

Zmiany stężeń radonu w podziemnych wodach leczniczych Świeradowa Zdroju (Sudety)

Tadeusz Andrzej Przylibski*

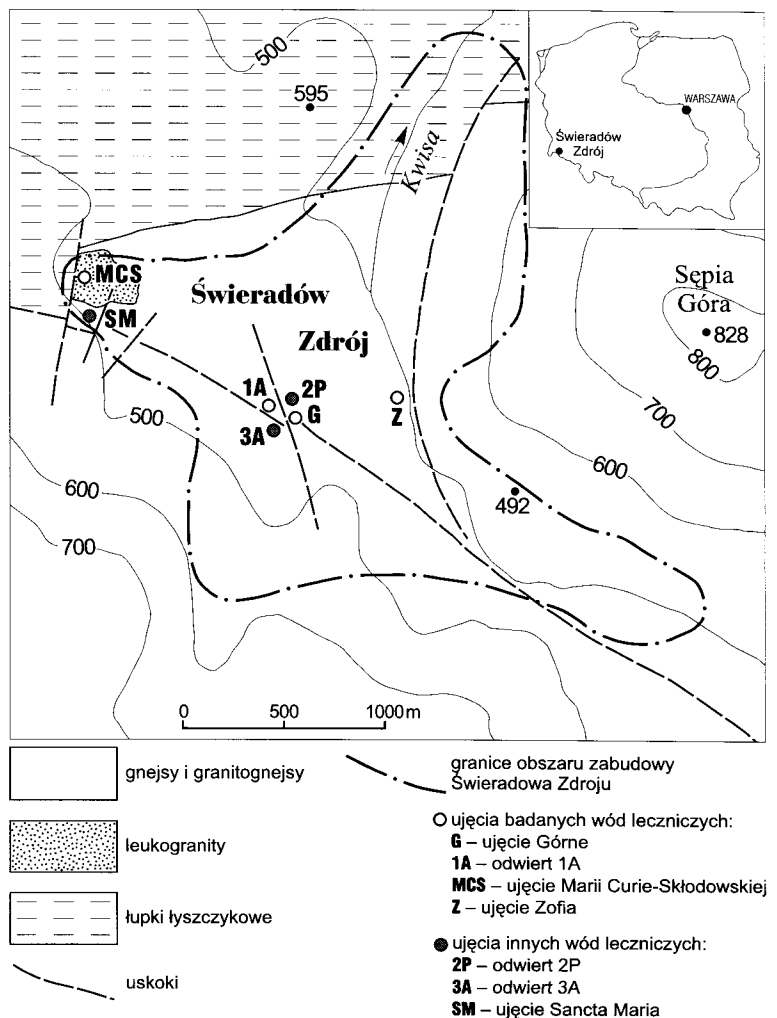
W najnowszej literaturze coraz częściej zwraca się uwagę na konieczność przeprowadzenia kompleksowych badań nad procesami prowadzącymi do powstawania wysokich koncentracji radonu, miejsc ich potencjalnego występowania oraz prowadzenia monitoringu i zastosowania metod zapobiegających narażeniu ludności na wysokie stężenia radonu oraz produktów jego rozpadu. Jest to związane z dużym udziałem radonu w efektywnym równoważniku dawki pochodzącym z naturalnych źródeł promieniowania. Podwyższone koncentracje tego gazu wiążą się przede wszystkim ze zwiększeniem ryzyka zachorowań na nowotwory, głównie dróg oddechowych. Głównym źródłem radonu przedostającego się do otoczenia człowieka jest przede wszystkim górna część litosfery wraz z krążącymi w jej obrębie wodami podziemnymi, w których radon bardzo dobrze się rozpuszcza. Spośród czterech izotopów radonu występujących w środowisku największą rolę odgrywa radon-222 ze względu na stosunkowo długi okres półrozpadu ($T_{1/2} = 3,83$ doby). Problematykę tą szerzej przedstawiono m.in. na łamach *Przeglądu Geologicznego* (Strzelecki & Wołkowicz, 1993).

Z drugiej strony medyczne wykorzystanie radonu także stymuluje konieczność prowadzenia badań nad jego geochemią. Jest ono oparte na zjawisku hormezy radiacyjnej, według którego przyjmowanie małych dawek promieniowania jest nie tylko nieszkodliwe ale wręcz pożyteczne dla organizmu. Od wielu lat ścierają się poglądy różnych badaczy opowiadających się za, lub przeciw hormezie. Tak również dzieje się w przypadku radonu, który z jednej strony stosowany jest w zabiegach balneologicznych, z drugiej zaś usuwany z mieszkań w celu zmniejszenia dawki promieniowania jonizującego otrzymywanego przez mieszkańców.

W Polsce rejonem szczególnie narażonym na możliwość występowania wysokich stężeń radonu, w tym także i w wodach podziemnych jest Dolny Śląsk, a szczególnie pasma górskie Sudetów. Jednakże większość istniejących materiałów na ten temat stanowią wyniki pomiarów zawartości radonu w wodach leczniczych. Dopiero w ciągu ostatnich kilku lat podjęto bardziej szczegółowe badania nad geochemią radonu w Sudetach (Ciężkowski & Przylibski, 1997; Ciężkowski i in., 1993, 1994, 1995; Ciężkowski & Solecki, 1990; Przylibski, 1994, 1996a, 1996b, 1996c, 1997; Przylibski & Żebrowski, 1996; Solecki, 1995).

Wiele wód zawierających podwyższone ilości rozpuszczonego radonu zostało uznanych za

lecznicze. W chwili obecnej zgodnie z *Rozporządzeniem Rady Ministrów z dn. 16 sierpnia 1994 r.* do wód leczniczych zaliczono wody i szczyawy radoczynne ze złożeń w uzdrowiskach Czerniawa Zdrój, Kudowa Zdrój, Łądek Zdrój, Przerzeczyn Zdrój, Szczawno Zdrój oraz Świeradow Zdrój. Wszystkie wymienione złoża wód leczniczych leżą na obszarze Sudetów, jedynie Przerzeczyn Zdrój znajduje się na ich Przedgórzu. Zostały one uznane za lecznicze zgodnie z normą branżową BN-74/9560-05 z 1974 r. Według tej normy, za radoczną uznaje się wodę zawierającą co najmniej 2 nCi/dm^3 (74 Bq/dm^3) składników promieniotwórczych. Od 1994 r. norma ta została zastąpiona Rozporządzeniem ministra ochrony środowiska, zasobów naturalnych i leśnictwa (*Rozporządzenie MOŚZNiL*, 1994), w którym definiuje się wartość radocznności. Jeśli przekracza ona 2



Ryc. 1. Uproszczony szkic geologiczny okolic Świeradowa Zdroju z zaznaczonymi ujęciami badanych wód leczniczych według (Fistek, 1967; Szałamacha & Szałamacha, 1984)

*Politechnika Wrocławska, Instytut Geotechniki i Hydrotechniki, Zakład Geologii; Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

Tab. 1. Wybrane ujęcia wód radocząnych w Polsce i zanotowane w nich najwyższe stężenia radonu według (Ciężkowski & Ciężkowski, 1981; Ciężkowski, 1990)

| Miejscowość (Miejsce) | Ujęcie | Rok wykonania analizy | Stężenie radonu | |
|------------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|
| | | | nCi/dm ³ | Bq/dm ³ |
| Śnieżnik | wypływ w sztolni | 1969 | 80,1 | 2964 |
| Świeradów Zdrój | Radocząne 4 (MCS 4) | 1963 | 78,2 | 2893 |
| Szklarska Poręba | nr 18 | 1965 | 47,9 | 1772 |
| Czerniawa Zdrój | Radocząne 1 | 1971 | 47 | 1739 |
| Lądek Zdrój | jeden z wypływów źródła Jerzy | 1977 | 41,7 | 1543 |
| Kudowa Zdrój | Marchlewski | 1955 | 20,8 | 770 |
| Kowary | nr 26 | 1974 | 14,7 | 544 |
| Sosnówka | Magdalena | 1963 | 8,4 | 311 |
| Szczawno Zdrój | Marta | 1949 | 7,6 | 281 |
| Jedlina Zdrój | J-300 | 1966 | 6,6 | 244 |
| Przerzeczyn Zdrój | nr IX | 1975 | 5,0 | 185 |
| Cieplice Śląskie Zdrój | Sobieski | 1971, 1972 | 4,4 | 163 |
| Ustroń | U-3 | 1975 | 4,19 | 155 |
| Duszniki Zdrój | B-3 | 1971 | 4,1 | 152 |
| Swoszowice | Zdrój Główny | 1971 | 2,6 | 96,2 |
| Stare Bogaczowice | Anna | 1968 | 2,5 | 92 |
| Długopole Zdrój | Renata | 1975 | 2,45 | 90,65 |

nCi/dm³ (74 Bq/dm³) wówczas wodę taką można uznać za radocząną. Oprócz wymienionych wyżej złóż radon w normalnych ilościach występuje także w innych wodach leczniczych, które jednakże za takie uznane zostały z innych względów. Należą do nich wody i szczawy ze złóż w uzdrowiskach Duszniki Zdrój, Długopole Zdrój, Cieplice Śląskie Zdrój. Do niedawna (do 1994 r.) podobny status posiadały także wody Kowar. Zestawienie wybranych miejsc występowania wód radocząnych w Polsce oraz wartości stężeń radonu w tych wodach przedstawiono w tab. 1.

Pierwsze analizy na zawartość radonu w wodach leczniczych Świeradowa Zdroju zostały wykonane na początku

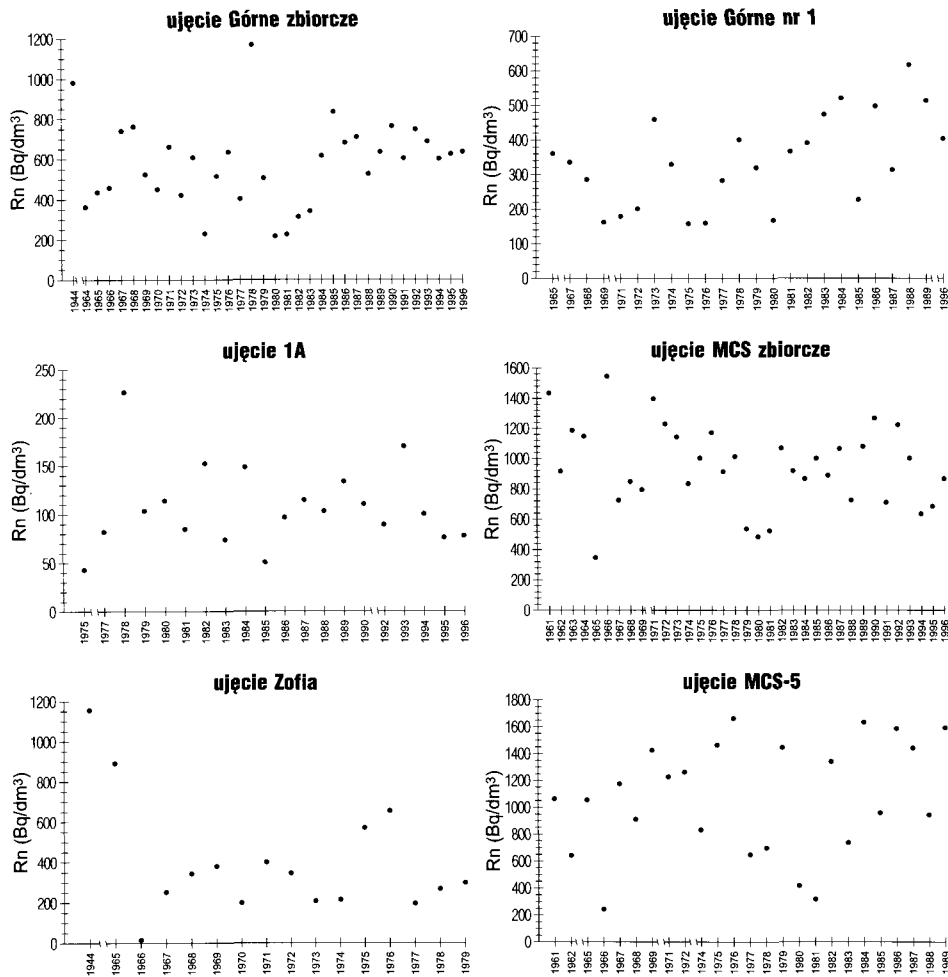
zawartości radonu w wodach z tego ujęcia (często poniżej 0,1 nCi/dm³ — 3,7 Bq/dm³), dlatego też nie zostały uwzględnione w niniejszym opracowaniu).

Geologia

Świeradów Zdrój jest uzdrowiskiem leżącym w obrębie tzw. bloku karkonosko-izerskiego. Jest to duża jednostka geologiczna Sudetów Zachodnich. W jej skład wchodzi dwie zasadnicze części — granitowy masyw karkonoski oraz jego metamorficzna osłona. Okolice Świeradowa Zdro-

Tab. 2. Średnie i ekstremalne stężenia radonu w wodach leczniczych Świeradowa Zdroju obliczone na podstawie wyników pomiarów laboratorium uzdrowiskowego oraz rocznych analiz fizykochemicznych wykonywanych przez laboratorium B.P.iU.T.B.U. Balneoprojekt

| Ujęcie | Zawartość Rn | | | | | | | | | |
|--------------------|--------------------------|------------------|------|-------|--------------------|---|------------------|------|-------|------|
| | Według danych uzdrowiska | | | | | Według danych B.P.iU.T.B.U. Balneoprojekt | | | | |
| | Liczba danych | Okres obserwacji | min. | śred. | max. | Liczba danych | Okres obserwacji | min. | śred. | max. |
| Bq/dm ³ | | | | | Bq/dm ³ | | | | | |
| Górne zbiorcze | 1207 | 1986-1996 | 0 | 478 | 1036 | 37 | 1944-1996 | 218 | 572 | 1169 |
| Górne nr 1 | | | | | | 25 | 1965-1996 | 155 | 337 | 614 |
| Górne nr 2 | | | | | | 25 | 1965-1996 | 81 | 205 | 1145 |
| MCS 1 | | | | | | 25 | 1961-1989 | 40 | 419 | 1017 |
| MCS 2 | | | | | | 11 | 1961-1989 | 213 | 644 | 1500 |
| MCS 3 | | | | | | 25 | 1961-1989 | 203 | 637 | 1387 |
| MCS 4 | | | | | | 26 | 1961-1989 | 234 | 993 | 2245 |
| MCS 5 | | | | | | 26 | 1961-1989 | 242 | 1069 | 1655 |
| MCS 6 | | | | | | 26 | 1961-1989 | 229 | 748 | 1744 |
| MCS zbiorcze | | | | | | 40 | 1961-1996 | 248 | 885 | 1547 |
| 1A | 1153 | 1986-1996 | 0 | 35 | 518 | 24 | 1975-1996 | 40 | 104 | 226 |
| 2P | 987 | 1986-1996 | 0 | 22 | 444 | 11 | 1972-1995 | 6 | 20 | 33 |
| Sancta Maria | | | | | | 9 | 1965-1974 | 607 | 896 | 1171 |
| Zofia | | | | | | 20 | 1944-1979 | 19 | 351 | 1156 |



Ryc. 2. Zmiany stężeń radonu w podziemnych wodach leczniczych wybranych ujęć Świeradowa Zdroju na podstawie wyników rocznych analiz chemicznych wykonywanych przez laboratorium B.P.i.U.T.B.U. Balneoprojekt

ju budują skały okrywy metamorficznej, którymi w tym rejonie są różne odmiany gnejsów, granitognejsów i łupków. Wśród tych skał występują również niewielkie wtrącenia skał żyłowych (aplity, żyły kwarcowe, amfibolity). Wiek skał tego kompleksu jest określany jako prekambryjski. Ze względu na górski charakter rzeźby terenu utwory te leżą jedynie pod niewielkim nadkładem utworów czwartorzędowych (gliny i rumosze stokowe, piaski i żwiry dolin rzecznych, torfy). W obrębie skał metamorficznych można wyróżnić dwa kierunki dyslokacji mające przebieg NW–SE oraz NE–SW (ryc. 1). Głównym uskokiem tego regionu jest tzw. uskok źródłowy Świeradowa o kierunku NW–SE, który jest poprzerywany licznymi poprzecznymi dyslokacjami o przebiegu NE–SW. Powierzchnie uskokowe, a zwłaszcza miejsca ich przecinania się, uznaje się za zasadnicze obszary krążenia wód leczniczych w bloku izerskim (Ciężkowski, 1983, 1990; Fistek, 1967; Fistek & Teisseyre, 1967; Fistek i in., 1975; Szałamacha & Szałamacha, 1984; Szmyt, 1958; Teisseyre, 1954, 1966).

Wody lecznicze

Do celów balneologicznych w Świeradowie Zdroju są eksploatowane dwa typy wód — słabo zmineralizowane wody radocenne płytkiego krążenia oraz szczawy radocenne. Charakter fizykochemiczny tych ostatnich jest wy-

nikiem mieszania się szczaw o składzie chemicznym uformowanym na dużych głębokościach z płytkimi wodami radocennymi (Ciężkowski, 1983, 1990). Szczawy te zawierają wolny dwutlenek węgla, którego obecność jest związana z ostatnimi przejawami trzeciorzędowego wulkanizmu. Taki pogląd potwierdzają wyniki badań składu izotopowego węgla w dwutlenku węgla (Dowgiatło, 1978).

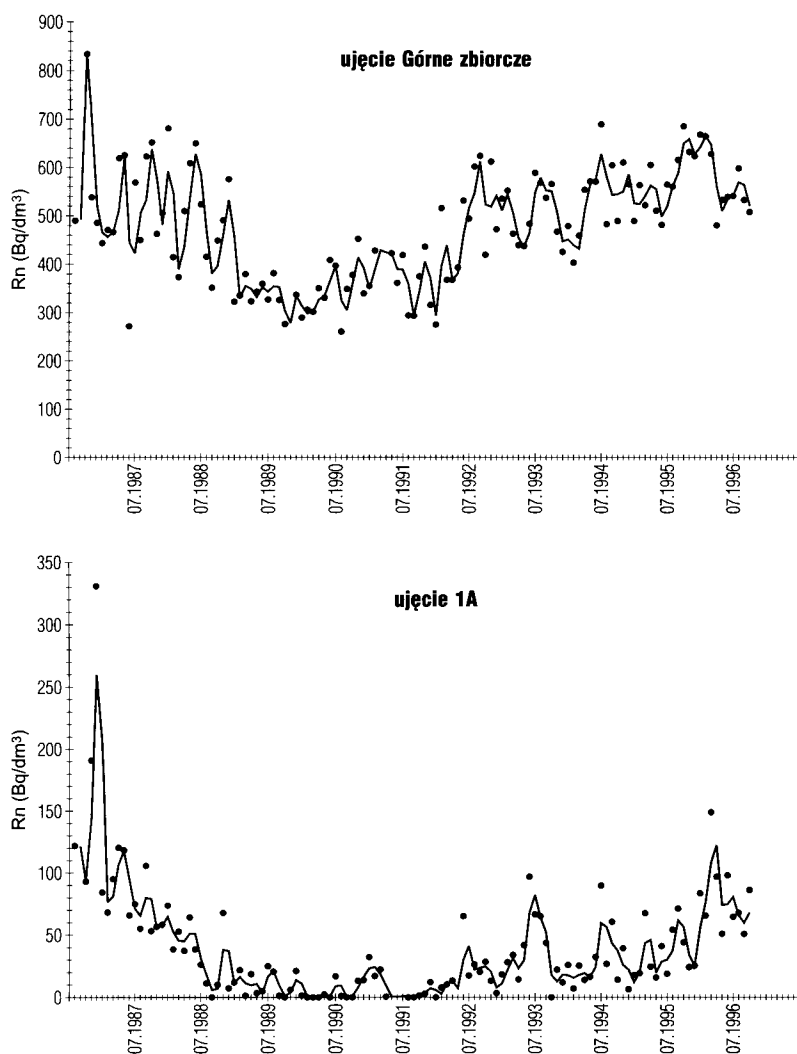
W chwili obecnej są eksploatowane wody radocenne z ujęcia Marii Curie-Skłodowskiej (MCS) składającego się z sześciu studni o głębokości od 2,5 do 6,5 m (Scherautz, 1965). Leżą one w obrębie leukogranitów i granitognejsów (Fistek, 1967; Fistek i in., 1975). Szczawy natomiast są obecnie eksploatowane w ujęciach Górne i 1A, a były także eksploatowane w ujęciach 2P i Zofia. Ogólnie reprezentują one typ $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$, Rn. We wszystkich wspomnianych ujęciach wypływają one z gnejsów i granitognejsów. W ujęciu Górne szczawy są eksploatowane trzema studniami o głębokościach od 6 do 10 m. Są one połączone hydraulicznie, a całkowita ich wydajność wynosi $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$, przy czym wydajność studni nr 3 jest wyższa niż łączna wydajność studni nr

1 i 2, które są zbliżone (Scherautz, 1965). W odwiercie 1A szczawy są eksploatowane z głęb. 34–53 m z wydajnością $0,7 \text{ m}^3/\text{h}$. W nieeksploatowanych obecnie ujęciach — źródle Zofia i odwiercie 2P szczawy były ujęte odpowiednio na głębokościach 8,5 m z wydajnością $0,2 \text{ m}^3/\text{h}$ oraz 155–160, 185–218, 250–265 m z wydajnością $0,24 \text{ m}^3/\text{h}$ (Fistek, 1967; Fistek, 1975; Fistek & Scherautz, 1968; Fistek & Starzyńska, 1973).

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań izotopowych należy stwierdzić, że wody lecznicze Świeradowa Zdroju charakteryzują się różnym wiekiem. W ujęciu 2P mamy do czynienia z wodami beztrytowymi, a zatem infiltrującymi przed 1952 r., ale i po ostatnim interglacjale, a więc w holocenie. Znacznym wiekiem charakteryzuje się także woda z ujęcia Zofia, której wiek określono na ok. 400 lat. Czas przepływu podziemnego składowej trytowej wód z ujęć Górne 2, 1A i 3A natomiast oszacowano odpowiednio na 87, 63 i 59 lat. Najkrótszym okresem przepływu podziemnego charakteryzują się wody wypływające w ujęciach MCS i Sancta Maria, ich wiek można oszacować na ok. 5 lat (Ciężkowski i in., 1996).

Zastosowane metody badań

Wykorzystane w pracy wyniki archiwalne oznaczeń zawartości radonu w wodach (wyrażone w nCi/dm^3 i przeli-



Ryc. 3. Zmiany średnich miesięcznych stężeń radonu w podziemnych wodach leczniczych wybranych ujęć Świeradów Zdroju obliczonych na podstawie wyników analiz wykonywanych przez laboratorium uzdrowiskowe

czony przez autora na Bq/dm^3) pochodzą z archiwum Uzdrowiskowego Zakładu Górniczego i były wykonywane przez pracowników laboratorium uzdrowiskowego oraz przez pracowników B.P.iU.T.B.U. Balneoprojekt w Szczawnie Zdroju za pomocą radzieckiej komory jonizacyjnej (SG-11M) wykorzystującej oddziaływanie elektrostatyczne zjonizowanego powietrza na nić kwarcową. Wcześniej ekstrahowano radon do fazy gazowej. W latach dziewięćdziesiątych w Świeradów Zdroju wprowadzono nowy sposób pomiarów, który odpowiednio wykalibrowano tak, że uzyskiwane wyniki są zbliżone do wyników otrzymanych przy zastosowaniu radzieckiej komory jonizacyjnej. Jest to metoda wykorzystująca jednoczesny pomiar tła promieniowania gamma oraz promieniowania gamma próby wody. Wykorzystuje się przy tym promieniowanie ^{214}Bi produktu rozpadu radonu. Zwłaszcza ostatnia metoda, ale także mocno wysłużone już radzieckie komory jonizacyjne nie zapewniają wysokiej dokładności uzyskiwanych wyników. Autor zdecydował się jednakże wykorzystać istniejące wyniki, gdyż są one porównywalne ze sobą (wykonywane przez jedną osobę w okresie wielu lat) i zapewniają możliwość przesłedenia pewnych głównych procesów, nawet mimo braku zaufania co do ich dokładności. Dokładność

tych pomiarów dochodzi do ok. $0,1 \text{ nCi/dm}^3$ ($3,7 \text{ Bq/dm}^3$) (R. Szulc B.P.iU.T.B.U. Balneoprojekt — informacja ustna).

Geneza radonu

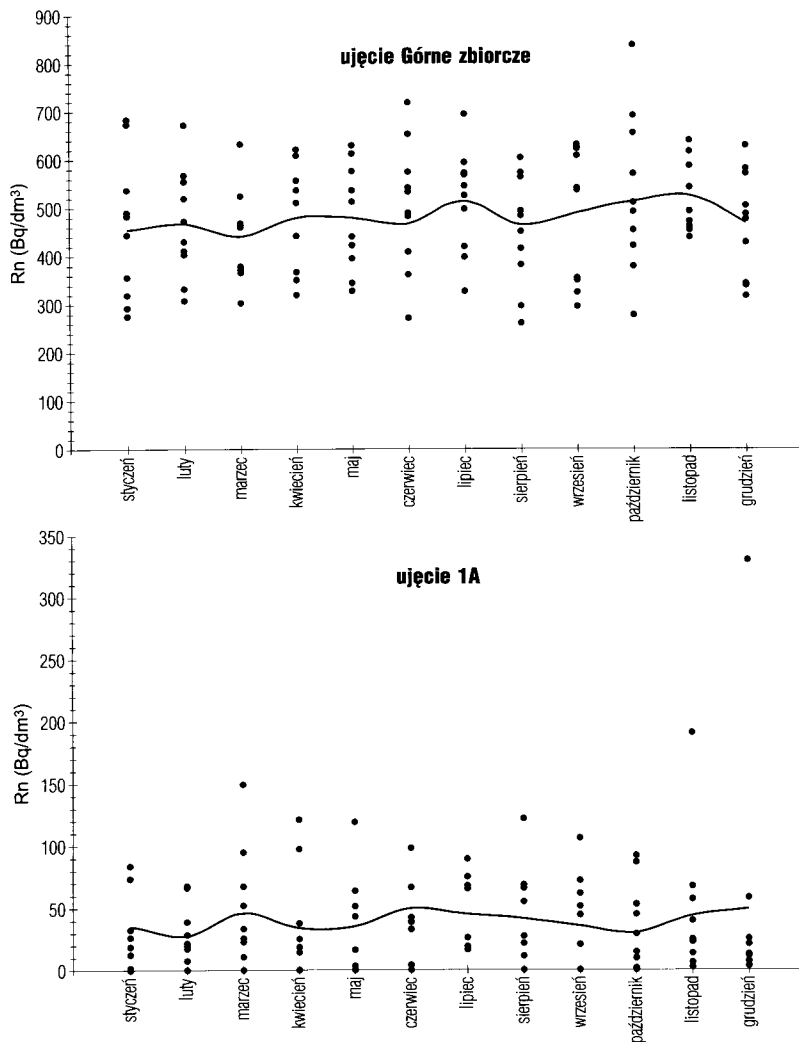
Radon występujący w wodach leczniczych Świeradów Zdroju powstaje w granitognejkach i leukogranitach budujących najbliższe okolice ujęć tych wód, które są zarazem obszarami ich zasilania. Jego wzmoczone tworzenie jest związane z podwyższoną zawartością izotopu ^{226}Ra w obu odmianach skał, przy czym leukogranity nie odgrywają większej roli w tym procesie. Produkcja radonu zachodzi w jednakowym tempie w całej objętości skał występujących do głębokości kilkuset metrów, jednakże proces jego intensywnego rozpuszczania w wodach zachodzi głównie na głębokościach od kilku do kilkudziesięciu metrów i jest spowodowany obecnością dużej ilości uskoków i spękań ułatwiających migrację zarówno tego gazu (podwyższony tzw. współczynnik emanacji skał), jak i wody. Dla genezy radonu w wodach nie ma istotnego znaczenia produkcja tego gazu wskutek rozpadu radu rozpuszczonego, którego stężenie jest niskie zarówno w wodach głębokiego, jak i płytkiego krążenia (Przylibski & Żebrowski, 1996; Ciężkowski & Przylibski, 1997). Te ostatnie nasycone radonem mieszając się ze szczawami wypływającymi z dużych głębokości powodują powstawanie rzadko występujących szczaw radoczynnych (Ciężkowski, 1983, 1990).

Zmienność stężeń w czasie

Zebrana duża liczba danych archiwalnych (por. tab. 2) pozwoliła na przeanalizowanie wieloletniej zmienności koncentracji radonu w różnych ujęciach wód podziemnych Świeradów Zdroju. Średnie oraz ekstrema stężeń radonu w poszczególnych ujęciach nie różnią się znacząco, bez względu na to w jakim laboratorium poddawano analizie wody lecznicze.

Analizy wykonywane w uzdrowisku z częstotliwością od kilku do kilkunastu razy w miesiącu posłużyły do obliczenia średnich miesięcznych i prześledzenia zmian stężeń radonu z dokładnością do jednego miesiąca. Metody pomiaru (pomiar wartości chwilowych — brak monitoringu) oraz nieregularność ich wykonywania uniemożliwiły przeanalizowanie zmian dobowych lub kilkudobowych, co jak wynika z wniosków o genezie radonu oraz badań geochemii radonu na obszarze Świeradów Zdroju (Przylibski, 1997) mogłoby okazać się interesujące i wykazać ewentualne zależności pomiędzy dobowymi zmianami parametrów atmosferycznych (temperatura, wilgotność, ciśnienie) a stężeniami radonu w ujęciach wód podziemnych.

Do prześledzenia zmian stężeń radonu w wodach poszczególnych ujęć wykorzystano również wyniki analiz fizykochemicznych wykonywanych raz w roku przez Laboratorium B.P.iU.T.B.U. Balneoprojekt w Szczawnie Zdroju. W większości ujęć Świeradów Zdroju istnieją tylko te dane, a dla pozostałych obejmują one zwykle okres dłuższy



Ryc. 4. Średnie miesięczne stężenia radonu w poszczególnych miesiącach roku w podziemnych wodach leczniczych wybranych ujęć Świeradów Zdroju obliczone na podstawie analiz z lat 1986–1996 wykonywanych przez laboratorium uzdrowiskowe

niż analizy wykonywane przez laboratorium uzdrowiskowe (por. tab. 2). Dlatego też dane Laboratorium B.P.iU.T.B.U. Balneoprojekt stanowią często jedyny materiał źródłowy do prześledzenia zmian stężeń radonu w wodach podziemnych poszczególnych ujęć na przestrzeni ostatnich kilkadziesiąt lat.

Na ryc. 2 przedstawiono zmienność stężeń radonu w wodach podziemnych wybranych ujęć Świeradów Zdroju na podstawie analiz wykonywanych raz w roku przez Laboratorium B.P.iU.T.B.U. Balneoprojekt. Należy podkreślić indywidualny charakter zmian koncentracji radonu w wodach poszczególnych ujęć, nawet leżących bardzo blisko siebie i ujmujących wody tego samego typu z tej samej struktury hydrogeologicznej. W większości ujęć daje się zauważyć silna zmienność koncentracji radonu w czasie. W wielu ujęciach amplituda tych wahań maleje z upływem czasu, co należy przypisać ustaleniu się warunków eksploatacji poszczególnych ujęć. W niektórych ujęciach przy istniejących wahańach są widoczne tendencje zmian stężeń zmierzające ku wyższym (ujęcie Górne nr 1, MCS nr 5 i Zofia) lub niższym wartościom (ujęcie 1A). Zbyt wrywkowe opróbowanie nie upoważnia jednak do opisanie tych zależności równaniami trendu.

W świetle powyższych danych należy stwierdzić, że

analizy stężeń radonu wykonywane raz w roku nie stanowią wystarczającej podstawy do przeanalizowania zmienności tego parametru w czasie. Do wnikliwszej analizy posłużyły więc dane z analiz wykonywanych przez laboratorium uzdrowiskowe.

Na ryc. 3 przedstawiono zmienność średnich miesięcznych stężeń radonu w wodach podziemnych ujęć Górne zbiorcze i 1A Świeradów Zdroju określonych na podstawie analiz wykonywanych z częstotliwością co najmniej raz w miesiącu.

Baza danych sporządzona przez autora w Świeradów Zdroju z dostępnych wyników archiwalnych obejmuje okres pomiarowy od 1986 do 1996 r. (3347 danych). W okresie tym, w latach 1986–1990 można obserwować powolny systematyczny spadek koncentracji radonu w wodach podziemnych źródła Górne oraz pobliskiego odwiertu 1A, a następnie trwający do końca 1996 r. powolny ich wzrost. Na ten ogólny trend nakładają się dość silne wahania w krótszych okresach czasu. Należy podkreślić analogiczną zmienność długookresową stężeń w obu tych ujęciach, mimo różnicy w głębokości, z jakiej wody te są ujmowane. Świadczy to o słuszności przedstawionego poglądu o genezie radonu w tych ujęciach, tzn. o rozcieńczaniu ujmowanych w obu tych ujęciach pochodzących z większych głębokości szczaw, zawierających znikome ilości radonu, płytszymi wodami zawierającymi znacznie podwyższone stężenia tego gazu.

Jak pokazano na ryc. 3 w obu ujęciach Świeradów Zdroju (Górne zbiorcze i 1A) jest obserwowana długookresowa zmienność stężeń, której przyczyny w obecnym stanie wiedzy są trudne do ustalenia.

Zaobserwowanie tego faktu skłoniło autora do próby uchwycenia ewentualnych sezonowych zmian stężeń radonu na podstawie analizy wieloletnich obserwacji średnich miesięcznych stężeń radonu w wodach podziemnych. W tym celu sporządzono wykresy przedstawiające zakresy zmian stężeń średnich miesięcznych w okresie wykonywania analiz, które powinny ujawnić ewentualną sezonowość zmienności (ryc. 4). Z przedstawionych wykresów jasno wynika, że w żadnym z badanych ujęć nie obserwujemy sezonowej zmienności stężeń radonu w wodzie. Zaznaczają się jedynie większe lub mniejsze rozrzuty wyników w poszczególnych miesiącach, jednakże ich średnia jest bardzo wyrównana, a więc w żadnym okresie roku nie wskazuje na istotną podwyższoną lub obniżoną koncentrację radonu. Dlatego też można stwierdzić, że żadne czynniki nie powodują regularnych sezonowych zmian koncentracji radonu w wodach podziemnych Świeradów Zdroju. Uzyskane wyniki zaprzeczają więc sugerowanemu wcześniej przez różnych autorów zjawisku występowania wyższych stężeń w okresie zimowym, co miało być spowodowane spadkiem wydajności ujęć (Ciężkowski, 1990; Ciężkowski & Solecki, 1990; Fisteck & Teisseyre, 1967; Głowiak & Ziółkowski, 1965). Jest to kolejna przesłanka do tłumaczenia dużego rozrzutu mierzonych wartości stężeń w poszczególnych dniach silnymi dobowymi wahaniami czynników atmosferycznych, które

mogą wpływać na współczynnik emanacji, jak i na warunki przepływu podziemnego zwłaszcza wód płytkich.

Podsumowanie

Zmiany stężeń radonu w podziemnych wodach leczniczych Świeradowa Zdroju wykazują nieregularny charakter, a także różnią się znacznie dla poszczególnych ujęć. Dlatego też pomiary wykonywane raz w roku nie są przystające do przeprowadzenia jakichkolwiek syntez, porównań, itp.

Prowadzenie pomiarów o częstotliwości ok. kilku do kilkunastu analiz w ciągu miesiąca pozwala zauważyć pewne tendencje zmian stężeń radonu w okresach miesięcznych. W wodach ujęć 1A i Górne zbiorcze stwierdzono kilkuletni okres, w którym nastąpił wyraźny spadek stężeń radonu. Mimo, że ujęciami tymi są eksploatowane szczawy radoczynne z różnych głębokości trend zmian stężeń radonu jest podobny. Potwierdza to pogląd o mieszanu się szczaw głębokiego krążenia z płytkimi wodami infiltracyjnymi zawierającymi podwyższone stężenia radonu.

W podziemnych wodach leczniczych Świeradowa Zdroju nie stwierdzono sezonowej zmienności stężeń radonu.

Wydaje się, że jedynymi czynnikami wpływającymi na wahania stężeń radonu w tych wodach są dobowe wahania czynników atmosferycznych, zwłaszcza ciśnienia, temperatury i wilgotności.

W celu uzyskania precyzyjnego obrazu zmian stężeń radonu w podziemnych wodach leczniczych Świeradowa Zdroju należy prowadzić możliwie częste pomiary chwilowych stężeń radonu lub wprowadzić ciągły monitoring stężeń tego gazu.

Autor pragnie podziękować Fundacji Badań Radiacyjnych za wsparcie finansowe w trakcie wykonywania badań.

Pani Teresie Dragunowicz z UZG Świeradów-Czerniawa oraz Dyrekcji Uzdrowiska autor składa podziękowania za wszechstronną pomoc w czasie prac w uzdrowisku, a zwłaszcza za udostępnienie materiałów archiwalnych (analiz chemicznych, map, przekrojów i in.).

Literatura

CIEŻKOWSKI W. 1983 — Jednostka hydrogeologiczna szczaw Gór Izerskich. *Kwart. Geol.*, 27: 595–604.
 CIEŻKOWSKI W. 1990 — Studium hydrogeochemii wód leczniczych Sudetów polskich. *Pr. Nauk. Inst. Geotechn. Polit. Wr.*, 60, seria Monografie, 19.
 CIEŻKOWSKI W., DOKTÓR S., GRANICZNY M., KABAT T., LIBER-MADZIARZ E., PRZYLIBSKI T., TEISSEYRE B., WIŚNIEWSKA M. & ZUBER A. 1996 — Próba określenia obszarów zasilania wód leczniczych pochodzenia infiltracyjnego w Polsce na podstawie badań izotopowych. *Zał. 36, Złoże wód leczniczych Świeradowa Zdroju. ZBU Zdroje, Wrocław. Maszynopis.*
 CIEŻKOWSKI W., MARSZAŁEK H. & SOLECKI A. 1993 — Radon w wodach podziemnych i w powietrzu glebowym obszaru granitu karkonoskiego. *Mat. konf. Geokol. Problemy Karkonoszy, UW.*, 119–124.
 CIEŻKOWSKI W. & PRZYLIBSKI T. A. 1997 — Radon in waters from health resorts of the Sudety Mountains. (SW Poland). *Applied Radiation and Isotopes*, 48: 855–856.
 CIEŻKOWSKI W., PRZYLIBSKI T., SOBINA M. & ZŁOCH K. 1994 — 222-radon in Niedźwiedzia Cave (SW Poland). [In:] *Extended abstracts, Isotope Workshop II, 25–27 May, Książ Castle, Poland*: 10–12.
 CIEŻKOWSKI W. & SOLECKI A. T. 1990 — Radon cartography as tool of research examples from the Sudety Mts area. (SW Poland). [In:] *Radon et gaz rares dans les sciences de la terre et de l'environnement. Actes du Colloque International sur la Geochimie des Gaz (Mons, 3–6*

Octobre 1990 — Belgique). *Mém. Expl. Cartes Géologique et Minières de la Belgique*, 32: 133–139.

CIEŻKOWSKI W., SOLECKI A. & ŚLIWIŃSKI W. 1995 — Results of the long term monitoring of radon content in mineral springs of the Spa of Łądek Zdrój, southwestern Poland. [In:] *Gas geochemistry. Claude Dubois et al. (ed). University of Franche-Comté, Besançon, France, Science Reviews, Northwood*: 81–89.
 DOWGIAŁŁO J. 1978 — Pochodzenie dwutlenku węgla w szczawach Karpat i Sudetów na obszarze Polski. *Biul. Inst. Geol.*, 312: 191–217.
 FISTEK J. 1967 — Wody mineralne Świeradowa Zdroju. *Przew. 40 Zjazdu Pol. Tow. Geol., Zgorzelec 24–27.08.1967 r.*, *Wyd. Geol.*: 76–78.
 FISTEK J. 1975 — Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych otworów, 1, 3a, 13a w Świeradowie Zdroju. *B.P. Balneoprojekt, Warszawa.*
 FISTEK J. & SCHERAUTZ G. 1968 — Dokumentacja powykonawcza 14-tu odwiertów badawczych odwierconych w latach 1962–1965 w Świeradowie Zdroju. *B.P. Balneoprojekt, Warszawa.*
 FISTEK J. & STARZYŃSKA D. 1973 — Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych otworów 1P, 2P, 3P, 4P w Świeradowie Zdroju. *B.P. Balneoprojekt, Warszawa.*
 FISTEK J. & TEISSEYRE J. 1967 — Geneza wód mineralnych Świeradowa Zdroju. *Przew. 40 Zjazdu Pol. Tow. Geol., Zgorzelec 24–27.08.1967 r.*, *Wyd. Geol.*: 177–178.
 FISTEK J., IWANOWSKI S., ICIEK A. & JAGODZIŃSKI A. 1975 — Badania geologiczne, geofizyczne i hydrogeologiczne jako przykład kompleksowego rozwiązania problemu poszukiwań wód leczniczych w uzdrowiskach sudeckich. *Biul. Inf. Geof.*, 1: 5–30.
 GŁOWIAK B. & ZIÓBKOWSKI J. 1965 — Radioaktywność wód Świeradowa Zdroju. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 5: 166–169.
 PRZYLIBSKI T. A. 1994 — Występowanie i znaczenie radonu w środowisku naturalnym Dolnego Śląska. *Ochrona Środowiska*, 52: 15–20.
 PRZYLIBSKI T. A. 1996a — Wybrane aspekty obecności radonu w wodach leczniczych Świeradowa Zdroju. *Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski, Wrocław*, 203–210.
 PRZYLIBSKI T. A. 1996b — Zmienność koncentracji radonu w powietrzu Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie (Sudety). *Prz. Geol.*, 44: 942–944.
 PRZYLIBSKI T. A. 1996c — Concentrations of radon and its decay products in the air of the former arsenium mine in Złoty Stok (Sudety Mts., SW Poland). *Proceedings of International Conference Technologically enhanced natural radiation caused by non-uranium mining; 16–19 October, Szczyrk, Poland.*: 93–108.
 PRZYLIBSKI T. A. 1997 — Wybrane uwarunkowania występowania radonu-222 w Sudetach. *Pr. doktorska, Polit. Wr., Inst. Geotech. i Hydrotech., Raport ser. PRE, 577, Wrocław.*
 PRZYLIBSKI T. A. & ŻEBROWSKI A. 1996 — Origin of radon in medicinal waters of Świeradów Zdrój. *Nukleonika*, 41: 109–116.
Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 16 sierpnia 1994 r. w sprawie określenia złóż wód zaliczonych do solanek, wód leczniczych i termalnych oraz innych kopalin leczniczych, a także w sprawie zaliczenia kopalin pospolitych z określonych złóż do kopalin podstawowych. *Dz. U. Nr 89, poz. 417.*
Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 23 sierpnia 1994 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinna odpowiadać dokumentacja hydrogeologiczna i geologiczno-inżynierska. *Dz. U., Nr 93, poz. 444.*
 SCHERAUTZ G. 1965 — Dokumentacja inwentaryzacyjna ujęć wód leczniczych Świeradowa Zdroju. *Arch. P.P. O.T.U., Warszawa.*
 SOLECKI A. T. 1995 — Podwyższona radioaktywność lessów przedsuddeckich jako rezultat eolicznego transportu radionuklidów. *Prz. Geol.*, 43: 949–951.
 STRZELECKI R. & WÓLKOWICZ S. 1993 — Radon — zagrożenie większe niż Czarnobyl. *Prz. Geol.*, 41: 151–154.
 SZAŁAMACHA J. & SZAŁAMACHA M. 1984 — Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów, Skala 1 : 25 000, Arkuszy Świeradów Zdrój (wraz z objaśnieniami). *Wyd. Geol.*
 SZMYT M. 1958 — Radoczynność źródeł leczniczych w Górach Izerskich i Karkonoszach. *Poznańskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk, Pr. Kom. Farmaceut.*, 1: 95–106.
 TEISSEYRE J. 1954 — Geologia sudeckich wód mineralnych. *Zjazd Naukowo-Techniczny poświęcony Zagadnieniom racjonalizacji gospodarki i eksploatacji złożowej wód mineralnych w Polsce, 3–4.09.1954 r. w Krynicy. Mat. Pozjazdowe, Stalinogród*: 74–96.
 TEISSEYRE J. 1966 — Źródła mineralne Dolnego Śląska w świetle badań geologicznych (1945–1965). *Z geologii Ziemi Zachodnich. Wrocław*: 485–505.