

Potencjalnie lecznicze wody radonowe Masywu Ślęży

Tadeusz Andrzej Przylibski¹, Lidia Fijałkowska¹, Aleksandra Bielecka¹



T.A. Przylibski

L. Fijałkowska

A. Bielecka

Potentially therapeutic radon waters of Ślęża Massif. *Prz. Geol.*, 56: 763–771.

A b s t r a c t. The authors have conducted research on radon occurrence in the groundwater system of Ślęża Massif in the Fore-Sudetic block. The research included documenting occurrence of radon waters in the granitoids of Strzegom-Sobótka Massif, building NW and W slopes of Ślęża. Among several springs flowing out from the granitoids and their waste, the Kłazstorne Spring is characterized by constant radon (²²²Rn) concentration (306 ± 39 Bq/dm³), but also constant though small discharge during the year, which enables estimating the admissible volume of this spring at 0.3 m³/h. The results obtained during the research show that this water can

be treated as potentially medicinal. It generates the opportunity for the nearby town of Sobótka to develop as a health resort. Confirming the presence of radon groundwater in the granitoid part of Ślęża Massif implies a great probability that such water may occur in the whole area of the Strzegom-Sobótka intrusion. It opens possibilities of recognizing new resources of potential therapeutic water and entails the necessity to take suitable actions for radiological protection of people living in this area.

Keywords: radon, ²²²Rn, groundwater, radon water, medicinal water, potential therapeutic water

Rozprawę tę dedykujemy zmarłej przedwcześnie Annie Olchowej, której praca magisterska zainspirowała nas do pogłębienia badań w Masywie Ślęży

Pod Wrocławiem z głową w chmurach stoi Ślęża, święta góra. Na niej to przed z górą lat tysiącem lud słowiański wielbił Słońce. Oni stojąc to w kamiennym kręgu czcili wiernie Dawcę Życia — Słońce — Boga Ojca Swarozycza, które blaskiem swym rozdaje ciepło, zdrowie, urodzaje. Cytat ten, zapewne niezbyt wierny, zaczerpnięty z jednej z książeczek dla dzieci opisujących *Włóczęgi misia Łazęgi* (cz. 1 — Wydaw. Artyst. Graf., Katowice 1970; cz. 2 — Wydaw. Artyst. Graf., Wrocław 1972) charakteryzuje bardzo dobrze obszar badań autorów, a jednocześnie tematykę podjętych prac. Ten samotny masyw górski, leżący zaledwie 35 km na SSW od Wrocławia, wyraźnie zaznacza się w krajobrazie Przedgórze Sudeckiego i stanowi jego najwyższe wzniesienie — 718 m n.p.m. Pod względem budowy geologicznej należy on do Sudetów, a bardziej szczegółowo rzecz ujmując, leży na bloku przedsudeckim. Ze względu na charakterystyczną dla całych Sudetów mozaikową budowę geologiczną także skały Masywu Ślęży zawierają różnego rodzaju bogactwa naturalne. Są nimi surowce skalne od dawna eksploatowane w kilku kamieniołomach, jak również takie surowce, jak: chromit, ilmenit, magnetyt czy magnezyt. Nie jest to ani pełna, ani też zamknięta lista bogactw naturalnych Masywu Ślęży (Sachanbiński i in., 1995, 2005; Migoń, 2005a; Żelaźniewicz, 2005).

Prowadzone przez autorów badania trwają od listopada 2002 r. Wówczas po raz pierwszy w wodach podziemnych Masywu Ślęży pomiary stężenia aktywności radonu (²²²Rn) zaczął prowadzić Tadeusz Przylibski, a ich wyniki zostały w części opublikowane (Przylibski, 2005a, b). W kolejnych latach badania zostały tak rozszerzone (Olchowa, 2005; Fijałkowska, 2007), że w tym tekście

zostaną poruszone problemy związane z występowaniem wód radonowych w Masywie Ślęży, które zgodnie z propozycją Dowgiałły (2002) mogą być traktowane jako wody potencjalnie lecznicze. Są one kolejnym, do tej pory nieznanym, bogactwem naturalnym Masywu Ślęży i jednocześnie surowcem mogącym służyć poprawie zdrowia.

Wykorzystanie wód radonowych, a przede wszystkim rozpuszczonego w nich radonu, w lecznictwie uzdrowiskowym opiera się na teorii hormezy radiacyjnej. Według tej teorii odpowiednie dawki promieniowania jonizującego (tzw. małe dawki) w ostatecznym rozrachunku mogą oddziaływać pozytywnie na organizm człowieka pomimo początkowej toksyczności (Calabrese & Baldwin, 2002a). Na podstawie tej teorii zabiegi balneoterapeutyczne z wykorzystaniem wód radonowych są prowadzone w wielu uzdrowiskach Niemiec, Czech, Austrii, Rosji, Japonii, Polski i innych krajów od ponad 100 lat, tj. niemal natychmiast po odkryciu zjawiska promieniotwórczości i radonu (Przylibski, 2005a; Przylibski & Olszewski, 2006).

W ochronie radiologicznej wciąż jednak jest uznawana tzw. liniowa teoria bezprogowa zależności skutku biologicznego od dawki promieniowania jonizującego, według której nawet najmniejsze dawki działają szkodliwie na organizm człowieka, czego mają dowodzić wyniki niektórych badań (np. Darby i in., 2001, 2005). Zgodnie z tą teorią są formułowane zalecenia organizacji międzynarodowych (np. Światowej Organizacji Zdrowia WHO), a także Komisji Europejskiej oraz przepisy obowiązujące w wielu państwach (np. w Czechach, Słowacji, Rosji, Szwecji, Finlandii, Norwegii, Wielkiej Brytanii, USA). Określają one limity dopuszczalnego stężenia radonu w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi i użycia w gospodarstwach domowych w publicznych i prywatnych ujęciach wód (podziemnych) (Åkerblom, 1999; *Commission Recommendation...*, 2001; WHO, 2004).

W ostatnich latach, tj. na początku XXI w., w czołowych czasopiśmie naukowych zostały opublikowane

¹Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wroclawska, Wybrzeże S. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław; Tadeusz.Przylibski@pwr.wroc.pl

artykuły, jeżeli nie dowodzące teorii hormezy radiacyjnej, to niesprzeczne z nią, a jednocześnie przeczące słuszności bezprogowej teorii liniowej (Piispanen, 2000; Bogen, 2001; Schöllnberger i in., 2001; Calabrese & Baldwin, 2002b, 2003; Lázár i in., 2003; Johansson, 2003). Na podstawie tych artykułów z całą pewnością nie można wykluczyć, że w określonych warunkach ekspozycji lub dla określonej populacji ekspozycja na promieniowanie jonizujące może być pożyteczna dla organizmu. Ponieważ dawka zależy nie tylko od stężenia substancji promieniotwórczej (np. radonu) w danym środowisku, ale także od czasu przebywania człowieka w tym środowisku, dlatego też można stwierdzić, że niewielkie dawki otrzymywane przez kuracjuszy w czasie kilkunasto–kilkudziesięciminutowych zabiegów w ciągu trzytygodniowego pobytu w uzdrowisku mogą oddziaływać pozytywnie na stan ich zdrowia. Natomiast codzienne wykorzystywanie wody radonowej w gospodarstwie domowym może prowadzić do otrzymania dużej dawki, która może niekorzystnie oddziaływać na stan zdrowia mieszkańców takiego domu, co jest zgodne i z teorią hormezy radiacyjnej, i z bezprogową teorią liniową oddziaływania promieniowania jonizującego na organizm człowieka.

W świetle teorii hormezy radiacyjnej nie ma sprzeczności pomiędzy leczniczym wykorzystywaniem niewielkich dawek promieniowania jonizującego pochodzącego od radonu i jego pochodnych stosowanych w krótkotrwałych zabiegach balneoterapeutycznych a koniecznością ograniczania narażenia ludności na duże dawki, związane z codziennym użytkowaniem wód radonowych w gospodarstwach domowych. Wciąż jednak pozostaje otwarta kwestia dokładnego zdefiniowania wielkości tzw. małych dawek. Więcej informacji dotyczących oddziaływania promieniowania jonizującego i radonu na organizm człowieka można znaleźć np. w publikacjach: Hryniewicz, 2001; Kochański, 2002; Przylibski, 2005a, 2006a, b; Przylibski & Olszewski, 2006.

Wody radonowe występują w Sudetach powszechnie. Ich charakterystykę, genezę, a przede wszystkim genezę i zmiany stężenia rozpuszczonego w nich radonu jako składnika nadającego tym wodom podziemnym właściwości lecznicze szczegółowo przedstawił Przylibski (2005a), natomiast radonowe tło hydrogeochemiczne w wodach podziemnych Sudetów scharakteryzowała Adamczyk-Lorenc (2007). Dopełnieniem tych badań jest określenie obszarów występowania potencjalnie leczniczych wód radonowych w Sudetach (Przylibski i in., 2007a).

Mimo podobnej budowy geologicznej bloku przedsudeckiego, obszar ten do chwili obecnej nie był przedmiotem tak szczegółowych badań, jak miało to miejsce w Sudetach. Dotyczy to nie tylko wód radonowych, ale także wszystkich pozostałych potencjalnie leczniczych wód — swoistych, mineralnych i termalnych. Dotychczasowe wyniki badań w tym zakresie oraz możliwości rozpoznania nowych wystąpień tych cennych wód podziemnych zebrano w pracy Przylibskiego i współautorów (2007b) realizowanej na zamówienie ministra środowiska. Natomiast przedstawione w tym artykule wyniki badań dotyczą rozpoznania występowania potencjalnie leczniczych wód radonowych jedynie w niewielkim obszarze bloku przedsudeckiego — w Masywie Ślęży. Podobne prace badawcze rozpoczęto już także w innych obszarach bloku przedsudeckiego.

Charakterystyka obszaru badań

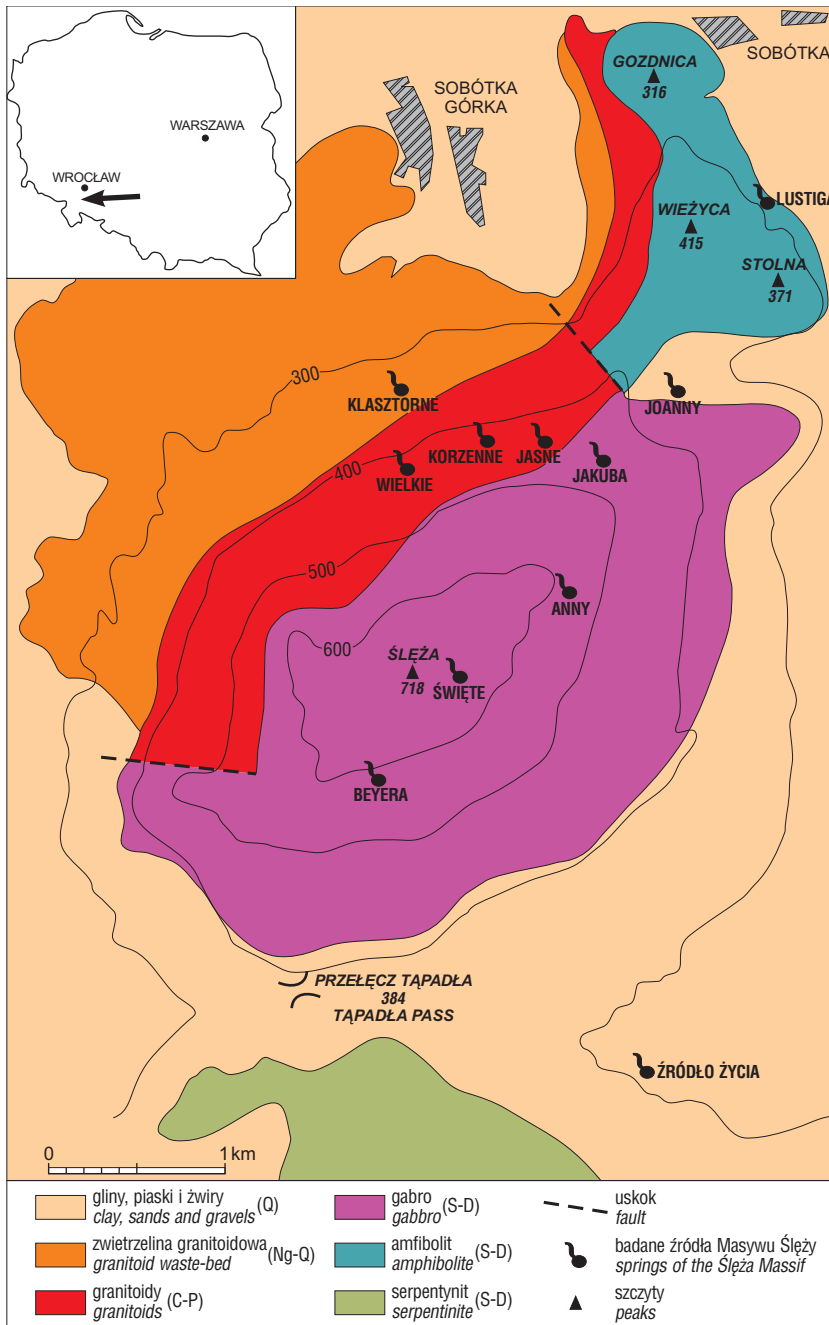
Rejon badań położony jest w obrębie dużej jednostki geologicznej, jaką jest blok przedsudecki. Należy on do struktury Sudetów, stanowiących północno-wschodnią część masywu czeskiego, który jest częścią środkowoeuropejskiego pasa waryscydu. Tworzy go proterozoiczno-paleozoiczna seria skał krystalicznych, przykrytych osadami neogenu i czwartorzędu. Starsze skały krystaliczne odsłaniają się na powierzchni w masywach: Ślęży, Strzegomia, Strzelina-Kamieńca Żąbkowickiego oraz w strefie Niemczy. Masyw Ślęży należy do struktur Sudetów Zachodnich (Oberc, 1972, 1995; Stupnicka, 1989; Żelaźniewicz, 1995, 1997, 2005; Żelaźniewicz i in., 1995; Cwojdzński & Żelaźniewicz, 1995; Franke & Żelaźniewicz, 2000; Aleksandrowski i in., 2000; Aleksandrowski & Mazur, 2002; Oberc-Dziedzic i in., 2005; Mazur i in., 2006).

Masyw Ślęży jest zbudowany z gabra, granitoidów, amfibolitów (metabazaltów i metadiabazów) oraz serpentynitów, a podrzędnie także łupków krystalicznych (ryc. 1). Środkową, największą część masywu stanowi ciemnozielone, grubokrystaliczne gabro złożone głównie z piroksenów i plagioklazów. Jego wiek ocenia się na 420–400 mln lat (późny sylur/wczesny dewon). Amfibolity (metabazalty i metadiabazy reprezentujące serię subwulkanicznych dajek pakietowych i law poduszkowych) tworzą szereg wzgórz na północny-wschód od wierzchołka Ślęży. Serpentytyny, reprezentujące głównie harzburgity (człon ultramaficzny ofiolitu) zmetamorfizowane w wyniku przeobrażenia dna morskiego, o barwie od jasnozielonej do niemal czarnej, występują w południowej części masywu, po południowej stronie przełęczy Tapadła. Wymienione skały są obecnie uważane za serię ofiolitową, będącą fragmentem pierwotnej skorupy oceanicznej (Gaździk, 1957; Majerowicz & Maciejewski, 1979; Pin i in., 1988; Majerowicz, 1994; Cwojdzński & Żelaźniewicz, 1995; Żelaźniewicz, 2005). Staropaleozoiczne łupki krystaliczne odsłaniają się fragmentarycznie na północnych stokach Ślęży. Stanowią one metamorficzną osłonę masywu granitoidowego Strzegomia-Sobótki.

Znaczący udział w budowie Masywu Ślęży ma waryscyjska intruzja granitoidowa, stanowiąca fragment masywu Strzegomia-Sobótki, z której są zbudowane północno-zachodnie i zachodnie zbocza Ślęży. W tym rejonie dominuje dolnopermski (280–300 mln lat) granodioryt biotytowy i dolnokarboński (325–330 mln lat) granit dwukwaszowy, aczkolwiek występuje również odmiana leukogranitowa oraz granity skaolinizowane. Skały te charakteryzuje najczęściej średniokrystaliczna, czasami porfirowata struktura i na ogół jasnoszara barwa (Gaździk, 1957; Majerowicz, 1979; Puziewicz, 1990; Jamrozik, 1995; Majerowicz & Mierzejewski, 1995; Cwojdzński & Żelaźniewicz, 1995; Puziewicz & Oberc-Dziedzic, 1995; Żelaźniewicz, 2005).

Na wszystkich zboczach Ślęży występują neogeńskie i czwartorzędowe pokrywy rumoszowe, zwietrzelinowe i blokowiska, najczęściej zbudowane z gabra oraz granitu. W wyższych partiach spotkać można także samotne skałki lub grupy skalne (klify mrozowe) (Migoń, 2005b).

Skały krystaliczne bloku przedsudeckiego charakteryzują się najczęściej małą i zmienną pojemnością, jedynie w uprzywilejowanych strefach (np. tektonicznych) mogą wykazywać średnią i dużą wodonośność. Mineralizacja



Ryc. 1. Lokalizacja badanych źródeł i ujęć wód podziemnych na tle szkicu geologicznego rejonu Ślęży (wg Gaździka, 1957)

Fig. 1. Location of the investigated springs and intakes of groundwater on the geological sketch of the Ślęza area (after Gaździk, 1957)

wód podziemnych tego obszaru jest mała i rzadko przekracza 1 g/dm^3 . Wody o czasie podziemnego przepływu (wieku) rzędu kilku, kilkunastu lat charakteryzują się z reguły dobrą jakością. Niestety stan rozpoznania zasobów i jakości wód podziemnych występujących w skałach krystalicznych bloku przedsudeckiego jest co najwyżej skromny (Kryza, 1995; Fistek i in., 1995; Staško, 2005; Przylibski i in., 2007b).

W Masywie Ślęży badania wód podziemnych prowadził Staško (1996). Obejmowały one wody występujące w obrębie gabra oraz granitoidów w rejonie góry Ślęży. Wody te były także przedmiotem prac Olchowej (2005), a wody występujące w granitoidach również Fijałkowskiej (2007) i Bieleckiej (niepublikowane). W mniejszym zakre-

sie Przylibski badał wody występujące w granitoidach, gabrach, a także amfibolitach i serpentynitach. Ich wyniki były tylko w małej części opublikowane (Przylibski, 2005a, b).

Na podstawie wyników badań Staški (1996) należy stwierdzić, że w rejonie góry Ślęży opisano występowanie 28 źródeł stałych i okresowych. Większość z nich występuje w obrębie skał granitoidowych. Głównym czynnikiem zasilaającym źródła są opady atmosferyczne i wody roztopowe. Maksymalne wydajności w okresie jesiennym cechują źródła wypływające z gabra, natomiast w okresie wiosennym największą wydajność mają źródła wypływające z granitoidów. Wiosną, a rzadziej jesienią są także czynne liczne źródła okresowe. Wody podziemne wypływające ze ślęzańskich źródeł są wodami płytkiego krążenia, siarczanowo-(wodorowęglanowo)-wapniowo-(magnezowo)-(sodowymi). Charakterystykę tych wód na podstawie wyników badań Staški (1996), Olchowej (2005), Fijałkowskiej (2007), Przylibskiego (2005a, b) i niepublikowanych wyników badań autorów przedstawiono syntetycznie w tabelach 1 i 2.

Uwzględniając zakresy oraz średnie wartości stężenia aktywności ^{222}Rn w wodach podziemnych wypływających z badanych źródeł stwierdzono, że wody radonowe wypływają jedynie ze źródeł zlokalizowanych wśród granitoidów (ryc. 1). Jest to zgodne z wynikami wcześniejszych badań na obszarze Sudetów (m.in. Przylibski, 2005a). Dlatego też do dalszych szczegółowych badań na górze Ślęży wybrano jedynie źródła wypływające z granitoidów.

Metody badań

W czasie prac terenowych autorzy wykonywali pomiary podstawowych parametrów wód podziemnych, tj. wydajności źródeł (Q), przewodności elektrolitycznej właściwej (PEW), temperatury wody (T), a także stosując współczynnik przeliczeniowy $k = 0,7$ do uzyskanych wartości PEW, szacowano mineralizację ogólną wody ($\text{TDS} = 0,7\text{PEW}$). Wartość k przyjęto arbitralnie na podstawie prac Hema (1985) i Dojlidy (1995), uwzględniając siarczanowy typ chemiczny badanych wód, wykazany przez Staškę (1996). Do pomiarów tych wykorzystano konduktometr firmy SLANDI z odpowiednią elektrodą zespoloną. W czasie pomiarów pobierano również próbki wody do oznaczenia stężenia aktywności ^{222}Rn , a za pomocą odbiornika GPS ustalano położenie badanych źródeł i zaznaczano je na mapie (ryc. 1).

W zależności od stosowanej metody oznaczania stężenia aktywności radonu pobierano próbki do 4 szklanych pojemników o objętości $0,33 \text{ dm}^3$ każdy ze szczelnym pla-

Tab. 1. Skrócona charakterystyka źródeł i ujęć oraz wypływających w nich wód podziemnych Masywu Ślęży (wg Staški, 1996; Olchowej, 2005; Przylibskiego, 2005a, b; Fijałkowskiej, 2007, a także niepublikowanych wyników badań autorów)

Table 1. Simplified characteristics of springs and intakes of the Ślęża Massif and groundwater flowing out of these springs and intakes (after Staško, 1996; Olchowa, 2005; Przylibski, 2005a, b; Fijałkowska, 2007, as well as author's own unpublished research results)

Typ skały zbiornikowej <i>Type of reservoir rock</i>	Źródło (ujęcie) <i>Spring (intake)</i>	Wysokość [m n.p.m.] <i>Altitude [m a. s. l.]</i>	Q [m ³ /h]	T [°C]	PEW [μS/cm]	pH
granitoid <i>granitoid</i>	Klasztorne	320	0,32–1,44	7,7–12,1	148–203	5,0
	Jasne	433	0,06–8,064	5,1–9,5	186–277; 175*	5,5–6,6
	Korzenne	440	0,03–6,084	5,5–11,5	187–224; 215*	5,4–6,6
	Wielkie	428	0,0036–6,30	2,8–8,4	167,5–171,9 197*	5,5–6,1
gabro <i>gabbro</i>	Jakuba	476	0,023–0,343	5,0–10,6	252–303,3	5,8–6,6
	Joanny**	357	0,002–0,04	13,7–14,6***	246,5–263,5;	5,9–6,5
	Anny	552	0,0036–0,0432	4,4–10,2	209*	5,8–6,6
	Beyera	570	0,0072–0,324	3,6–12,0	167,1–196,5; 185*	5,6–7,1
	Święte	660	0,0072–0,90	2,7–12,2	b.d.	4,9–6,8
amfibolit <i>amphibolite</i>	Lustiga	282	0,003–0,252	3,6–12,4	263–303,6	6,0–6,8
serpentyt <i>serpentine</i>	Źródło Życia	292	0,72–0,828	9,6–10,1	375–412	7,7–8,0

* sucha pozostałość [mg/dm³]; ** wypływ w rejonie kontaktu amfibolit/gabro; *** tylko wyniki pomiarów letnich; b.d. — brak danych* dry residue [mg/dm³]; ** outflow in the vicinity of the amphibolite/gabbro contact; *** results of only summer measurements; b.d. — no data**Tab. 2. Charakterystyka badanych wód podziemnych Masywu Ślęży pod względem zawartości radonu (²²²Rn)**Table 2. Characteristics of the investigated groundwater of the Ślęża Massif according to radon (²²²Rn) content

Nazwa źródła (ujęcia) <i>Name of spring (intake)</i>	Skała zbiornikowa <i>Reservoir rock</i>	Okres badań <i>Research period</i>	Liczba pomiarów <i>Number of measurements</i>	Stężenie aktywności ²²² Rn w wodzie źródła (ujęcia) <i>²²²Rn activity concentration in spring (intake) water</i>				
				Minimum <i>Minimum</i>	Maksimum <i>Maximum</i>	Średnia arytmetyczna <i>Arithmetic mean</i>	Mediana <i>Median</i>	Odchylenie standardowe <i>Standard deviation</i>
				[Bq/dm ³]				
Źródło Życia	serpentyt <i>serpentine</i>	12.11.2002 –15.07.2005	12	1,0	1,4	1,2	1,1	0,1
Jakuba (Zagłoba)	gabro <i>gabbro</i>	21.03.2003 –20.07.2005	10	6,5	9,3	7,5	7,4	0,8
Joanny	gabro/ amfibolit <i>gabbro/ amphibolite</i>	22.07.2003 –15.07.2005	3	6,5	12,1	8,9	8,1	5,6*
Lustiga	amfibolit <i>amphibolite</i>	25.05.2003 –28.01.2004	5	7	10,5	8,2	7,8	1,4
Jasne	granitoid <i>granitoid</i>	19.01.2003 –20.07.2005	10	127	229	176,1	160,5	37,5
Korzenne	granitoid <i>granitoid</i>	06.08.2003 –20.07.2005	7	66,3	164	99,9	77,6	39,1
Klasztorne	granitoid <i>granitoid</i>	23.08.2004 –05.01.2008	13	278	335	306,2	306,0	19,6

* ze względu na liczbę danych zamiast wartości odchylenia standardowego podano wartość rozstępu

* according to the number of data instead of standard deviation value a range value is presented

stikowym korkiem lub do specjalnych szklanych naczynek o objętości 0,02 dm³ każde, wypełnionych 0,01 dm³ ciekłego scyntylatora. Bez względu na rodzaj pojemnika dbano, by próbkę wody pobierać możliwie najbliżej miejsca wypływu wody na powierzchnię. Naczynia o pojemności 0,33 dm³ napełniano w taki sposób, aby woda wpływała

laminarnie. Dbano przy tym o całkowite wypełnienie naczyń, tak aby nie pozostawić gazowej poduszki pod korkiem. Wszystkie opisane czynności miały zapobiegać odgazowaniu próbki. Natomiast do naczynek wypełnionych ciekłym scyntylatorem próbkę wody o objętości 0,01 dm³ wstrzykiwano strzykawką pod warstwę scyn-

tylatora. Następnie naczynko szczelnie zamykano i kilkakrotnie energicznie wstrząsano, aby radon rozpuszczony w wodzie mógł przejść do scyntylatora, w którym jest lepiej rozpuszczalny.

Pobrane próbki wody dostarczano do laboratoriów wykonujących analizy zawartości radonu w czasie nie dłuższym niż 48 godzin od momentu pobrania w terenie ze względu na okres połowicznego rozpadu ^{222}Rn , który wynosi 3,8224 doby (Collé, 1995a,b). Pozwalało to na oznaczenie stężenia radonu z maksymalną dokładnością dla każdej ze stosowanych metod pomiarowych.

Próbki pobrane do naczyń o pojemności 0,33 dm³ transportowano do Laboratorium Hydrogeologicznego Instytutu Górniczo Politechniki Wrocławskiej, gdzie wykonywano pomiar stężenia ^{222}Rn . Oznaczenia stężenia aktywności ^{222}Rn wykonano, korzystając z systemu pomiarowego złożonego z monitora *AlphaGuard*TM, który określa stężenie radonu w komorze jonizacyjnej, oraz zestawu *AquaKit*TM i pompki *AlphaPump*TM. Zestaw ten służy do przeprowadzenia rozpuszczonego radonu z wody do fazy gazowej w zamkniętym obiegu powietrza: *AlphaGuard*TM — *AlphaPump*TM — *AquaKit*TM. Przeliczenie stężenia radonu w powietrzu komory jonizacyjnej na stężenie radonu w badanej próbce wody wykonano z wykorzystaniem programu komputerowego *AlphaExpert*TM oraz algorytmów opracowanych przez firmę *Genitron Instruments GmbH* — producenta całego systemu pomiarowego. Dolny próg detekcji metody wynosi ok. 0,05 Bq/dm³. Szczegółowy opis tej metody pomiarowej można znaleźć np. w pracach Przylibskiego i Adamczyk (2003) oraz Przylibskiego (2005a).

Naczynka ze scyntylatorem i próbką wody transportowano do Laboratorium Badania Niskich Aktywności Instytutu Fizyki Uniwersytetu Śląskiego. Pomiar stężenia aktywności ^{222}Rn wykonuje się w tym laboratorium techniką ciekłoscyntylacyjną. W tym celu wykorzystuje się licznik ciekłoscyntylacyjny *1414 WinSpectral α/β* firmy *Wallac*. Dolny próg detekcji dla tej metody wynosi ok. 0,2 Bq/dm³. Bardziej szczegółowy opis tej metody pomiarowej można znaleźć w pracach Kozłowskiej i współautorów (1999) oraz Przylibskiego (2005a).

Uzyskane w obu laboratoriach wyniki pomiarów przeliczono każdorazowo na czas pobrania próbki — przedstawione w artykule wartości stężenia radonu w badanych wodach podziemnych odnoszą się do momentu pobrania próbki.

Na podstawie przeprowadzonych kilkakrotnie eksperymentów porównawczych można stwierdzić, że wyniki uzyskiwane w obu wymienionych laboratoriach są zgodne, co umożliwia ich porównywanie i zestawianie w celu wykonania dalszych analiz (Przylibski, 2005a; Przylibski i in., 2005).

Uzyskane wyniki i ich interpretacja

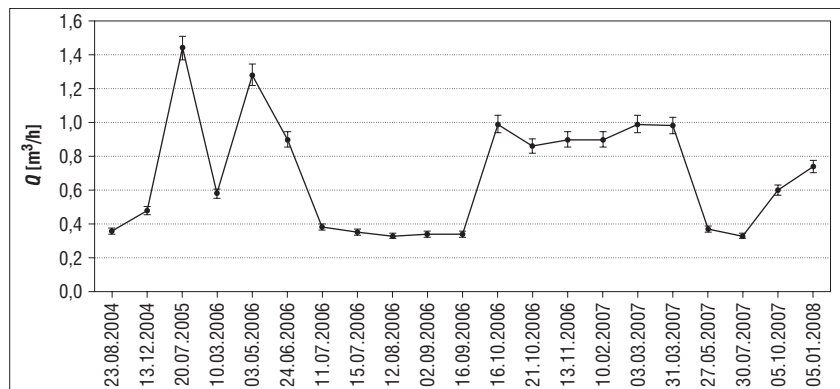
Według klasyfikacji Przylibskiego (2005a) wody podziemne wypływające z ujęcia „Źródło Życia”, zlokalizowanego w serpentynitach, należą do wód ubogich w radon. Wody ze źródeł zlokalizowanych w gabrze i amfibolicie również należą do wód ubogich w radon (średnia wartość stężenia aktywności ^{222}Rn mie-

ści się w przedziale 1–9,9(9) Bq/dm³), chociaż w dwóch z nich (Joanny i Lustiga) maksymalne zanotowane wartości stężenia aktywności ^{222}Rn przekraczają wartość 10 Bq/dm³. Natomiast wody wypływające ze źródeł szczelinowych (Jasne) i rumoszowych (Korzenne) zlokalizowanych w granitoidach lub ich zwietrzelinie (Klasztorne) są wodami podziemnymi o znacznie (do 2 rzędów wielkości) większych stężeniach radonu (por. tab. 2). Wody ze źródła Korzenne należy zaliczyć do wód niskoradonowych (zawartość ^{222}Rn 10–99,9(9) Bq/dm³), a pozostałe wody do wód radonowych (zawartość ^{222}Rn 100–999,9(9) Bq/dm³). Potwierdza to silną zależność zawartości radonu w wodach podziemnych od rodzaju ich skał zbiornikowych. Według danych przedstawionych przez Przylibskiego (2005a) w Sudetach największe wartości stężenia ^{222}Rn są notowane w wodach podziemnych przepływających w granitach i gnejsach (ortognejsach). Jest to związane z największymi zawartościami macierzystego ^{226}Ra w tych właśnie skałach (Przylibski, 2004, 2005a).

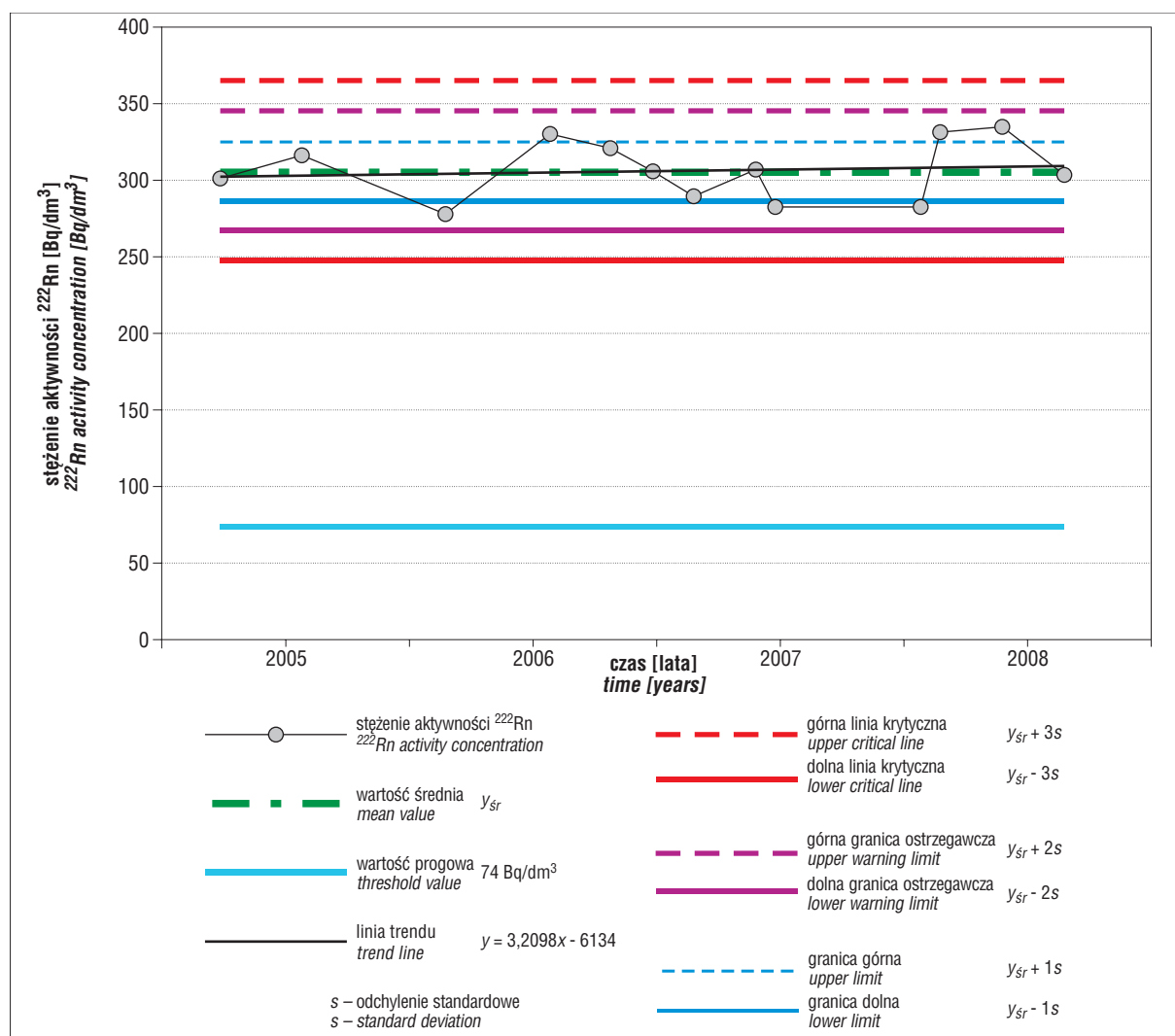
Zarówno wody radonowe, jak i część wód niskoradonowych, zawierających nie mniej niż 74 Bq/dm³ ^{222}Rn , mogą ze względu na zawartość tego gazu zostać uznane za wody potencjalnie lecznicze. Jednakże wodami potencjalnie leczniczymi powinny być wody, które niezmiennie charakteryzują się cechami nadającymi im właściwości lecznicze (Dowgiałło, 2002). W przypadku wód z badanych źródeł tego wymogu nie spełniają wody podziemne wypływające w źródle Korzenne, gdyż okresowo zawierają one mniejsze od 74 Bq/dm³ koncentracje aktywności ^{222}Rn (por. tab. 2).

Drugą cechą pozwalającą na rozpoczęcie badań w celu doprowadzenia do ustalenia leczniczych właściwości badanej wody podziemnej i następnie ujęcia jej z wykorzystaniem do wykorzystania w balneoterapii jest stała i możliwie duża wydajność źródła (ujęcia), a w dalszej kolejności także charakterystyka fizykochemiczna i mikrobiologiczna wody. Okresowo bardzo mała wydajność źródła Jasne (por. tab. 1) wyklucza je zatem z dalszych badań. Natomiast źródło Klasztorne chociaż dostarcza małą objętość wody radonowej, to zapewnia jednak pewne zasoby w ciągu całego roku kalendarzowego. Na podstawie dotychczasowych wyników badań można oszacować, że zasoby eksploatacyjne tego źródła są na poziomie 0,3 m³/h (por. tab. 1; ryc. 2).

Autorzy sprawdzili także, czy wahania stężenia aktywności ^{222}Rn w podziemnej wodzie radonowej wypływającej ze źródła Klasztorne spełniają kryterium



Ryc. 2. Zmiany wydajności źródła Klasztornego w czasie
Fig. 2. Discharge changes with time of the Klasztorne spring



Ryc. 3. Karta kontrolna pojedynczych obserwacji Shewharta dla stężenia aktywności ^{222}Rn w wodzie ze źródła Klasztornego (na podstawie S. Żaka — Ciężkowski i in., 2007)

Fig. 3. The Shewhart control-chart of single observations for ^{222}Rn activity concentration in water of the Klasztorne spring (based on S. Żak — Ciężkowski et al., 2007)

niezmienności w czasie. Jego spełnienie jest niezbędne, aczkolwiek niewystarczające, do uznania wody potencjalnie leczniczej za leczniczą (Rozporządzenie Rady Ministrów, 2006; Ciężkowski i in., 2007). Uzyskane przez autorów wyniki obliczeń według procedury opracowanej przez Żaka (Ciężkowski i in., 2007) przedstawiono na rycinie 3. Wykonane analizy statystyczne wykazały, że rozkład wartości stężenia aktywności ^{222}Rn w wodzie podziemnej ze źródła Klasztornego może być uznany za normalny, wartości te nie wykazują istotnego trendu zmian (ani rosnącego, ani też malejącego), a także stanowią próbę losową. Możliwe było więc określenie granic dopuszczalnych wahań wartości stężenia aktywności ^{222}Rn w tej wodzie podziemnej. Granice te wynoszą $[y_{sr} - 2s, y_{sr} + 2s]$, tj. są równe wartości średniej pomniejszonej (dolna granica) lub powiększonej (górną granicą) o dwie wartości odchylenia standardowego. W zaokrągleniu wynoszą one w wodach podziemnych źródła Klasztornego odpowiednio 267 i 345 Bq/dm³ (por. ryc. 3). Można zatem stwierdzić, że woda wypływająca ze źródła Klasztornego spełnia podstawowy wymóg do uznania jej za potencjalnie leczniczą (a w przyszłości ewentualnie za leczniczą), tj.

wykazuje stałość zawartości podstawowego parametru nadającego jej właściwości lecznicze — wartości stężenia aktywności rozpuszczonego w niej ^{222}Rn na poziomie znacznie większym od niezbędnego minimum, wynoszącego 74 Bq/dm³ (por. tab. 2) (Dowgiałło, 2002; Rozporządzenie Ministra Zdrowia, 2006; Rozporządzenie Rady Ministrów, 2006).

W tabeli 3 przedstawiono wartości współczynnika korelacji liniowej pomiędzy wartością stężenia aktywności ^{222}Rn w wodzie źródła Klasztornego a jej temperaturą (T), przewodnością elektrolityczną właściwą (PEW) oraz wydajnością (Q) tego źródła. Nie stwierdzono żadnych istotnych statystycznie zależności pomiędzy tymi parametrami, co jest zgodne z wynikami wcześniejszych badań przeprowadzonych w wodach podziemnych Sudetów przez Przylibskiego (2005a). Wobec tego można stwierdzić, że stężenie radonu w badanej wodzie nie zależy od jej temperatury, przewodności, ani też od wydajności źródła.

Przedstawione wyniki badań terenowych, laboratoryjnych oraz obliczeń statystycznych wskazują, że w Masywie Ślęży, w części zbudowanej z granitoidów występują potencjalnie lecznicze wody radonowe. Autorzy nadal

będą prowadzić monitoring wód wypływających ze źródła Klasztorne, aby w dłuższym okresie sprawdzić zmienność mierzonych parametrów. Na tej podstawie oraz po przeprowadzeniu odpowiednich badań mikrobiologicznych, a także bardziej szczegółowych analiz fizykochemicznych prawdopodobnie będzie możliwe uznanie tych wód za lecznicze. Pod tym względem otwierają się nowe, interesujące perspektywy rozwoju pobliskiej Sobótki jako miejscowości uzdrowskiej. Jednakże jakiegokolwiek wykorzystanie tych wód będzie wymagać przeprowadzenia badań zasobowych, w szczególności zasobów dyspozycyjnych. Należy sądzić jednak, że odwiercenie kilku płytkich studni w zawodnionych strefach dyslokacyjnych granitoidów tego obszaru może dostarczyć odpowiednich do zagospodarowania zasobów tych wód.

Warunki geologiczne występowania wód radonowych w Masywie Ślęży wskazują, że znalezienie podobnych wód o znacznych zasobach jest możliwe na obszarze całego masywu granitoidowego Strzegom-Sobótka. Poprzez analogię do występowania wód radonowych w granicie Karkonoszy oraz w masywie granitoidowym kłodzko-złotostockim (Adamczyk-Lorenc, 2007; Przylibski i in., 2007a) można się spodziewać także i na tym obszarze występowania wód radonowych, a prawdopodobnie także wód wysokoradonowych, o zawartości radonu równej lub większej od 1000 Bq/dm³. Jest to zgodne z wnioskami z pracy Przylibskiego i współautorów (2007b), którzy wskazali obszar występowania granitoidów masywu Strzegom-Sobótka jako perspektywiczny pod względem obecności potencjalnie leczniczych wód radonowych.

Występowanie wód radonowych, i być może także wysokoradonowych w Masywie Ślęży, a prawdopodobnie także na całym obszarze granitoidów Strzegomia-Sobótki, powoduje, że we wszystkich ujęciach wód podziemnych tego rejonu przeznaczonych do spożycia przez ludzi oraz do wykorzystania w gospodarstwach domowych należy wykonać badania zawartości ²²²Rn. Konieczność ta wynika z zaleceń Międzynarodowej Organizacji Zdrowia (WHO, 2004), a także z wytycznych Unii Europejskiej (*Commission Recommendation...*, 2001). Ze względu na stwierdzenie niekorzystnego oddziaływania ²²²Rn (uwalnianego z wód podziemnych w czasie korzystania z wód radonowych, wysokoradonowych i ekstremalnie radonowych) na orga-

nizm człowieka zaleca się, aby wszystkie ujęcia wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi były kontrolowane pod względem zawartości radonu. W przypadku kiedy stężenie aktywności ²²²Rn przekracza 100 Bq/dm³, należy zastosować rozwiązania techniczne powodujące obniżenie jego stężenia w wodzie znajdującej się jeszcze w ujęciu do wartości poniżej 100 Bq/dm³ (WHO, 2004). Komisja Europejska zaleca przyjęcie poziomu referencyjnego stężenia aktywności ²²²Rn w wodach przeznaczonych do spożycia przez ludzi powyżej 100 Bq/dm³, ale jednocześnie wskazuje, że wody o stężeniu radonu przekraczającym 1000 Bq/dm³ nie powinny być przeznaczone do powszechnego lub komercyjnego wykorzystania (*Commission Recommendation...*, 2001).

Wnioski

W świetle uzyskanych wyników badań należy stwierdzić, że w granitoidowej części Masywu Ślęży występują podziemne wody radonowe, które można uznać za potencjalnie lecznicze. A zatem Masyw Ślęży staje się bogatszy o nowy surowiec, który może być wykorzystany w balneoterapii. Niewielkie oszacowane zasoby eksploatacyjne źródła Klasztorne zachęcają do przeprowadzenia bardziej szczegółowych prac badawczych nie tylko w Masywie Ślęży, ale w całym masywie granitoidowym Strzegomia-Sobótki w celu określenia zasobów tych wód.

W przypadku udokumentowania znaczących zasobów dyspozycyjnych potencjalnie leczniczych wód radonowych w Masywie Ślęży i jego najbliższej okolicy istnieje możliwość rozwoju pobliskiej Sobótki jako miejscowości uzdrowskiej.

Masyw Ślęży, po rejonie Przerzeczyna Zdroju, gdzie są eksploatowane lecznicze wody radonowe, jest dziś drugim obszarem na bloku przedsudeckim z udokumentowanym występowaniem wód radonowych. Potwierdza to słuszność wniosków Przylibskiego i współautorów (2007b) odnośnie do perspektywiczności wybranych obszarów bloku przedsudeckiego pod względem występowania wód radonowych. Jednocześnie uzyskane wyniki zachęcają do kontynuowania już rozpoczętych badań w innych obszarach bloku przedsudeckiego, w których budowie geologicznej dominują płytko zalegające skały krystaliczne, zwłaszcza granitoidy i ortognejsy.

W związku ze spodziewanym powszechnym występowaniem wód radonowych, a być może także wysokoradonowych i ekstremalnie radonowych na obszarze masywu granitoidowego Strzegom-Sobótka należy we wszystkich ujęciach wód podziemnych przeprowadzić pomiary stężenia aktywności ²²²Rn. Na podstawie zaleceń i wytycznych organizacji międzynarodowych, w tym WHO, ze względu na wymogi ochrony radiologicznej ludności we wszystkich ujęciach wód podziemnych przeznaczonych do spożycia przez ludzi lub wykorzystania komercyjnego oraz w gospodarstwach domowych należy zastosować odpowiednie rozwiązania techniczne, które powodują zmniejszenie stężenia radonu w eksploatowanej i znajdującej się jeszcze w ujęciu wodzie do wartości poniżej 100 Bq/dm³.

Autorzy składają podziękowania mgr. Jerzemu Dordzie z Laboratorium Badania Niskich Aktywności Instytutu Fizyki Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach za wykonanie oznaczenia stężenia aktywności ²²²Rn w jednej z próbek wody ze źródła Klasztorne.

Tab. 3. Wartości współczynnika korelacji liniowej (R) na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ pomiędzy stężeniem aktywności ²²²Rn a wydajnością źródła (Q), temperaturą wody (T) oraz przewodnością elektrolityczną właściwą (PEW) dla źródła Klasztorne. Wartość krytyczna dla $n = 13$ korelowanych par danych wynosi $R_{kryt} = 0,5139$ (Zieliński, 1972)

Table 3. Values of the correlation coefficient (R) on the significance level of $\alpha = 0,05$ between activity concentration of ²²²Rn and the discharge of the spring (Q), water temperature (T) and electrolytical conductivity (PEW) for Klasztorne spring. The critical value for $n = 13$ correlated couples of data is $R_{kryt} = 0.5139$ (Zieliński, 1972)

Parametr korelowany ze stężeniem ²²² Rn Parameter correlated with ²²² Rn concentration	R	n
Q	0,3943	13
T	0,2250	13
PEW	0,0599	13

Literatura

- ADAMCZYK-LORENC A. 2007 — Tło hydrogeochemiczne radonu w wodach podziemnych Sudetów. Arch. Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wrocławska, Wrocław.
- ÅKERBLÖM G. 1999 — Radon legislation and national guidelines. European Research into Radon in Construction Concerted Action (ERRICCA) Report F14P-CT96-0064(DG12-WSMN): 19–20.
- ALEKSANDROWSKI P., KRYZA R., MAZUR S., PIN C. & ZALASIEWICZ J.A. 2000 — The Polish Sudetes: Caledonian or Variscan? Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sci., 90: 127–146.
- ALEKSANDROWSKI P. & MAZUR S. 2002 — Collage tectonics in the northeasternmost part of the Variscan Belt: the Sudetes, Bohemian Massif. [In:] Winchester J.A., Pharaoh T.C. & Verniers J. (eds.) Palaeozoic Amalgamation of Central Europe. Geol. Soc., London, Spec. Publ., 201: 237–277.
- BOGEN K.T. 2001 — Biologically based prediction of empirical nonlinearity in lung cancer risk vs. residential/occupational radon exposure. Human and Ecological Risk Assessment, vol. 7, no. 4: 811–827.
- CALABRESE E.J. & BALDWIN L.A. 2002a — Defining hormesis. Human & Experimental Toxicology, vol. 21: 91–97.
- CALABRESE E.J. & BALDWIN L.A. 2002b — Radiation hormesis and cancer. Human and Ecological Risk Assessment, vol. 8, no. 2: 327–353.
- CALABRESE E.J. & BALDWIN L.A. 2003 — Toxicology rethinks its central belief. Hormesis demands a reappraisal of the way risks are assessed. Nature, vol. 421, no. 6924: 691–692.
- CIEŻKOWSKI W., KIELCZAWA B., LATOUR T., LIBER E., PRZYLIBSKI T.A., SZIWA D. & ŻAK S. 2007 — Dopuszczalne wahania eksploatacyjnych i fizyczno-chemicznych parametrów wód leczniczych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- COLLÉ R. 1995a — A precise determination of the ^{222}Rn half-life by $4\pi\text{-}\alpha\beta$ liquid scintillation measurements. Radioactivity & Radiochemistry, vol. 6, no. 1: 16–29.
- COLLÉ R. 1995b — Critically evaluated half-life for ^{222}Rn radioactive decay and associated uncertainties. Radioactivity & Radiochemistry, vol. 6, no. 1: 30–40.
- Commission Recommendation of 20 December 2001 on the protection of the public against exposure to radon in drinking water supplies.** 2001/928/EURATOM.
- CWOJDZIŃSKI S. & ŻELAŻNIEWICZ A. 1995 — Podłoże krystaliczne bloku przedsudeckiego. [W:] Geologia i ochrona środowiska bloku przedsudeckiego. 50 lat badań geologicznych na Dolnym Śląsku. 66. Zjazd Polskiego Towarzystwa Geologicznego. Wrocław, 21–24.09.1995. Ann. Soc. Geol. Pol. wyd. spec., cz. 1: 11–28.
- DARBY S., HILL D., AUVINEN A., BARROS-DIOS J.M., BAYSON H., BOCHICCHIO F., DEO H., FALK R., FORASTIERE F., HAKAMA M., HEID I., KREIENBROCK L., KREUZER M., LAGARDE F., MÄKELÄINEN I., MUIRHEAD C., OBERAIGNER W., SCHAHAGEN G., RUANO-RAVINA A., RUOSTEENOJA E., SCHAFFRATH ROSARIO A., TIRMARCHE M., TOMÁŠEK L., WHITLEY E., WICHMANN H.E. & DOLL R. 2005 — Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. British Medical Journal, vol. 330, no. 7485: 223–226.
- DARBY S., HILL D. & DOLL R. 2001 — Radon: A likely carcinogen at all exposures. Annals of Oncology, vol. 12: 1341–1351.
- DOJLIDO J.R. 1995 — Chemia wód powierzchniowych. Wyd. Ekonomia i Środowisko, Białystok.
- DOWGIAŁŁO J. 2002 — Klasyfikacja i geneza wód leczniczych. [W:] Paczyński B. (red.) Ocena zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych i potencjalnie leczniczych. Poradnik metodyczny. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- FIJAŁKOWSKA L. 2007 — Zasoby potencjalnie leczniczych wód radonowych w Masywie Ślęży. Arch. Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wrocławska, Wrocław.
- FISTEK J., STAŠKO S. & ZIELIŃSKI W. 1995 — Wody podziemne bloku przedsudeckiego. [W:] Geologia i ochrona środowiska bloku przedsudeckiego. 50 lat badań geologicznych na Dolnym Śląsku. 66. Zjazd Polskiego Towarzystwa Geologicznego. Wrocław, 21–24.09.1995. Ann. Soc. Geol. Pol. wyd. spec., cz. 1: 255–271.
- FRANKE W. & ŻELAŻNIEWICZ A. 2000 — The eastern termination of the Variscides: terrane correlation and kinematic evolution. [In:] Franke W., Haak V., Oncken O. & Tanner D. (eds.) Quantification and modelling in the Variscan belt. Geol. Soc., London, Spec. Publ., vol. 179: 63–86.
- GAŹDZIK J. 1957 — Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów. Skala 1 : 25 000. Arkusz Sobótka. Instytut Geologiczny, Warszawa.
- HEM J.D. 1985 — Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2254, United States Government Printing Office.
- HRYNKIEWICZ A.Z. (red.) 2001 — Człowiek i promieniowanie jonizujące. WN PWN, Warszawa.
- JAMROZIK L. 1995 — Tektonika osłony masywu granitoidowego Strzegom-Sobótka. [W:] Geologia i ochrona środowiska bloku przedsudeckiego. 50 lat badań geologicznych na Dolnym Śląsku. 66. Zjazd Polskiego Towarzystwa Geologicznego. Wrocław, 21–24.09.1995. Ann. Soc. Geol. Pol. wyd. spec., cz. 1: 181–191.
- JOHANSSON L. 2003 — Hormesis, an update of the present position. European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, vol. 30, no. 6: 921–933.
- KOCHAŃSKI J.W. 2002 — Przegląd badań nad leczniczym zastosowaniem radonu 222 w polskich uzdrowiskach. Folia Medica Lodziensia, vol. 29, no. 1/2: 31–68.
- KOZŁOWSKA B., HETMAN A. & ZIPPER W. 1999 — Determination of ^{222}Rn in natural water samples from health resorts in the Sudety Mountains by the liquid scintillation technique. Applied Radiation and Isotopes, vol. 51: 475–480.
- KRYZA J. 1995 — Wody podziemne i problemy ochrony środowiska bloku przedsudeckiego. [W:] Geologia i ochrona środowiska bloku przedsudeckiego. 50 lat badań geologicznych na Dolnym Śląsku. 66. Zjazd Polskiego Towarzystwa Geologicznego. Wrocław, 21–24.09.1995. Ann. Soc. Geol. Pol. wyd. spec., cz. 1: 41–57.
- LÁZÁR I., TÓTH E., MARX G., CZIEGLER I. & KÓTELES G.J. 2003 — Effects of residential radon on cancer incidence. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, vol. 258, no. 3: 519–524.
- MAJEROWICZ A. 1979 — Granity masywu Strzegom-Sobótka. [W:] Dziedzic K., Kozłowski S., Majerowicz A. & Sawicki L. (red.) Surowce mineralne Dolnego Śląska. Ossolineum, Wrocław: 233–238.
- MAJEROWICZ A. 1994 — Textural features and symptoms of ocean floor metamorphism in the top part of the Ślęża ophiolite (SW Poland). Arch. Miner., vol. 50, z. 2: 97–139.
- MAJEROWICZ A. & MACIEJEWSKI S. 1979 — Gabra. [W:] Dziedzic K., Kozłowski S., Majerowicz A. & Sawicki L. (red.) Surowce mineralne Dolnego Śląska. Ossolineum, Wrocław: 207–211.
- MAJEROWICZ A. & MIERZEJEWSKI M. 1995 — Petrologia, pozycja tektoniczna i geotektoniczna skał krystalicznych NE i SE osłony masywu granitowego Strzegom-Sobótka. [W:] Geologia i ochrona środowiska bloku przedsudeckiego. 50 lat badań geologicznych na Dolnym Śląsku. 66. Zjazd Polskiego Towarzystwa Geologicznego. Wrocław, 21–24.09.1995. Ann. Soc. Geol. Pol. wyd. spec., cz. 1: 59–84.
- MAZUR S., ALEKSANDROWSKI P., KRYZA R. & OBERC-DZIEDZIC T. 2006 — The Variscan Orogen in Poland. Geol. Quart., vol. 50: 89–118.
- MIGOŃ P. 2005a — Regiony fizycznogeograficzne. [W:] Fabiszewski J. (red.) Przyroda Dolnego Śląska. Polska Akademia Nauk, Oddział we Wrocławiu, Wrocław: 19–37.
- MIGOŃ P. 2005b — Rozwój rzeźby terenu. [W:] Fabiszewski J. (red.) Przyroda Dolnego Śląska Polska Akademia Nauk, Oddział we Wrocławiu, Wrocław: 135–170.
- OBERC J. 1972 — Sudety i obszary przyległe. [W:] Budowa geologiczna Polski. T. 4. Tektonika, cz. 2. Wyd. Geol., Warszawa.
- OBERC J. 1995 — Schemat budowy geologicznej Dolnego Śląska. [W:] Geologia i ochrona środowiska bloku przedsudeckiego. 50 lat badań geologicznych na Dolnym Śląsku. 66. Zjazd Polskiego Towarzystwa Geologicznego. Wrocław, 21–24.09.1995. Ann. Soc. Geol. Pol. wyd. spec., cz. 2: 3–9.
- OBERC-DZIEDZIC T., KRYZA R., KLIMAS K., FANNING M.C. & MADEJ S. 2005 — Gneiss protolith ages and tectonic boundaries in the NE part of the Bohemian Massif (Fore-Sudetic Block, SW Poland). Geol. Quart., vol. 49, nr 4: 363–378.
- OLCHOWA A. 2005 — Ocena możliwości udokumentowania zasobów potencjalnie leczniczych wód radonowych w Masywie Ślęży. Arch. Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wrocławska, Wrocław.
- PIISPANEN R. 2000 — Radon and lung cancer in Finland: are there signs of radiation hormesis? Environmental Geochemistry and Health, vol. 22: 113–130.
- PIN C., MAJEROWICZ A. & WOJCIECHOWSKA I. 1988 — Upper Paleozoic oceanic crust in the Polish Sudetes: Nd-Sr isotope and trace element evidence. Lithos, 21: 195–205.
- PRZYLIBSKI T.A. 2004 — Concentration of ^{226}Ra in rocks of the southern part of Lower Silesia (SW Poland). Journal of Environmental Radioactivity, vol. 75, no. 2: 171–191.

- PRZYLIBSKI T.A. 2005a — Radon. Składnik swoisty wód leczniczych Sudetów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- PRZYLIBSKI T.A. 2005b — Concentrations of ^{222}Rn in groundwaters flowing through different crystalline rocks: An example from Ślęza Massif (SW Poland). [In:] Proceedings from the International NORM IV (Naturally Occurring Radioactive Materials) Conference, Szczyrk 2004, May 16–21. CD: 201–213; IAEA-TECDOC-1472, Vienna: 299–304.
- PRZYLIBSKI T.A. 2006a — Radon w wodzie — występowanie i konsekwencje. [W:] Brząkała W., Ciężkowski W., Haladyn K., Mikłaszewski A., Przylibski T., Solecki A. & Wojtyszyn B. Radon w środowisku życia, pracy i nauki mieszkańców Dolnego Śląska. Polski Klub Ekologiczny Okręg Dolnośląski, Wrocław: 42–47.
- PRZYLIBSKI T.A. 2006b — Zagadnienia prawne związane z występowaniem radonu w środowisku. [W:] Brząkała W., Ciężkowski W., Haladyn K., Mikłaszewski A., Przylibski T., Solecki A., Wojtyszyn B. Radon w środowisku życia, pracy i nauki mieszkańców Dolnego Śląska. Polski Klub Ekologiczny Okręg Dolnośląski, Wrocław: 89–94.
- PRZYLIBSKI T.A. & ADAMCZYK A. 2003 — Nowe stanowisko do pomiarów steżeń radonu ^{222}Rn w wodzie w Laboratorium Hydrogeologicznym na Wydziale Górniczym Politechniki Wrocławskiej. [W:] „Zagadnienia interdyscyplinarne w górnictwie i geologii”. III Konferencja Doktorantów, Szklarska Poręba, 24–26.01.2003. Pr. Nauk. Inst. Gór. PWroc., nr 103, Konf. 2003 nr 36: 329–343.
- PRZYLIBSKI T.A. (red.), ADAMCZYK-LORENC A. & ŻAK S. 2007a — Obszary występowania potencjalnie leczniczych wód radonowych w Sudetach. Część II. [W:] Wołkiewicz S. (red.) Potencjał radonowy Sudetów wraz z wyznaczeniem obszarów występowania potencjalnie leczniczych wód radonowych. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa: 107–179.
- PRZYLIBSKI T.A. (red.), BIEL A., CIĘŻKOWSKI W., CZERSKI M., KIEŁCZAWA J., MARSZAŁEK H., MICHNIEWICZ M., STAŚKO S., TARKA R., WOJTKOWIAK A., WĄSIK M. & ŻAK S. 2007b — Studium możliwości rozpoznania nowych wystąpień wód zmineralizowanych, swoistych i termalnych na obszarze bloku przedsudeckiego. Raport Ser. SPR. I-11/S-5/2007. Instytut Górnictwa, Politechnika Wrocławska, Wrocław.
- PRZYLIBSKI T.A., MAMONT-CIEŚLA K., STAWARZ O., KŁOS B. & DORDA J. 2005 — Polish national intercalibrations of measurement methods of ^{222}Rn concentration in waters. Proceedings from the International NORM IV (Naturally Occurring Radioactive Materials) Conference, Szczyrk 2004, May 16–21. CD: 329–349; IAEA-TECDOC-1472, Vienna 2005: 532–541.
- PRZYLIBSKI T.A. & OLSZEWSKI J. 2006 — Oddziaływanie radonu na organizm człowieka. [W:] Brząkała W., Ciężkowski W., Haladyn K., Mikłaszewski A., Przylibski T., Solecki A. & Wojtyszyn B. Radon w środowisku życia, pracy i nauki mieszkańców Dolnego Śląska. Polski Klub Ekologiczny Okręg Dolnośląski, Wrocław: 23–28.
- PUZIEWICZ J. 1990 — Masyw granitowy Strzegom-Sobótka. Aktualny stan badań. Arch. Miner., vol. 45: 135–154.
- PUZIEWICZ J. & OBERC-DZIEDZIC T. 1995 — Wiek i geneza granitoidów bloku przedsudeckiego. [W:] Geologia i ochrona środowiska bloku przedsudeckiego. 50 lat badań geologicznych na Dolnym Śląsku. 66. Zjazd Polskiego Towarzystwa Geologicznego. Wrocław, 21–24.09.1995. Ann. Soc. Geol. Pol. wyd. spec., cz. 1: 273–284.
- Rozporządzenie** Ministra Zdrowia z dnia 13 kwietnia 2006 r. w sprawie zakresu badań niezbędnych do ustalenia właściwości leczniczych naturalnych surowców leczniczych i właściwości leczniczych klimatu, kryteriów ich oceny oraz wzoru świadectwa potwierdzającego te właściwości. Dz. U. z dn. 11 maja 2006 r. nr 80, poz. 565.
- Rozporządzenie** Rady Ministrów z dnia 14 lutego 2006 r. w sprawie złóż wód podziemnych zaliczonych do solanek, wód leczniczych i termalnych oraz złóż innych kopalin leczniczych, a także zaliczenia kopalin pospolitych z określonych złóż lub jednostek geologicznych do kopalin podstawowych. Dz. U. z dn. 27 lutego 2006 r., nr 32, poz. 220.
- SACHANBIŃSKI M., AWDANKIEWICZ M., GÓRECKA-NOWAK A., NOWAK G.J., LORENC S., KOSZELA S., KRYZA G., KRYZA R., PIETRZYŃSKI A., PROTAS A. & RATAJCZAK T. 2005 — Surowce mineralne. [W:] Fabiszewski J. (red.) Przyroda Dolnego Śląska. Polska Akademia Nauk, Oddział we Wrocławiu, Wrocław: 191–264.
- SACHANBIŃSKI M., CHOLEWICKA-MEYSNER D., FARBISZ J., JAMROZIK L., NIŚKIEWICZ J. & SIEMIĄTKOWSKI J. 1995 — Mineralizacja i problemy ochrony środowiska ofiolitu Ślęży. [W:] Geologia i ochrona środowiska bloku przedsudeckiego. 50 lat badań geologicznych na Dolnym Śląsku. 66. Zjazd Polskiego Towarzystwa Geologicznego. Wrocław, 21–24.09.1995. Ann. Soc. Geol. Pol. wyd. spec., cz. 1: 285–306.
- SCHÖLLNBERGER H., MÉNACHE M.G. & HANSON T.E. 2001 — A biomathematical modeling approach to explain the phenomenon of radiation hormesis. Human and Ecological Risk Assessment, vol. 7, no. 4: 867–890.
- STAŚKO S. 1996 — Wody podziemne w skałach krystalicznych na podstawie badań wybranych obszarów Sudetów polskich. Acta Univ. Wratisl., nr 1870 Pr.Geol.-Miner. T. 53.
- STAŚKO S. 2005 — Wody powierzchniowe i podziemne. [W:] Fabiszewski J. (red.) Przyroda Dolnego Śląska. Polska Akademia Nauk, Oddział we Wrocławiu, Wrocław: 267–280.
- STUPNICKA E. 1989 — Geologia regionalna Polski. Wyd. Geol., Warszawa.
- WHO**, 2004 — Guidelines for Drinking-water Quality. Third Edition, World Health Organization, Geneva.
- ZIELIŃSKI R. 1972 — Tablice statystyczne. PWN, Warszawa.
- ŻELAŻNIEWICZ A. 1995 — Introduction to chapter VI. [In:] Dallmeyer R.D., Franke W. & Weber K. (eds.) Pre-Permian geology of central and eastern Europe. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg: 311–314.
- ŻELAŻNIEWICZ A. 1997 — The Sudetes as a Palaeozoic orogen in central Europe. Geol. Mag., vol. 134, no. 5: 691–702.
- ŻELAŻNIEWICZ A., 2005 — Przeszłość geologiczna. [W:] Fabiszewski J. (red.) Przyroda Dolnego Śląska. Polska Akademia Nauk, Oddział we Wrocławiu, Wrocław: 61–134.
- ŻELAŻNIEWICZ A., KEMNITZ H. & HERMSDORF N. 1995 — Structure. Chapter VIC. [In:] Dallmeyer R.D., Franke W. & Weber K. (eds.) Pre-Permian geology of Central and Eastern Europe. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg: 328–340.

Praca wpłynęła do redakcji 15.02.2008 r.

Po recenzji akceptowano do druku 7.07.2008 r.