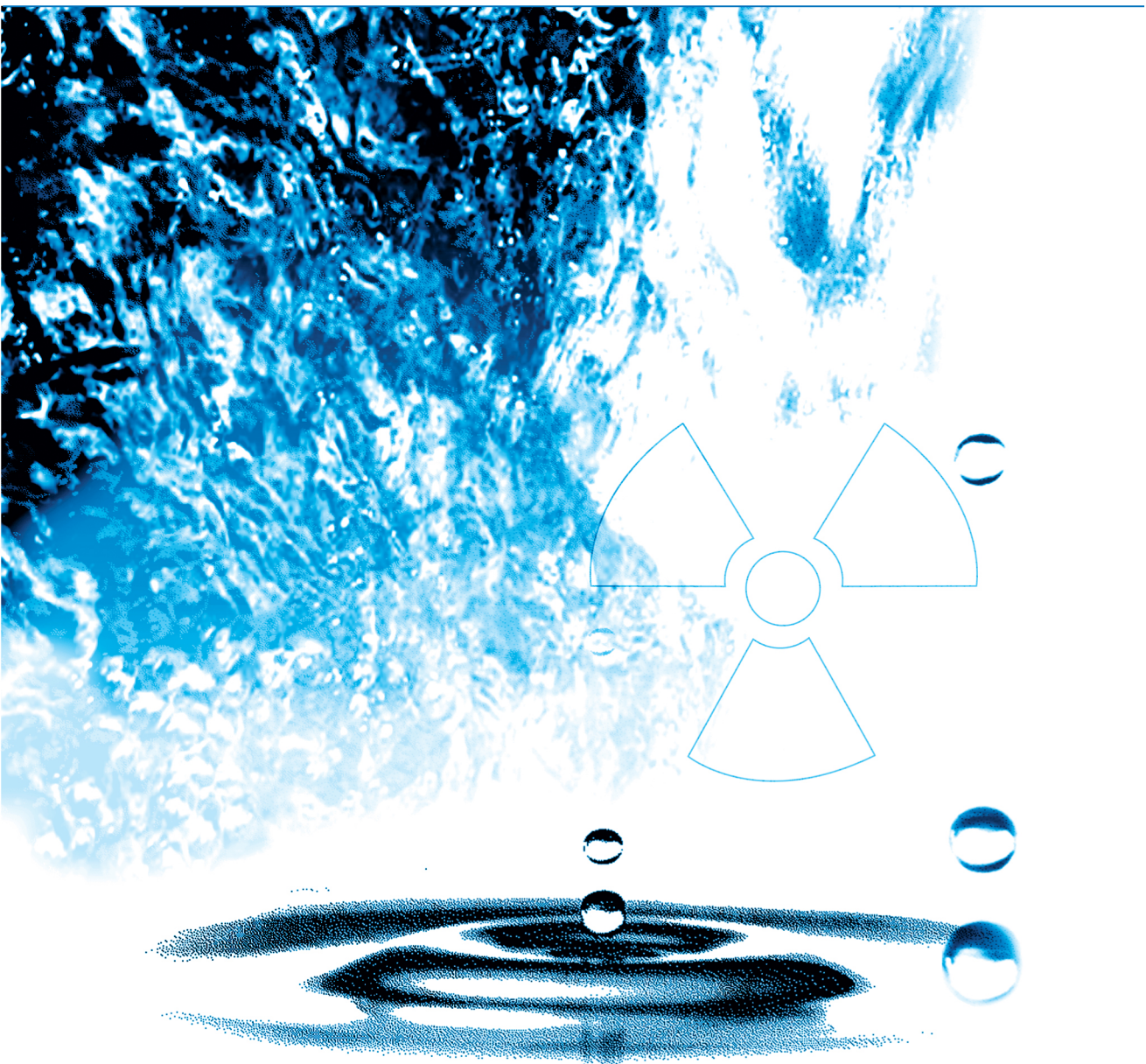


Beata Kozłowska

**Promieniotwórczość naturalna wód źródlanych
uzdrowisk południowej Polski**



**Promieniotwórczość naturalna
wód źródłanych
uzdrowisk południowej Polski**



NR 2644

Beata Kozłowska

**Promieniotwórczość naturalna
wód źródlanych
uzdrowisk południowej Polski**



Redaktor serii: Fizyka
Władysław Borgiel

Recenzenci
Karol Monkos
Anna Pazdur

Spis treści

Wstęp	9
-----------------	---

Promieniotwórczość naturalna w środowisku

1. Promieniotwórczość pierwiastków	17
1.1. Naturalne szeregi promieniotwórcze w przyrodzie	18
1.2. Równania Batemana dla rodzin izotopów ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{224}Ra	22
1.3. Równania Batemana dla rodziny izotopu ^{222}Rn	29
2. Wybrane radionuklidy pochłaniane przez organizmy żywe	32
2.1. Krótka charakterystyka badanych radionuklidów	32
2.1.1. Radon	32
2.1.2. Rad	33
2.1.3. Uran	34
2.2. Zarys geochemii badanych radionuklidów w skorupie ziemskiej i w wodzie	36
2.2.1. Radon	36
2.2.2. Rad	39
2.2.3. Uran	41
2.3. Równowaga promieniotwórcza w środowisku naturalnym	43
3. Dawki promieniowania	45
3.1. Rodzaje dawek promieniowania	45
3.2. Roczne dawki efektywne	47
3.3. Efektywna dawka obciążająca	48

Stosowane metody pomiarowe

4. Spektrometria α	54
4.1. Przygotowanie źródła α -spektrometrycznego	54
4.2. Pomiar promieniowania α z zastosowaniem detektora półprzewodnikowego	60

5. Technika ciekłoscyntylacyjna	65
5.1. Przygotowanie próby do pomiaru	67
5.2. Pomiar aktywności techniką ciekłoscyntylacyjną	70
6. Spektrometria γ	75
6.1. Przygotowanie próby do pomiaru	76
6.2. Pomiar promieniowania γ z zastosowaniem detektora półprzewodnikowego Ge(Li)	77
7. Technika spektrometrii mas	83
8. Przegląd metod analitycznych oznaczania radionuklidów naturalnych w wodzie	90
8.1. Radon	90
8.2. Rad	92
8.3. Uran	97
9. Metody oznaczania radionuklidów naturalnych w wodzie stosowane w pracy	100
9.1. Pobór prób w środowisku	100
9.2. Metody analityczne	103
9.2.1. Oznaczanie ^{222}Rn	103
9.2.2. Oznaczanie $^{226,228}\text{Ra}$	106
9.2.3. Oznaczanie $^{234,235,238}\text{U}$	109
10. Poszukiwanie uproszczonej metody radiochemicznej pomiaru izotopów U i Ra	114
10.1. Zastosowanie dysku U/Ra	115
10.2. Budowa dysku U/Ra	116
10.3. Otrzymywanie źródła α -spektrometrycznego na dysku U/Ra	117
10.4. Kalibracja dysków U/Ra	119
10.5. Test metody	122

Badania prowadzone w latach 1998–2007

11. Teren objęty badaniami własnymi	127
11.1. Klasyfikacja wód podziemnych	127
11.2. Wody podziemne Sudetów	131
11.3. Wody podziemne Karpat	134
11.4. Tereny poboru i charakterystyka prób wody naturalnej	136
12. Wyniki badań własnych	146
12.1. Pobór prób	146
12.2. Ocena dokładności metod pomiarowych	147
12.3. Stężenie aktywności pierwiastków promieniotwórczych w wodach źródłanych Sudetów	148
12.3.1. Stężenia aktywności ^{222}Rn , ^{226}Ra , ^{228}Ra	154
12.3.2. Izotopy ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U w wodach Zespołu Uzdrawisk Świeradów — Czerniawa	160

12.4. Stężenie aktywności pierwiastków promieniotwórczych w wodach źródłanych Karpat Zewnętrznych	163
12.4.1. Stężenia aktywności ^{222}Rn , ^{226}Ra , ^{228}Ra	168
12.5. Korelacje pomiędzy badanymi radionuklidami szeregu uranowego i torowego	171
12.6. Transfer radionuklidów w środowisku woda — skała	180
12.6.1. Współczynnik transferu	181
12.6.2. Uzdrawisko Świeradów — Czerniawa jako typowy przykład budowy geologicznej jednostek krystaliniku sudeckiego	182
12.6.3. Naturalne radionuklidy ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{234}U , ^{238}U w skałach	184
12.6.4. Współczynniki transferu radu i uranu w środowisku skała — woda	187
12.7. Równowaga promieniotwórcza radionuklidów w badanym środowisku Sudetów i Karpat Zewnętrznych	193
13. Roczne dawki efektywne od spożywanych radionuklidów	196
13.1. Zastosowanie wód podziemnych	196
13.2. Obowiązujące w Polsce akty prawne	197
13.3. Klasyfikacja radonowych wód podziemnych	199
13.4. Radonowe wody „lecnicze” na terenie Polski	200
13.5. Roczne dawki efektywne od radonu i radu wchłanianych drogą pokarmową	202
13.6. Roczne dawki efektywne pochodzące od radonu wchłanianego drogą oddechową	212
13.7. Roczne dawki efektywne pochodzące od uranu	215
13.8. Roczne dawki efektywne pochodzące od spożywanej wody w Polsce	217
13.9. Roczne dawki efektywne pochodzące od spożywanej wody w Europie	219
14. Gromadzenie się radionuklidów w organizmie i rekomendowane limity dawek	222
14.1. Limity dawek pochodzące od radonu	224
14.2. Limity dawek pochodzące od radu	226
14.3. Limity dawek pochodzące od uranu	228
14.4. Dozymetryczna (długoterminowa) interpretacja badań	229
15. Podsumowanie	233
Literatura	237
Summary	251
Zusammenfassung	253

Wstęp

W ostatnim dziesięcioleciu znacznie wzrosło spożycie wód mineralnych w Polsce. Fakt ten spowodował konieczność podjęcia poszukiwań nowych źródeł wody dla celów spożywczych oraz leczniczych. Przydatność wód mineralnych do celów konsumpcyjnych ocenia się na podstawie zawartych w nich kationów (Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Li^+ , Se^{2+}) i anionów (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-), pomijając całkowicie szeroko rozpowszechnione w środowisku naturalnym pierwiastki promieniotwórcze. Są one obecne zarówno w glebie i skałach, jak i w wodzie i powietrzu, a tym samym również w roślinach, ciele zwierząt i ludzi. Naturalnie występujące radionuklidy, obecne m.in. w wodzie, pochodzą głównie z trzech osobnych szeregów promieniotwórczych (^{235}U , ^{238}U i ^{232}Th). Najdłużej życiowym pierwiastkiem jest tor ^{232}Th z czasem połowicznego zaniku wynoszącym $1,405 \cdot 10^{10}$ lat. Protoplastą ^{232}Th był niewystępujący już w przyrodzie w stanie naturalnym uran ^{236}U , którego czas połowicznego zaniku wynosi $2,342 \cdot 10^7$ lat. Drugim w kolejności najdłużej życiowym pierwiastkiem jest uran ^{238}U ($4,468 \cdot 10^9$ lat). Czas połowicznego rozpadu protoplasty trzeciego szeregu, promieniotwórczego uranu ^{235}U , wynosi $7,038 \cdot 10^8$ lat. Wymienione szeregi promieniotwórcze są źródłem 12 pierwiastków, reprezentowanych przez 43 izotopy promieniotwórcze. Dodatkowo woda może zawierać, powstające w górnej atmosferze, radionuklidy kosmogenne, tj.: 3H , 7Be , ^{10}Be , ^{14}C , a także radioaktywny potas ^{40}K , którego stężenie aktywności zawsze pozostaje w stałym stosunku (0,012%) do potasu stabilnego ^{39}K . Ponadto można w niej znaleźć rubid ^{87}Rb , odkryty na drodze analizy widmowej pozostałości uzyskanych po odparowaniu pewnych wód mineralnych, a także samar ^{147}Sm , którego najbogatszym źródłem są piaski monacytowe.

Izotopy radu, uranu oraz radon zajmują szczególne miejsce pod względem szkodliwości dla człowieka będąc, z wyjątkiem β -promieniotwórczego izotopu radu ^{228}Ra , emiterami promieniowania α . Promieniowanie to charakteryzuje się wysoką jonizacją właściwą, a po przedostaniu się do organizmu ludzkiego może powodować poważne konsekwencje zdrowotne w postaci radiacyjnych

uszkodzeń komórek. Pomimo licznych publikacji na temat radonu, w tym kilku autorki tej pracy (K o z ł o w s k a i in. 1999a, b; 2001; 2007b; P r z y - l i b s k i i in. 2002a, b; 2004b), z uwagi na znaczący udział, wynoszący około 50% średniej rocznej dawki efektywnej, izotop radonu ^{222}Rn stał się także przedmiotem badań niniejszej monografii. W latach 1998—2007 autorka prowadziła badania jakości wód podziemnych pod względem występującej w nich promieniotwórczości naturalnej. Zakres pracy obejmował badania na obecność izotopów radu, radonu oraz monitoringowo izotopów uranu w podziemnych wodach mineralnych i leczniczych uzdrowisk Sudetów i Karpat Zewnętrznych (Fliszowych). Obszar południowej Polski wybrany został przez autorkę ze względu na bogactwo wód podziemnych spożywanych na co dzień przez mieszkańców i turystów, a także niejednokrotnie butelkowanych przemysłowo i rozprowadzanych na terenie całego kraju. Wyniki badań zostały przeanalizowane pod kątem zgodności z zaleceniami światowych organizacji międzynarodowych zajmujących się wpływem promieniotwórczości na zdrowie człowieka (m.in.: Environmental Protection Agency (EPA), International Commission on Radiological Protection (ICRP), National Academy of Sciences Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR), United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation (UNSCEAR)).

Woda podziemna powstaje z opadu atmosferycznego, który infiltruje glebę i podłoże skalne. Ilość deszczu i śniegu, parowanie, czas utrzymywania się mrozu oraz natura gleby mają wpływ na wody podziemne. Część wody deszczowej wyparowuje natychmiast lub przez transpirację, część infiltruje glebę i skały, a część unoszona jest rzekami do morza. Stężenia aktywności radionuklidów naturalnych w wodzie są związane ze stężeniami aktywności uranu (^{238}U i ^{235}U), toru (^{232}Th) i ich produktów rozpadu w glebie oraz w otaczających skałach. Dzieje się tak dlatego, że wody podziemne, reagując z glebą i skałami, uwalniają część rozpuszczonych składników, w zależności od mineralogicznego i chemicznego składu gleby i skał, chemicznego składu wody, stopnia zwiertzenia skał, warunków utleniająco-redukcyjnych (redox) oraz czasu przebywania wody w glebie i otaczającej skale.

Naturalne radionuklidy oraz produkty ich rozpadu są transportowane z wodą podziemną i powierzchniową. W wyniku tego transferu radionuklidy mogą przeniknąć z wody źródlanej (stołowej, mineralnej), wody wodociągowej ze studni głębinowych oraz wody powierzchniowej ze strumieni i rzek do łańcucha pokarmowego, a więc także do organizmu człowieka. Narażenie zdrowia ludzi jest realne, ale stopień zagrożenia nie jest jednoznacznie określony. Jest to spowodowane brakiem wiedzy na temat stężenia aktywności radionuklidów w środowisku, a co za tym idzie — brakiem badań epidemiologicznych określających ryzyko zależne od spożywania radionuklidów z wodą pitną. Wchłonięty przez organizm ^{222}Rn atakuje żołądek (National Research Council 1999). Do dawki efektywnej od wchłoniętego przez drogi pokarmowe radonu

^{222}Rn dochodzi jeszcze wdychany radon znajdujący się w powietrzu w pomieszczeniach zamkniętych, który ze swej natury łatwo uwalnia się w trakcie użytkowania wody. Zainhalowane jądra ^{222}Rn dołączają się do dawki wchłoniętej przez płuca. Długożyciowe radionuklidy, takie jak: ^{234}U , ^{238}U , ^{226}Ra , ^{228}Ra , podwyższają dawkę, jaką otrzymują: nerki, wątroba, pęcherz moczowy, powierzchnia kości oraz szpik kostny (ICRP67 1993, ICRP69 1995).

Oznaczanie pierwiastków promieniotwórczych w próbach środowiskowych wykonuje obecnie kilka ośrodków badawczych w Polsce, specjalizując się najczęściej w pojedynczych izotopach. Badania takie wymagają wysokich kwalifikacji analitycznych, specjalistycznej aparatury pomiarowej i wykonania czasochłonnej oraz pracochłonnej analizy radiochemicznej próby. Oznaczanie zawartości radu w próbach ciekłych prowadzi, oprócz Zakładu Fizyki Jądrowej i Jej Zastosowań (ZFJiJZ) Instytutu Fizyki Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach, także Główny Instytut Górnictwa w Katowicach i Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie. Izotopy uranu w próbach stałych i ciekłych badane są w ZFJiJZ, w Instytucie Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie, w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej w Warszawie oraz na Uniwersytecie Gdańskim. Oznaczeniami radonu zajmuje się wiele ośrodków w Polsce, oprócz wymienionych m.in. Politechnika Łódzka w Łodzi i Akademia Medyczna w Białymstoku. Długożyciowe izotopy ołowiu ^{210}Pb i polonu ^{210}Po występujące w końcowej części szeregu uranowo-radowego są oznaczane w Polsce bardzo rzadko i nie były przez autorkę analizowane. Pojedyncze publikacje na temat ich zawartości w polskich wodach źródłanych (S k w a r z e c 2003) potwierdzają ich niewielki wkład w dawkę efektywną otrzymywaną przez ludność.

Głównym celem niniejszej pracy było oznaczenie stężeń aktywności izotopów promieniotwórczych radu $^{226,228}\text{Ra}$, radonu ^{222}Rn oraz monitoringowo, na wybranym terenie, izotopów uranu $^{234,235,238}\text{U}$ w wodach podziemnych mineralnych i leczniczych, by móc oszacować roczne i długoterminowe dawki efektywne, jakie ludność terenów południowej Polski otrzymuje, spożywając te wody. Zamiarem autorki było również:

- porównanie uzyskanych wyników dawek efektywnych otrzymywanych w trakcie spożywania wód podziemnych na badanym terenie z wytycznymi międzynarodowymi;
- określenie stopnia korelacji pomiędzy badanymi radioizotopami w próbach wód podziemnych;
- przeanalizowanie zawartości badanych izotopów w wodach podziemnych i skałach towarzyszących na wybranym terenie w celu oszacowania transferu radionuklidów pomiędzy różnymi elementami środowiska;
- opracowanie i wprowadzenie nowej metody pomiarowej, usprawniającej radiochemiczną analizę prób, biorąc pod uwagę czasochłonność i ponoszone koszty.

Niniejsza praca została podzielona na trzy części. Część pierwsza obejmuje zagadnienia promieniotwórczości naturalnej w środowisku, przedstawia wybrane do badań radionuklidy oraz wprowadza pojęcie dawek promieniowania i sposoby ich obliczania.

Część druga monografii prezentuje techniki pomiarowe stosowane w spektrometrii jądrowej, takie jak: spektrometria α , spektrometria ciekłoscyntylacyjna, spektrometria γ oraz dodatkowo spektrometria mas. Omówiono tu testy nowej metody pomiarowej, wprowadzonej po raz pierwszy przez autorkę do badań polskich wód mineralnych, która polega na pomiarze izotopów α -promieniotwórczych w badanej próbce wody za pomocą dysku U/Ra i techniki spektrometrii α . Metoda ta nie wymaga preparatyki radiochemicznej próby wody, co znacznie obniża czas i koszt analizy. Przystosowanie jej do badań różnych rodzajów wód podziemnych mogłoby sprawić, że stanie się konkurencyjną metodą badawczą dla drogich i czasochłonnych metod tradycyjnych.

Część trzecia pracy to realizacja głównych jej celów. Obejmują one wykonanie pomiarów stężeń izotopów radu i radonu w źródłach wód naturalnych uzdrowisk Sudetów i Karpat Zewnętrznych z zastosowaniem techniki ciekłoscyntylacyjnej. Dodatkowo dla interesującego geologicznie terenu Zespołu Uzdrowisk Świeradów — Czerniawa przeprowadzono pomiary izotopów uranu, zarówno w wodach podziemnych, jak i w skałach towarzyszących. W tym celu posłużono się spektrometrią α oraz, dzięki uprzejmości naukowców laboratoriów badawczych IAEA (Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej) w Wiedniu, spektrometrią mas. Dla analizowanego terenu przedyskutowano współczynniki transmisji na granicy faz skała — woda. Ponadto określono stopień korelacji pomiędzy badanymi radioizotopami w próbach wód podziemnych. Obliczono także dawki promieniowania wewnętrznego, jakie otrzymuje organizm ludzki od radionuklidów, w tym radonu ^{222}Rn , zawartych w wodzie źródlanej przeznaczonej do konsumpcji przez mieszkańców badanych terenów.

Prezentowane przez autorkę rezultaty badań mogą być wykorzystane w dydaktyce. Pokazano bowiem drogę całego procesu badawczego — od rozpoznania terenu i pobrania reprezentatywnej próby oraz jej zabezpieczenia, przez wybór właściwej techniki pomiarowej lub kilku technik, co determinuje sposób przygotowania próby w laboratorium do pomiaru, do matematycznej obróbki wyników i obliczenia stężenia aktywności, a w razie konieczności — dawki promieniowania wewnętrznego, jaką otrzymuje człowiek.

Zagadnienie promieniotwórczości naturalnej wód mineralnych i źródłanych, a nawet wód powierzchniowych przeznaczonych do codziennego spożycia przez ludność, nie znajduje w naszym kraju właściwego zrozumienia ustawodawców, ograniczających zakres obowiązkowych badań do analiz chemicznych i bakteriologii. Polskie przepisy (Rozporządzenie Ministerstwa Zdrowia 2002, 2004, 2006, 2007) w bardzo ograniczonym zakresie sygnalizują problem badania promieniotwórczości w wodach lub całkowicie go pomijają. Przepisy krajów Unii

Europejskiej poświęcają temu zagadnieniu znacznie więcej uwagi. Polskie uregulowania będą więc musiały zostać dostosowane do wymogów unijnych, a wyniki badań przedstawione w niniejszej pracy mogą stanowić podstawę ustalenia polskich norm w tym zakresie.

Pragnę złożyć serdeczne podziękowania Panu prof. dr. hab. Wiktorowi Zipperowi, Kierownikowi Zakładu Fizyki Jądrowej i Jej Zastosowań Instytutu Fizyki Uniwersytetu Śląskiego, za umożliwienie mi realizacji niniejszej pracy, liczne dyskusje oraz wiele cennych uwag w trakcie jej wykonywania.

Gożąco dziękuję Koleżankom i Kolegom — obecnym i byłym pracownikom ZFJiJZ — za pomoc w wyjazdach w teren w celu poboru prób do badań, w analizach radiochemicznych prób, w opracowaniu wyników, szczególnie zaś najbliższym współpracownikom — Panu mgr. Jerzemu Dordzie oraz Paniom dr Barbarze Kłos, dr Agnieszce Hetman i mgr Agacie Walencik.

Jestem głąboko wdzięczna Panu dr. hab. Tadeuszowi Przylibskiemu z Laboratorium Hydrogeologicznego Zakładu Geologii i Wód Mineralnych Instytutu Górnicztwa Politechniki Wrocławskiej za długoletnią współpracę, wspólne wyjazdy w teren oraz liczne dyskusje nad wynikami badań do wspólnych publikacji naukowych.

Składam również podziękowania pracownikom zakładów geologicznych i balneolecznicznych oraz pracownikom rozlewni wód mineralnych znajdujących się w uzdrowiskach Sudetów i Karpat Zewnętrznych za umożliwienie mi poboru i pomoc techniczną przy pobieraniu prób wód do badań.

Serdecznie dziękuję Pani prof. dr. hab. Annie Pazdur oraz Panu dr. hab. Karolowi Monkosowi za cenne uwagi merytoryczne i redakcyjne, dzięki którym praca uzyskała ostateczny kształt.

Szczególną wdzięczność chcę wyrazić najbliższej Rodzinie za cierpliwość i wsparcie podczas pisania przeze mnie niniejszej monografii.

Beata Kozłowska

A natural radioactivity of spring waters of health resorts in the south of Poland

S u m m a r y

The publication deals with the occurrence of ^{238}U - and ^{232}Th -series radionuclides in natural groundwater from the areas of the Polish parts of the Sudety and Karpaty Zewnętrzne Mountains so as to evaluate the annual and long-term effective doses caused by these radionuclides in drinking water. In order to be able to reduce radiation exposure and avoid high doses, it is important to examine the activity levels of natural radionuclides in groundwater.

The activity concentrations of radon (^{222}Rn), radium ($^{226,228}\text{Ra}$) and also uranium ($^{234,235,238}\text{U}$) in one chosen region, Świeradów — Czerniawa health resort, were repeatedly measured in 154 intakes from 24 Sudety health resorts and 5 Karpaty Zewnętrzne health resorts. On the basis of the results, the correlations between investigated radionuclides were studied and the radiation exposure from drinking water to inhabitants and tourists was evaluated. In order to obtain accurate results and correct estimates of effective doses, particular attention was paid to the sampling of ^{222}Rn and other radionuclides. Additionally, in Świeradów — Czerniawa health resort radium and uranium isotopes were studied in reservoir rocks infiltrated by underground water. The results allowed for the calculation of transmission coefficients in rock — to water environment.

The results revealed that in Poland, the highest radioactivity in water may be found in the Sudety Mountains. The averaged activity concentrations of ^{222}Rn observed ranged from $4,2 \pm 0,4$ Bq/l to 1703 ± 55 Bq/l. In the Karpaty Mountains, radon water was not found. The activity concentrations of ^{222}Rn were up to 50 ± 5 Bq/l. The activity concentrations of ^{226}Ra isotope studied in the same intakes were from $0,010 \pm 0,001$ to $1,013 \pm 0,070$ Bq/l for the Sudety spring waters, and of ^{228}Ra from $0,03 \pm 0,01$ to $0,534 \pm 0,110$ Bq/l. For the Karpaty Mts. the observed activity concentrations of ^{226}Ra were lower, from $0,010 \pm 0,001$ to $0,49 \pm 0,14$ Bq/l, and for ^{228}Ra from $0,018 \pm 0,004$ to $0,40 \pm 0,24$ Bq/l. The activity concentrations of $^{234,235,238}\text{U}$ isotopes studied in 20 intakes in the Świeradów — Czerniawa region were most frequently one magnitude lower than the ^{228}Ra concentrations.

A new method using U/Ra-discs produced by Sarad company was examined for the easier and less expensive determination of ^{234}U and ^{238}U simultaneously with ^{226}Ra . Preliminary results show that the method may be used for low — and medium — mineralized water.

In Poland, there is a population of people who permanently use natural spring water from private intakes for daily drinking and household requirements. This group may receive nearly half ($25,6$ mSv/70y) of the collective long-term effective dose due to only radium isotopes presence in drinking water. It should be noted that other radionuclides may also contribute to this dose. The equivalent doses on bone surface, due to radium intake with drinking water, are one magnitude higher.

This work constitutes the first complex study of the natural radioactivity in underground water environment in the Polish mountains.

Beata Kozłowska

Natürliche Radioaktivität der Quellgewässer in südpolnischen Kurorten

Zusammenfassung

Die vorliegende Publikation betrifft die Bedeutung von den in natürlichen Grundgewässern auf dem Gebiet der polnischen Sudeten und Karpaten auftretenden Radionukliden der Uran- und Thoriumumwandlungsreihe für die Abschätzung von jährlichen und langfristigen effektiven Strahlungsdosen, die von den Menschen samt dem Wasser eingenommen werden. Natürlicher Radioaktivitätsstand des Grundwassers muss geprüft werden, damit die Bevölkerung den erhöhten Effektivdosen nicht ausgesetzt ist.

Die Aktivitätskonzentrationen von Radon (^{222}Rn), Rad ($^{226,228}\text{Ra}$) für ein ausgewähltes Gebiet des Kurortkomplexes Świeradów — Czerniawa, wie auch von Uran ($^{234,235,238}\text{U}$) waren vielfach in 154 Wasserfassungen gemessen, die in 24 Kurorten in Sudeten und in 5 Kurorten in Außenkarpaten lokalisiert waren. Auf Grund der Ergebnisse wurden die Wechselbeziehung zwischen den einzelnen Radionukliden und die von den Menschen eingenommenen Radioaktivitätseffektivdosen berechnet. Die Grundwasserproben wurden nach den bei der Trinkwasserprobeentnahme geltenden Richtlinien entnommen. Die der Messung vom Radonisotop (^{222}Rn) dienenden Proben mussten dabei besonders vorsichtig entnommen werden, denn das Radionuklid gasförmig ist. In dem ausgewählten Gebiet Świeradów — Czerniawa wurden zusätzlich die Aktivitätskonzentrationen von Uran- und Radisotopen in dem die Wasserfassungen umgebenden Reservoirgestein bestimmt, was die Bestimmung von den Transmissionskoeffizienten an der Mediumsgrenze: Gestein — Wasser möglich machte.

Es hat sich erwiesen, dass sich die radioaktivsten Wässer in Polen im Sudeten-Gebirge befinden. Die Mittelaktivitätskonzentration von Radon schwankte zwischen $4,2 \pm 0,4$ und 1703 ± 55 Bq/l. In den Karpaten wurden keine Radonwässer festgestellt. Mittlere Werte der Radonaktivität erreichten nur 50 ± 5 Bq/l, was diese Gewässer zur radonarmen Kategorie zählen lässt. In denselben Wasserfassungen wurden auch die Aktivitätskonzentrationen von Radisotopen bestimmt. In den in Sudeten auftretenden Grundwässern schwankte die Aktivitätskonzentration von ^{226}Ra zwischen $0,010 \pm 0,001$ und $1,013 \pm 0,070$ Bq/l, dagegen die Aktivitätskonzentration von ^{228}Ra zwischen $0,03 \pm 0,01$ und $0,534 \pm 0,110$ Bq/l. In den Karpaten waren diese Werte niedriger: für ^{226}Ra von $0,010 \pm 0,001$ bis $0,49 \pm 0,14$ Bq/l, und für ^{228}Ra ähnlich wie in den Sudeten von $0,018 \pm 0,004$ bis $0,40 \pm 0,24$ Bq/l. Für den Kurort Świeradów — Czerniawa hat man außerdem in 20 Wasserentnahmen Uranisotope ($^{234,235,238}\text{U}$) bestimmt. Ihre Aktivitätskonzentrationen waren meistens um eine Größenordnung niedriger als die Aktivitätskonzentrationen von Radisotopen.

In der Suche nach einer zeitsparenden und billigeren Methode der Aktivitätskonzentrationsbestimmung von $^{234,238}\text{U}$ und ^{226}Ra hat man die durch die Firma Sarad hergestellten, mit Mangan-dioxid überzogenen U/Ra Platten getestet. Die Testergebnisse zeigen, dass diese Methode für niedrig- und mittelminalisierte Wässer angewandt werden kann.

In Polen gibt es zahlreiche Haushalte, in denen natürliches Grundwasser täglich gebraucht wird. Der Maximalwert der mit den im Wasser enthaltenen Radisotopen belasteten effektiven Dose beträgt 25,6 mSv/70 Jahre, was einer Hälfte des Grenzwertes entspricht. In der Dose befinden sich aber auch andere langlebige Radionuklide, die in den Organismus mit der Nahrung oder Luft aufgenommen werden. Die, mit den mit dem Wasser eingenommenen und auf die Knochenfläche einwirkenden Radisotopen äquivalenten Dosen sind über eine Größenordnung höher als die effektiven Belastungsdosen.

Die vorliegende Arbeit ist die erste komplexe Monografie über natürliche Radioaktivität der Berggrundwässer.

Redaktor
Barbara Todos-Burny

Projektant okładki
Beata Zadrożny

Redaktor techniczny
Małgorzata Pleśniar

Korektor
Mirosława Żłobińska

Copyright © 2009 by
Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego
Wszelkie prawa zastrzeżone

ISSN 0208-6336
ISBN 978-83-226-1807-3 (wersja drukowana)
ISBN 978-83-8012-783-8 (wersja elektroniczna)

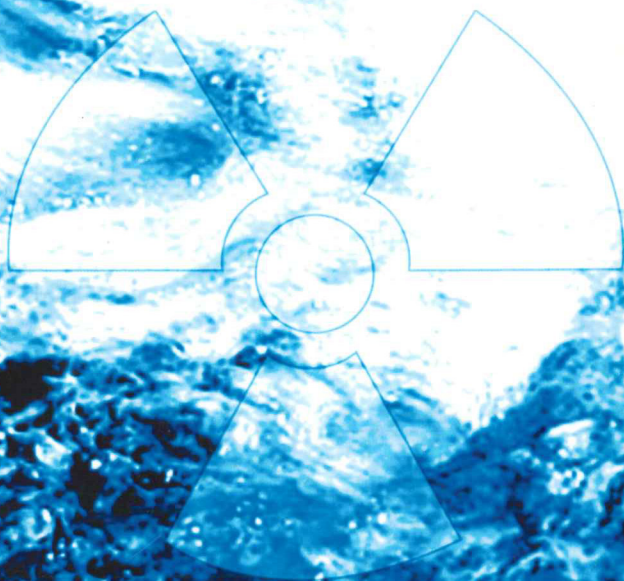
Wydawca
Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego
ul. Bankowa 12B, 40-007 Katowice
www.wydawnictwo.us.edu.pl
e-mail: wydawus@us.edu.pl

Wydanie I. Ark. druk. 16,0. Ark. wyd. 18,5.
Przekazano do lamania w listopadzie 2008 r.
Podpisano do druku w styczniu 2009 r.
Papier offset. kl. III, 90 g Cena 32 zł (+ VAT)

Lamanie: Pracownia Składu Komputerowego
Wydawnictwa Uniwersytetu Śląskiego
Druk i oprawa: EXPOL, P. Rybiński, J. Dąbek, Spółka Jawna
ul. Brzeska 4, 87-800 Włocławek



Cena 32 zł



ISSN 0208-6336

