^{222}Rn obecny w wodach leczniczych rozpuszcza się w strefach wypływu wód głębokiego krążenia na powierzchnię ze względu na zwiększony współczynnik emanacji radonu ze skał w strefie oddziaływania procesów wietrzenia. Proces taki ma miejsce np. w szczawach Szczawna-Zdroju i w wodach termalnych Łącka-Zdroju. Rozpuszczanie się ^{222}Rn w podziemnych wodach leczniczych może zachodzić także w strefach o zwiększonym współczynniku emanacji radonu ze skał zbiornikowych wzbogaconych w ^{226}Ra , np. w strefach dyslokacji tektonicznych, leżących na większych głębokościach, co ma miejsce m.in. w przypadku szczaw Czerniawy-Zdroju (Przylibski, 2005). Najczęściej jednak ^{222}Rn w dużych ilościach rozpuszcza się w słabo zmineralizowanych wodach płytkiego krążenia i współczesnej infiltracji. Przykładem takich wód leczniczych są m.in. wody radonowe Świeradowa-Zdroju i Jeleniowa. Często są spotykane także wody będące efektem mieszania się płytkich wód radonowych z wodami głębokiego krążenia o zwiększonej mineralizacji, które dodatkowo mogą zawierać zwiększone koncentracje radu, zwłaszcza ^{226}Ra . Reprezentują je m.in. wody termalne Cieplic, a przede wszystkim szczawy radonowe Świeradowa-Zdroju, Jedliny-Zdroju, Jeleniowa, Długopola-Zdroju i Bobrownik Starych (Przylibski, 2005). ^{226}Ra rozpuszczony w wodach leczniczych Dolnego Śląska, występujący w formie jonów $^{226}\text{Ra}^{2+}$, jest źródłem co najwyżej kilku procent ^{222}Rn rozpuszczonego w tych samych wodach. Różni to wody lecznicze regionu sudeckiego od innych wód leczniczych Polski, a zwłaszcza solanek, w których w nielicznych przypadkach ^{226}Ra może być nawet w równowadze promieniotwórczej z ^{222}Rn (Ciężkowski & Przylibski, 1997; Przylibski, 2005, 2011, 2015; Przylibski i in., 2002, 2014; Kozłowska i in., 2010). Tę parę izotopów można wykorzystać jako znaczniki mieszania się różnych składowych wód podziemnych różniących się czasem i głębokością krążenia, a co za tym idzie także typem i wielkością mineralizacji ogólnej (Przylibski, 2007a, b).

Stężenie aktywności ^{226}Ra w wodach leczniczych Dolnego Śląska waha się w granicach od $0,004 \text{ Bq/dm}^3$ (źródło wody termalnej Chrobry w Łądku-Zdroju) do $30,2 \text{ Bq/dm}^3$ w termalnej szczawie z odwiertu GT-1 w Dusznikach-Zdroju (tab. 2). Najmniejsze wartości są notowane w wodach termalnych Łącka-Zdroju i Cieplic, a także w wodach siarczkowych i radonowych Przerzeczyna-Zdroju. Największymi zawartościami ^{226}Ra charakteryzują się szczawy, zwłaszcza szczawy głębokiego krążenia – o większej mineralizacji ogólnej (Czerniawy-Zdroju, Świeradowa-Zdroju, Dusznik-Zdroju, Kudowy-Zdroju i Polanicy-Zdroju) i szczawy termalne Dusznik-Zdroju. Jednocześnie ^{228}Ra występuje w stężeniu aktywności od ok. $0,005 \text{ Bq/dm}^3$ (powszechnie w ujęciach szczaw, wód termalnych i radonowych) do $0,84 \text{ Bq/dm}^3$ (w odwiercie GT-1 ujmującym termalną szczawę w Dusznikach-Zdroju; tab. 2). Stężenie aktywności ^{228}Ra jest wyraźnie mniejsze od stężenia aktywności ^{226}Ra w wodach leczniczych Dolnego Śląska. Największe wartości obu tych izotopów promieniotwórczych radu

są związane ze szczawami, zwłaszcza szczawami termalnymi głębokiego krążenia o zwiększonej mineralizacji ogólnej. Jest to związane z bardziej agresywnym oddziaływaniem wód gorących i kwaśnych na skały zbiornikowe, niż wód chłodnych i pozbawionych CO_2 , które krążą na niewielkich głębokościach.

Należy podkreślić, że wody charakteryzujące się znacznym stężeniem aktywności ^{222}Rn zawierają jednocześnie z reguły mniejsze ilości rozpuszczonego ^{226}Ra . Z tego powodu radonowe wody lecznicze są pod względem zawartości ^{226}Ra bardziej bezpieczne z punktu widzenia ochrony radiologicznej, niż np. szczawy o dużej mineralizacji ogólnej. Współczynnik korelacji liniowej dla 66 par średnich wartości stężeń aktywności ^{222}Rn i ^{226}Ra w wodach leczniczych Dolnego Śląska wynosi $-0,259$. Oznacza to istnienie słabej korelacji ujemnej, potwierdzającej różnicę w genezie izotopów ^{222}Rn i ^{226}Ra rozpuszczonych w tych wodach podziemnych. Radon rozpuszcza się jako gaz wydzielany ze skały zbiornikowej wskutek procesu przemiany promieniotwórczej macierzystego radu. Rad natomiast podlega procesowi rozpuszczania minerałów skał zbiornikowych, wraz z innymi pierwiastkami budującymi te minerały. Dlatego duże koncentracje radonu występują w słabo zmineralizowanych wodach płytkiego krążenia, podczas gdy rad obecny jest przede wszystkim w silnie zmineralizowanych wodach głębokiego krążenia.

Stężenie aktywności ^{222}Rn w wodach leczniczych Dolnego Śląska waha się w granicach od poniżej $0,2 \text{ Bq/dm}^3$ (ujęcie szczawy 2P w Świeradowie-Zdroju) do 2005 Bq/dm^3 (woda radonowa, MCS-4 w Świeradowie-Zdroju) (tab. 2). Wody te, zgodnie z klasyfikacją zaproponowaną przez Przylibskiego (2005), należą do niemal wszystkich typów wód wyróżnionych ze względu na zawartość ^{222}Rn , tj. do wód bezradonowych, ubogich w radon, niskoradonowych, radonowych i wysokoradonowych. Brakuje wśród nich jedynie wód ekstremalnie radonowych, tj. charakteryzujących się zawartością rozpuszczonego ^{222}Rn w stężeniu aktywności wynoszącym co najmniej $10\,000 \text{ Bq/dm}^3$. W pełni odzwierciedla to logarytmiczno-normalny charakter rozkładu stężenia aktywności ^{222}Rn w wodach podziemnych regionu sudeckiego i w środowisku wód podziemnych w ogóle (Adamczyk-Lorenc, 2007; Przylibski i in., 2007; Przylibski, 2005, 2011). Znacznie większe wartości stężenia aktywności ^{222}Rn zanotowano w wodach słabo zmineralizowanych płytkiego krążenia, niż w wodach o większej mineralizacji, które krążą na większej głębokości, często przesyconych dwutlenkiem węgla – szczawach. Zmiany stężenia aktywności ^{222}Rn w wodzie z poszczególnych ujęć mogą sięgać od ± 25 do $\pm 75\%$, rzadko dochodząc do ponad 100% , a sporadycznie nawet 200% od wartości średniej (tab. 2). Obszary zasilania ujęć wód radonowych w ^{222}Rn nie pokrywają się z obszarami zasilania w wodę leczniczą. Są one znacznie mniejsze i ograniczone do strefy przylegającej do ujęcia od strony dopływu wody w odległości, jaką lecznicza woda podziemna przebywa w ciągu co najwyżej 38,2 doby przed pojawieniem się w ujęciu, tj. w ciągu 10 okresów półrozpadu ^{222}Rn . Po tym czasie stężenie aktywności ^{222}Rn maleje do poniżej $0,1\%$ jego początkowej ilości (Przylibski, 2000, 2005).

Potencjalnie lecznicze wody radonowe występują powszechnie na terenie Dolnego Śląska. Tło hydrogeochemiczne ^{222}Rn wód podziemnych Sudetów wynosi $4\text{--}306 \text{ Bq/dm}^3$ (Adamczyk-Lorenc, 2007). Oznacza to, że potencjalnie lecznicze wody radonowe występują na niemal całym obszarze Sudetów, szczególnie na terenie: metamorfiku Łącka-

Tab. 2. Zakres zawartości ^{222}Rn oraz ^{226}Ra i ^{228}Ra w wybranych wodach leczniczych regionu sudeckiego (Przylibski i in., 2002; Przylibski, 2005; Kozłowska i in., 2008; Walencik i in., 2010, 2012 oraz na podstawie niepublikowanych danych T.A. Przylibskiego)
Table 2. The ranges of ^{222}Rn , ^{226}Ra and ^{228}Ra concentrations in selected medicinal waters in the Sudetic region (Przylibski et al., 2002; Przylibski, 2005; Kozłowska et al., 2008; Walencik et al., 2010, 2012, and based on data T.A. Przylibski)

Miejscowość <i>Locality</i>	Nazwa ujęcia <i>Intake</i>	Typ wody leczniczej <i>Medicinal water type</i>	Zakres zawartości <i>Range of activity concentration</i> [Bq/dm ³]		
			^{222}Rn	^{226}Ra	^{228}Ra
SUDETY					
Czerniawa-Zdrój	Nr 4 (Jan III)	szczawa	32,0–38,6	0,78–1,25	<0,006–0,160
	P-1	szczawa	22,8–47,5	0,142–0,880	0,140–0,630
	P-2	szczawa	14,3–17,1	0,440–1,160	0,520–0,730
	GT-1	szczawa radonowa	102–129	0,011–0,211	0,010–0,390
Świeradów-Zdrój	Górne A	szczawa radonowa	221–524	0,036–0,061	0,006–0,029
	Górne B	szczawa radonowa	119–170	0,016–0,026	<0,006–0,022
	Górne zbiorcze	szczawa radonowa	497–867	0,062–0,140	<0,006–0,140
	IA	szczawa radonowa	12,2–97,8	0,083–1,36	0,031–0,670
	2P	szczawa	<0,2	0,91–1,26	0,22–0,46
	MSC-1	radonowa	367–570	0,023–0,036	<0,006–0,006
	MSC-2	radonowa	37–405	0,022–0,033	<0,006
	MSC-3	radonowa	473–1825	0,053–0,084	<0,006–0,015
	MSC-4	radonowa	456–2005	0,049–0,075	<0,006–0,014
	MSC-5	radonowa	1256–1955	0,036–0,059	0,005–0,012
	MSC-6	radonowa	186–1139	0,030–0,042	0,005–0,006
	MSC-7	radonowa	935–1960	0,029–0,053	<0,006–0,008
	Sancta Maria	radonowa	643–1223	0,036–0,048	0,005–0,022
4P	radonowa	26,4–154,3	0,032–0,096	<0,006–0,020	
Cieplice	Nr 1 Marysieńka	termalna	8,8–14,5	0,005–0,022	0,012
	Nr 2 Sobieski	termalna radonowa	125–163	0,018–0,067	0,005–0,016
	Nr 3 Antoni – Wrocław	termalna	20,5–28,0	0,015–0,028	0,010–0,012
	Nr 4 Nowe	termalna	42,1–54,1	0,005–0,019	0,005–0,007
	Nr 5 Basenowe Damskie	termalna	36,5–57,8	0,012	0,005
	Nr 6 Basenowe Męskie	termalna	40,7–45,0	0,005–0,022	0,005–0,016
	C-2	termalna	9,4–20,0	0,021–0,036	0,005–0,016
Szczawno-Zdrój	Marta	szczawa radonowa	163–266	0,54–0,95	<0,01
	Młynarz	szczawa	25,2–37,0	0,039–0,122	0,054–0,061
	Dąbrówka	szczawa	21,0–29,3	<0,050–0,087	0,055–0,074
	Mieszko	szczawa	19,1–36,2	0,072–0,140	0,007–0,080
	Mieszko-14	szczawa	8,8–14,0	0,046–0,131	0,048–0,050
Jedlina-Zdrój	J-300	szczawa radonowa	40,2–249	0,027–0,170	0,069–0,158
Kudowa-Zdrój	K-200	szczawa	6,7–7,8	0,49–0,94	0,064–0,17
	Nr 2 Moniuszko	szczawa	4,3–7,1	0,061–0,140	0,073–0,139
	Nr 3 Nowy Marchlewski	szczawa	50,4–66,1	0,050–0,089	<0,02–0,081
	Śniadecki	szczawa	15,9–16,4	0,120–0,293	0,030–0,110
	Górne	szczawa	14,9–22,0	0,110–0,205	<0,02–0,053
Jeleniów	J-150	szczawa radonowa	82,5–109	0,22–0,55	<0,02
	Sarenka	szczawa	24,8–28,0	0,036–0,054	0,013–0,025
	Nr 6	radonowa	75,9–95,8	0,035–0,057	<0,006

Tab. 2. Zakres zawartości ^{222}Rn oraz ^{226}Ra i ^{228}Ra w wybranych wodach leczniczych regionu sudeckiego (Przylibski i in., 2002; Przylibski, 2005; Kozłowska i in., 2008; Walencik i in., 2010, 2012 oraz na podstawie niepublikowanych danych T.A. Przylibskiego) (cd.)
Table 2. The ranges of ^{222}Rn , ^{226}Ra and ^{228}Ra concentrations in selected medicinal waters in the Sudetic region (Przylibski et al., 2002; Przylibski, 2005; Kozłowska et al., 2008; Walencik et al., 2010, 2012, and based on data T.A. Przylibski)(cont.)

Miejscowość <i>Locality</i>	Nazwa ujęcia <i>Intake</i>	Typ wody leczniczej <i>Medicinal water type</i>	Zakres zawartości <i>Range of activity concentration</i> [Bq/dm ³]		
			^{222}Rn	^{226}Ra	^{228}Ra
Duszniki-Zdrój	Jan Kazimierz	szczawa	15,8–18,3	0,900–1,23	<0,020–0,110
	B1	szczawa	11,4–21,2	0,091–0,500	0,180
	B2	szczawa	48,4–60,5	0,032–0,098	<0,020–0,026
	B3	szczawa radonowa	83,2–91,7	0,64–0,81	0,12–0,34
	B4	szczawa	3,8–4,8	0,72–1,26	0,23–0,40
	Pieniawa Chopina	szczawa	6,9–9,6	0,380–0,710	0,25–0,32
	Nr 39	szczawa	8,4–11,0	0,49–0,67	0,10–0,27
	Zimny Zdrój	szczawa	54,7	0,166	0,058
	GT-1	szczawa termalna	b.d	11,2–30,2	0,78–0,84
Bobrowniki Stare	Maria	szczawa radonowa	79–168	0,092–0,147	0,008–0,031
Polanica-Zdrój	P-300	szczawa	4,3–6,3	0,81–1,20	<0,02–0,08
	Józef Stary	szczawa	16,4–27,1	0,15–0,197	0,016–0,143
	Pieniawa Józefa I	szczawa	14,8–22,6	0,155–0,210	0,020–0,048
	Pieniawa Józefa II	szczawa	21,2–22,7	0,121–0,140	0,013–0,035
	Wielka Pieniawa	szczawa	13,6–20,3	0,22–0,33	0,011–0,050
Długopole-Zdrój	Emilia	szczawa radonowa	76–137	0,072–0,121	0,017–0,042
	Renata	szczawa	66,7–78	0,040–0,139	0,050–0,091
	Kazimierz	szczawa	54,9–126	0,109–0,130	0,023–0,046
Lądek-Zdrój	Chrobry	termalna siarczkowa radonowa	130–167	0,004–0,019	<0,006
	Dąbrówka	termalna siarczkowa radonowa	114–162	0,005–0,017	<0,006
	Jerzy	termalna siarczkowa radonowa	839–1413	0,074–0,099	<0,006
	L-2 Zdzisław	termalna siarczkowa radonowa	110–126	0,009–0,024	<0,006–0,013
	Skłodowska-Curie	termalna siarczkowa radonowa	257–442	0,021–0,031	0,005–0,006
	Wojciech	termalna siarczkowa radonowa	205–282	0,011–0,038	0,005
BLOK PRZEDSUDECKI					
Przerzeczyn-Zdrój	Siarczkowe	siarczkowa radonowa	33,3–92,5	b.d	b.d.
	Nr 2	siarczkowa radonowa	18,5–133,2	0,030	0,060
	Nr 9	siarczkowa radonowa	37–188	0,006	b.d
	Nr 8	radonowa	81,4–215,7	0,018–0,021	0,035
	Nr 13	radonowa	62,9–122,1	0,029–0,030	0,053

< LD – poniżej limitu detekcji, b.d. – brak danych

< LD – below detection limit, b.d. – no data

-Śnieżnika, granitu Karkonoszy, metamorfiku izerskiego i orlicko-bystrzyckiego oraz granitoidów kłodzko-złoto-stockich. Natomiast w obrębie bloku przedsudeckiego wody te występują na obszarze granitoidów Strzegomia-Sobótki i granitoidów Strzelina, jak również w obszarze wychodni gnejsów Wądroża Wielkiego (Przylibski i in., 2004, 2007, 2014; Adamczyk-Lorenc, 2007; Domin & Przylibski, 2014; Przylibski, 2015). Na szczególne zainteresowanie zasługują wystąpienia potencjalnie leczniczych wód radonowych w rejonie miejscowości Kowary, gdzie w sztolni nr 19a nieczynnej kopalni uranu „Podgórze” stwierdzono jak dotychczas największą w Polsce wartość stężenia aktywności ^{222}Rn w wodzie podziemnej, która wynosi $3043 \pm 6 \text{ Bq/dm}^3$ (Przylibski i in., 2014). Również dużą zawartość ^{222}Rn – kilkaset, a nawet przekraczającą 1000 Bq/dm^3 – stwierdzono dotychczas w wodach podziemnych rejonu wielu miejscowości wymienionych jednostek geologicznych Sudetów i bloku przedsudeckiego. Potencjalnie lecznicze wody radonowe (o stężeniu aktywności ^{222}Rn $100\text{--}999,99 \text{ Bq/dm}^3$) i rzadziej wysokoradonowe (o stężeniu aktywności ^{222}Rn $1000\text{--}9999,99 \text{ Bq/dm}^3$) występują m.in. w rejonie (ryc. 1): Krobicy, Jakuszyce, Szklarskiej Poręby, Karpacza, Sosnowki, Trzcina, Zieleńca, Lasówki, Kamieńczyka, Jodłowa, Kamienicy, Nowej Morawy, Bielicy, Stronia Śląskiego, Złotego Stoku, Jaszczowej Górnej, Sobótki i in. (Przylibski, 2005, Adamczyk-Lorenc, 2007; Przylibski i in., 2004, 2007, 2008, 2014).

PODZIAŁ HYDRODYNAMICZNY ZŁÓŻ WÓD

Na podstawie przeprowadzonej analizy zmienności wydajności ujęć sudeckich wód leczniczych, które są eksploatowane samowypływem, można wyróżnić kilka głównych typów złóż (Liber, 2001). Zaproponowana klasyfikacja jest również zgodna z możliwym podziałem złóż ze względu na skład chemiczny i izotopowy wód. Mając na uwadze środowisko skalne oraz głębokość krążenia wód leczniczych, w Sudetach wyróżniono dwa podstawowe typy złóż: szczelinowe i szczelinowo-porowe. Złoża wód szczelinowych zostały podzielone na trzy podtypy: bardzo głębokie, głębokie i płytkie, a złoża wód szczelinowo-porowych na dwa podtypy: głębokie i płytkie.

Wody szczelinowe przepływają w skałach krystalicznych (ryc. 4), takich jak: gnejsy (Łądek-Zdrój, Świeradów-Zdrój, Czerniawa-Zdrój, Długopole-Zdrój) oraz granity (Cieplice). Wody szczelinowo-porowe są związane ze skałami osadowymi, głównie zlitfikowanymi piaskowcami (np. Polanica-Zdrój, Szczawno-Zdrój), w których spękania i szczeliny spełniają rolę dróg krążenia.

Do złóż wód szczelinowych bardzo głębokiego krążenia należą wody termalne Cieplice i Łądko-Zdrój, dla których średni czas przepływu określony na podstawie badań radiowęglu sięga dziesiątek tysięcy lat. Wyprowadzanie wód jest związane ze strefami głębokich rozłamów tektonicznych, wzdłuż których tworzą się anomalie hydrotermiczne i hydrogeochemiczne (Ciężkowski, 1980; Ciężkowski & Mroczkowska, 1985). Wody termalne wykazują małą i stałą mineralizację, zazwyczaj nie zawierają domieszek zwykłych wód współczesnych (Liber, 2001).

Wody termalne wypływające z poszczególnych ujęć złoża takiego typu charakteryzują się małą zmiennością wydajności w okresach stabilnych warunków eksploatacji oraz silnymi, prawie natychmiastowymi i równoczesnymi we wszystkich ujęciach reakcjami na ekstremalne zmiany warunków złożowych, takich jak np. zwiększony pobór wód lub eksploatacja nowego odwiertu (ryc. 5). Wpływ

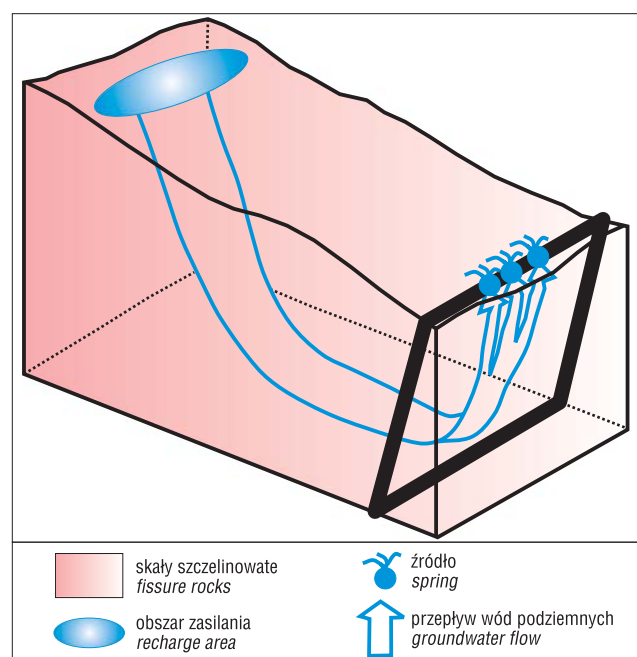
naturalnych czynników zewnętrznych na zmiany wydajności ujęć wód termalnych jest niewielki, ale zostało wykazane istnienie cyklicznych zmian ich wydajności (Liber, 2008; Liber-Makowska, 2009, 2011).

Wody lecznicze Świeradowa-Zdroju, Czerniawy-Zdroju i Długopola-Zdroju, tworzące złoża szczelinowe głębokiego krążenia, wypływają w strefach tektonicznych, które są również drogami wyprowadzającymi juvenilny CO_2 . Wypływające szczawy mieszają się z wodami płytszymi. Średni czas ich przepływu waha się od kilku tysięcy do kilkudziesięciu lat, stanowią one mieszaninę składowej starszej i młodszej. Szczawy mają średnią mineralizację – rzędu 1 g/dm^3 .

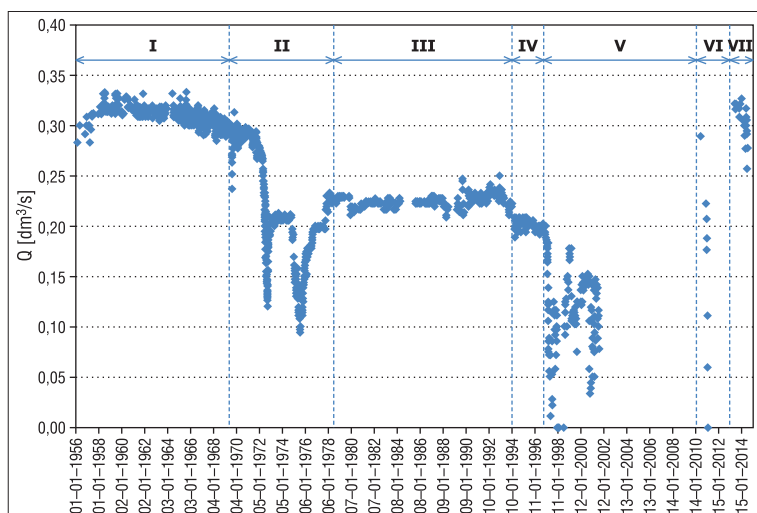
Wydajność ujęć wód szczelinowych głębokiego krążenia jest stała lub mało zmienna. Reakcja na zmiany zachodzące w złożu zachodzi prawie równocześnie lub z niewielkim opóźnieniem. W zależności od udziału wód rozcieńczających reakcja ujęć wód leczniczych na czynniki naturalne jest mniej lub bardziej wyraźna. Zmiany wydajności zachodzą zazwyczaj cyklicznie w ciągu roku (Liber, 2001).

W Świeradowie-Zdroju występują także płytkie wody szczelinowe, słabo zmineralizowane, ale o wysokiej zawartości radonu. Mieszają się one ze szczawami i powodują pojawienie się rzadko spotykanych szczaw radonowych. Wody radonowe charakteryzują się krótkim czasem przepływu podziemnego, rzędu kilku lat. Charakter zmian wydajności jest zbliżony do reżimu źródeł wód zwykłych, szczelinowych (Ciężkowski, 1990; Liber, 2001; Przylibski, 2005).

Do złóż typu szczelinowo-porowego o głębokim krążeniu można zaliczyć np. szczawy Polanicy-Zdroju, które wypływają wzdłuż stref dyslokacyjnych ułatwiających również doprowadzenie CO_2 . Średni czas przepływu podziemnego tutejszych szczaw waha się od kilku tysięcy do kilkudziesięciu lat. Mineralizacja szczaw jest stosunkowo wysoka – rzędu 2 g/dm^3 . Pojawiające się w ujęciach wody są mieszaniną wód głębokiego krążenia z wodami płytszymi. Zmiany wydajności ujęć wód leczniczych Polanicy-Zdroju mają charakter sezonowy, zaznacza się w nich

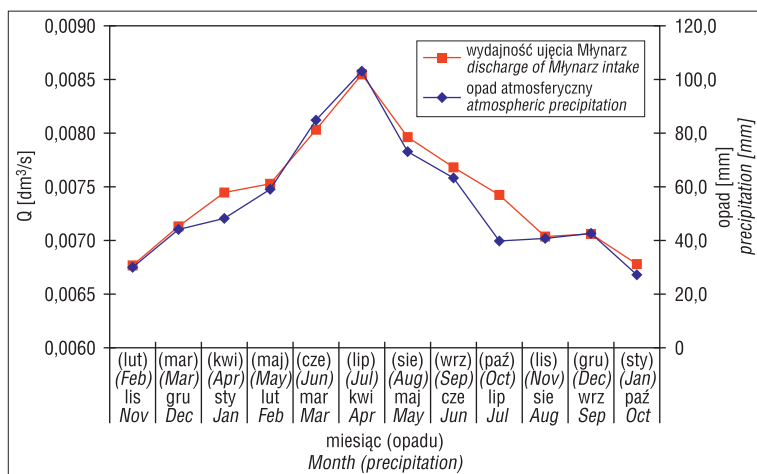


Ryc. 4. Schemat złoża wód szczelinowych (wg Liber, 2001)
Fig. 4. Fissure water deposit diagram (after Liber, 2001)



Ryc. 5. Zmiany wydajności ujęcia Basenowe Męskie w Cieplicach w wydzielonych okresach eksploatacji (wg Liber, 2001, 2008, zaktualizowane): I – początek eksploatacji (stabilizacja); II – odwiercenie i badania odwiertów C-1 i C-2; III – stabilizacja; IV – zwiększony pobór wody z odwiertu C-2; V – pogłębienie i badania odwiertu C-1; VI – badania podczas rekonstrukcji odwiertu C-1; VII – eksploatacja odwiertu C-1

Fig. 5. Discharge rate changes of the Basenowe Męskie spring in Cieplice Spa in the individual periods of exploitation (after Liber, 2001, 2008, updated): I – start of exploitation (stabilization); II – drilling and testing of the C-1 and C-2 boreholes; III – stabilization; IV – increased water intake from the C-2 borehole; V – deepening and testing of the C-1 borehole; VI – testing performed during the reconstruction of the C-1 borehole; VII – exploitation of the C-1 borehole



Ryc. 6. Zmiany w cyklu rocznym wydajności ujęcia Młynarz w Szczawnie-Zdroju i opadu atmosferycznego z uwzględnieniem opóźnienia czasu reakcji (wg Liber, 2001)

Fig. 6. The changes in the annual cycle of discharge of the Młynarz intake in Szczawnie-Zdrój, and in the precipitation, taking into account the time lag (after Liber, 2001)

wyraźny wpływ opadów atmosferycznych na zmiany wydajności. Poszczególne ujęcia reagują na zmiany w złożu natychmiast lub po upływie kilku miesięcy (Liber, 2001).

Szczawy typu szczelinowo-porowego płytkiego krążenia, takie jak np. wody lecznicze Szczawnia-Zdroju, charakteryzują się zróżnicowanym czasem przepływu podziemnego – od 10 do 100 lat. Źródła są związane ze strefą uskoku o głębokim zasięgu, wzdłuż której migruje CO₂. Udział wód zwykłych w ujęciach wód leczniczych jest zmienny, rzędu kilkudziesięciu procent. Również zmienna jest ich mineralizacja, wahająca się od 1 do 4 g/dm³.

Wydajności ujęć wód leczniczych Szczawnia-Zdroju wykazują sezonową zmienność w cyklu rocznym (ryc. 6) związaną z naturalną zmiennością opadów atmosferycznych (Liber, 2001).

Na podstawie analizy zmienności wydajności ujęć sudeckich wód leczniczych Liber (2001, 2008, 2009, 2011) wykazała istnienie wyraźnego wpływu warunków zewnętrznych (m.in. atmosferycznych, hydrologicznych i antropogenicznych) na złoża wód leczniczych regionu sudeckiego, które dotąd uważano za niezagrożone. Dotyczy to zwłaszcza złożeń wód bardzo głębokiego krążenia, dla których wpływ naturalnych czynników zewnętrznych dotąd pomijano. Widoczna jest również bardzo wyraźna reakcja ujęć wód leczniczych w obrębie złożeń na zmiany warunków zewnętrznych (zwiększony pobór wód lub eksploatacja nowych ujęć). Cechą charakterystyczną stanowi to, że czas reakcji na zmiany jest zazwyczaj podobny dla wszystkich ujęć w jednym złożu.

Artykuł powstał w ramach badań statutowych nr S50020 prowadzonych na Wydziale Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej.

LITERATURA

- ADAMCZYK-LORENC A. 2007 – Tło hydrogeochemiczne radonu w wodach podziemnych Sudetów. Rozprawa doktorska. PWr., Wydz. Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii.
- CHAU N.D., DULIŃSKI M., JODŁOWSKI P., NOWAK J., ROZANSKI K., SLEZIAK M. & WACHNIEW P. 2011 – Natural radioactivity in groundwater – a review. *Isot. Environ. Health Stud.*, 47 (4): 415–437.
- CIĘŻKOWSKI W. 1980 – Hydrogeologia i hydrochemia wód termalnych Łądko-Zdroju. *Probl. Uzdrow.*, 4 (150): 125–193.
- CIĘŻKOWSKI W. 1983 – Jednostka hydrogeologiczna szczaw Gór Izerskich. *Kwart. Geol.*, 27 (3): 595–604.
- CIĘŻKOWSKI W. 1990 – Studium hydrogeochemii wód leczniczych Sudetów polskich, Pr. Nauk. Inst. Geotech. PWr., nr 60, Wrocław.
- CIĘŻKOWSKI W. & MROCZKOWSKA B. 1985 – Anomalia hydrogeochemiczna Ciepliec Śl. Zdroju. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 55 (3–4): 473–484.
- CIĘŻKOWSKI W. & PRZYLIBSKI T.A. 1997 – Radon in waters from health resorts of the Sudety Mts. (SW Poland). *Appl. Radiat. Isot.*, 48 (6): 855–856.
- CIĘŻKOWSKI W. & SZARSZEWSKA Z. 1978 – O zjawisku mieszania się wód leczniczych z wodami ich otoczenia na przykładzie uzdrowisk sudeckich. *Probl. Uzdrow.*, 6: 167–173.
- CIĘŻKOWSKI W., GRÖNING M., LEŚNIAK P.M., WEISE S.M. & ZUBER A. 1992 – Origin and age of thermal waters in Cieplice Spa, Sudeten, Poland, inferred from isotope, chemical and noble gas data. *J. Hydrol.*, 140: 89–117.
- CIĘŻKOWSKI W., DOKTÓR S., GRANICZNY M., KABAT T., KOZŁOWSKI J., LIBER-MADZIARZ E., PRZYLIBSKI T., TEISSEYRE B., WIŚNIEWSKA M. & ZUBER A. 1996 – Określenie obszarów zasilania wód leczniczych pochodzenia infiltracyjnego w Polsce na podstawie badań izotopowych. Złoża wód: Ciepliec Śląskich Zdroju – zał. 3, Czerniawy-Zdroju – zał. 4, Dusznik-Zdroju – zał. 6, Gorzanowa – zał. 8, Jedliny-Zdroju – zał. 11, Jeleniowa – zał. 12, Kudowy-Zdroju – zał. 18, Łądko-Zdroju – zał. 20, Polanicy-Zdroju – zał. 26, Szczawnia-Zdroju – zał. 35, Świeradowa-Zdroju – zał. 36. ZBU ZDROJE, Wrocław (maszynopis).
- CIĘŻKOWSKI W., DULIŃSKI W., JÓZEFKO I., KIEŁCZAWA B., LIBER-MADZIARZ E., WITCZAK S., ZUBER A. & ŻAK S. 2002 – Występowanie, dokumentowanie i eksploatacja endogenicznego dwutlenku węgla w Polsce. *Wrocł. Tow. Nauk.*, Wrocław.

- CIEŹKOWSKI W., MICHNIEWICZ M. & PRZYLIBSKI T. 2011 – Wody termalne na Dolnym Śląsku. [W:] A. Żelaźniewicz, J. Wojewoda & W. Cieżkowski (red.), *Mezozoik i Kenozoik Dolnego Śląska*, WIND, Wrocław: 107–120.
- CIEŹKOWSKI W., CHOWANIEC J., GÓRECKI W., KRAWIEC A., RAJCHEL L. & ZUBER A. 2010 – Mineral and thermal waters of Poland. *Prz. Geol.*, 58 (9/1): 762–773.
- DOMIN E. & PRZYLIBSKI T.A. 2014 – Występowanie ^{222}Rn w wodach podziemnych metamorfiku kaczawskiego na obszarze bloku przedsudeckiego. [W:] J. Drzymała (red.), *Interdyscyplinarne zagadnienia w górnictwie i geologii*. PWR., Wydz. Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, 5: 33–40.
- CYMERMAN Z. 2004 – Tectonic map of the Sudetes and the Fore-Sudetic Block 1 : 200 000. Mapa tektoniczna Sudetów i bloku przedsudeckiego. Państw. Inst. Geol., Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- DOMINIKIEWICZ M. 1951 – Wody mineralne Polski. PZWL, Warszawa.
- DOWGIAŁŁO J. 1976 – Wody termalne Sudetów. *Acta Geol. Pol.*, 26 (4).
- DOWGIAŁŁO J. 2002 – The Sudetic geothermal region of Poland. *Geothermics*, 31: 343–359.
- DOWGIAŁŁO J., KARSKI A. & POTOCKI I. (red.), 1969 – *Geologia surowców balneologicznych*. Wyd. Geol., Warszawa: 9–142.
- FELTER A., SKRZYPCZYK L., SOCHA M., SOKOŁOWSKI J., STOZEK J. & GRYCZKO-GOSTYŃSKA A. 2015 – Mapa zagospodarowania wód zaliczonych do kopalni w Polsce. PIG-PIB Warszawa.
- FISTEK J. 1977 – Szczawy Kotliny Kłodzkiej i Gór Bystrzyckich. *Biul. Geol. UW*, t. 22.
- FISTEK J. 1979 – Wody lecznicze i mineralne oraz peloidy. [W:] K. Dziezic i in. (red.), *Surowce mineralne Dolnego Śląska*. Ossolineum.
- GOGOLEWSKA A. & WINIARSKA A. 2004 – Zmienność zawartości dwutlenku węgla w górnokarbońskiej serii węglonośnej niecki noworudzkiej (Dolny Śląsk, Polska). *Pr. Nauk. Inst. Gór. PWR.*, Nr 106, Studia i materiały, 30: 73–87.
- IARC 2012 – Radiation. Vol. 100D, A review of human carcinogens. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. International Agency for Research on Cancer, World Health Organization, Lyon, France.
- KIELCZAWA B. 2001 – Zjawisko mieszania się wód Gorzanowa na tle złóż wód rowu górnej Nysy Kłodzkiej, *Pr. Nauk. Inst. Gór., PWR.*, 92: 85–93.
- KOTARBA M. 1988 – Geochemiczne kryteria genezy gazów akumulowanych w serii węglonośnej górnego karbonu niecki wałbrzyskiej. *Zesz. Nauk. AGH, Geologia*, z. 4.
- KOTARBA M. 1990 – Isotopic geochemistry and habitat of the natural gases from the Upper Carboniferous Zacler coal bearing formation in the Nowa Ruda coal district (Lower Silesia, Poland), *Org. Geochem.*, 16.
- KOZŁOWSKA B., WALENICK A. & DORDA J. 2008 – Natural radioactivity and dose estimation in underground water from the Sudety Mountains in Poland. *Radiat. Prot. Dosimetr.*, 128 (3): 331–335.
- KOZŁOWSKA B., WALENICK A., PRZYLIBSKI T.A., DORDA J. & ZIPPER W. 2010 – Uranium, radium and radon isotopes in selected brines of Poland. *Nukleonika*, 55 (4): 519–522.
- KOZŁOWSKI J. 1997 – Zjawisko mieszania się wód na przykładzie wybranych złóż wód leczniczych w Polsce, [W:] J. Górski & E. Liszkowska (red.), *Współczesne problemy hydrogeologii*, Wyd. WIND, Wrocław, 8: 347–352.
- LANGELIER W.F. & LUDWIG H.F. 1942 – Graphical method for indicating the mineral character of natural waters. *J. Am. Waterworks Assoc.*, 34: 335–352.
- LIBER A. & LIBER-MAKOWSKA E. 2012 – Nowe metody analizy i predykcji spektralnej zmienności wydajności ujęć wód leczniczych z samowpływem oraz ich zastosowanie w badaniach zasobów wód leczniczych na Dolnym Śląsku. *Ofic. Wyd. PWR.*, Wrocław.
- LIBER E. 2001 – Zmienność wydajności ujęć wód leczniczych eksploatowanych samoczynnie ze złóż sudeckich. *Rozprawa doktorska*. PWR., Wydz. Gór., Wrocław (niepublikowane).
- LIBER E. 2008 – The dynamic changes of thermal waters modifying their admissible volume extracted from intakes in Cieplice Śląskie Zdrój. *Technika Poszukiwań Geol.*, 47 (1/2): 17–38.
- LIBER-MAKOWSKA E. 2009 – Charakterystyka opróżniania zbiornika wód szczelinowych głębokiego krążenia na przykładzie złożeń wód termalnych Łądko-Zdroju. *Biul. Państw. Inst. Geol., Hydrogeol.*, 9/2: 317–322.
- LIBER-MAKOWSKA E. 2011 – Dynamiczne oddziaływanie pomiędzy ujęciami wód termalnych Łądko-Zdroju. *Technika Poszukiwań Geologicznych.*, 50 (1/2): 71–79.
- LIS J. & HAŁAS S. 1980 – Preliminary results of stable carbon isotopes studium in Sudetic and Carpathian mineral waters. *ZFI-Mitteilungen*, 29: 69–82.
- PACZYŃSKI B. & PŁOCHNIEWSKI Z. 1996 – Wody mineralne i lecznicze Polski. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PACZYŃSKI B. & SADURSKI A. (red.) 2007 – *Hydrogeologia regionalna Polski, t. II – Wody mineralne, lecznicze i termalne oraz kopalniane*. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PILICH A., KULIKOWSKA J. & MADEYSKI A. 1979 – Ujęcia wód mineralnych i słabo zmineralizowanych w Polsce. *Probl. Uzdrow.*, 3/6 (137–140): 620.
- PRZYLIBSKI T.A. 2000 – Size estimation and protection of the areas supplying radon to groundwater intakes. *Arch. Environ. Protect.*, 26 (1): 55–71.
- PRZYLIBSKI T.A. 2005 – Radon. Składnik swoisty wód leczniczych Sudetów. *Ofic. Wyd. PWR.*, Wrocław.
- PRZYLIBSKI T.A. 2007a – Radon as a natural radioactive tracer for studying crystalline rock aquifers – a few usage concepts. *Acta Universitatis Wratislaviensis, No. 3041, Hydrogeologia*, 125–142.
- PRZYLIBSKI T.A. 2007b – Radon i rad. Rozdział 1.6.6. [W:] A. Zuber, K. Różański, W. Cieżkowski (red.), *Metody znacznikowe w badaniach hydrogeologicznych*. Poradnik metodyczny. *Ofic. Wyd. PWR.*, Wrocław: 329–332.
- PRZYLIBSKI T.A. 2011 – Shallow circulation groundwater the main type of water containing hazardous radon concentration. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11: 1695–1703.
- PRZYLIBSKI T.A. 2015 – Radon research in Poland: A review. *Solid State Phenomena*, 238: 90–115.
- PRZYLIBSKI T.A., DORDA J. & KOZŁOWSKA B. 2002 – The occurrence of ^{226}Ra and ^{228}Ra in groundwaters of the Polish Sudety Mountains. *Nukleonika*, 47 (2): 59–64.
- PRZYLIBSKI T.A., MAMONT-CIEŚLA K., KUSYK M., DORDA J. & KOZŁOWSKA B. 2004 – Radon concentrations in groundwaters of the Polish part of the Sudety Mountains (SW Poland). *J. Environ. Radioact.*, 75 (2): 193–209.
- PRZYLIBSKI T., ADAMCZYK-LORENC A. & ŻAK S. 2007 – Obszary występowania potencjalnie leczniczych wód radonowych w Sudetach. [W:] S. Wołkowicz (red.), *Potencjał radonowy Sudetów wraz z wyznaczeniem obszarów występowania potencjalnie leczniczych wód radonowych*. Państw. Inst. Geol., Warszawa: 107–179.
- PRZYLIBSKI T.A., FIJAŁKOWSKA L. & BIELECKA A. 2008 – Potencjalnie lecznicze wody radonowe Masywu Ślęży. *Prz. Geol.*, 56 (8/2): 763–771.
- PRZYLIBSKI T.A., GORECKA J., KULA A., FIJAŁKOWSKA-LICHWA L., ZAGOŹDŻON K., ZAGOŹDŻON P., MIŚTA W. & NOWAKOWSKI R. 2014 – ^{222}Rn and ^{226}Ra activity concentrations in groundwaters of southern Poland: new data and selected genetic relations. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 301 (3): 757–764.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. *Dz.U. z 2015 r. poz. 1989*.
- TASSI F., VASELLI O., MORATTI G., PICCARDI L., MINISSALE A., POREDA R., DELGADO HUERTAS A., BENDKIK A., CHENAKEB M. & TEDESCO D. 2006 – Fluid geochemistry versus tectonic setting: the case study of Morocco, [W:] G. Moratti & A. Chalouan (red.), *Tectonics of the Western Mediterranean and North Africa*. *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 262: 131–145.
- USTAWA z dnia 28 lipca 2005 r. o lecznictwie uzdrowiskowym, uzdrowiskach i obszarach ochrony uzdrowiskowej oraz o gminach uzdrowiskowych. *Dz.U. z 2005 r. Nr 167 poz. 1399 z późn. zm.*
- USTAWA Prawo geologiczne i górnicze z dnia 9 czerwca 2011 r. *Dz.U. z 2015 r. poz. 196 j.t.*
- WALENICK A., KOZŁOWSKA B., PRZYLIBSKI T.A., DORDA J. & ZIPPER W. 2010 – Natural radioactivity of groundwater from the Przerzeczyn-Zdrój Spa. *Nukleonika*, 55 (2): 169–175.
- WALENICK A., KOZŁOWSKA B., DORDA J. & ZIPPER W. 2012 – Long lived natural radioactive elements in spa waters of southern Poland – Dose assessment and health hazard evaluation. *Acta Phys. Pol., Series B*, 43 (2): 345–350.
- www.psh.gov.pl
- ŻAK S., PRZYLIBSKI T.A. & CIEŹKOWSKI W. 2008 – Określenie zawartości dwutlenku węgla w powietrzu glebowym w rejonach występowania szczaw. *Ofic. Wyd. PWR.*, Wrocław.