

AKTYWNOŚĆ ^{210}Pb W WYBRANYCH WODACH PODZIEMNYCH Z OBSZARU KARPAT POLSKICH

ACTIVITY OF ^{210}Pb IN SELECTED GROUNDWATERS IN THE WESTERN PART OF THE POLISH CARPATHIANS

NGUYEN DINH CHAU¹, LUCYNA RAJCHEL², MAREK DULIŃSKI¹

Abstrakt. W pracy przedstawiono rezultaty analiz aktywności ołowiu ^{210}Pb w 31 próbach wód pobranych ze źródeł i odwiertów na obszarze Karpat polskich. Badaniami objęto trzy typy chemiczne wód. W 23 przypadkach były to szczawy, reprezentowane zarówno przez wody przeznaczone do spożycia, jak i wykorzystywane w balneologii do kąpieli leczniczych. Drugim typem (3 próbki) były wody siarczkowe, stosowane głównie do kąpieli leczniczych. Trzeci typ (5 próbek) stanowiły wody chlorkowe o mineralizacji od 3,5 do 8,0 g/l, stosowane w kuracji pitnej, oraz o mineralizacji od 19 do 28 g/l – wykorzystywane do zabiegów kąpielowych. Jakkolwiek w świetle uzyskanych wyników izotop ^{210}Pb (pojedynczo) nie stanowi zagrożenia radiologicznego, niemniej jednak powinien być uwzględniany przy szacowaniu obciążającej dawki skutecznej, wynikającej z zawartości wszystkich izotopów promieniotwórczych obecnych w wodach podziemnych dostępnych dla ogółu ludności. Szczególną uwagę należy zwrócić na zagrożenia, które mogłyby wynikać w sytuacji podawania niektórych z tych wód niemowlętom i małym dzieciom.

Słowa kluczowe: ^{210}Pb , aktywność promieniotwórcza, obciążająca dawka skuteczna.

Abstract. Activity of ^{210}Pb measured in some groundwaters of the Polish Carpathians proves that this isotope is not radiologically hazardous. However, it should be incorporated in calculations of the total effective dose resulted from intake of radionuclides present in drinking waters. A special care should be taken in situations when some of these waters are used in diet of babies and young children.

Key words: ^{210}Pb , radioactivity, effective dose.

WSTĘP

W społeczeństwie polskim wciąż panuje lęk przed wszystkim co wiąże się z promieniowaniem jonizującym. Postawa ta skutecznie hamuje wprowadzanie wielu nowoczesnych technologii i przedsięwzięć z wykorzystaniem izotopów promieniotwórczych w różnych dziedzinach życia. Podstawową przyczyną takiego stanu rzeczy jest niski poziom świadomości społecznej przejawiający się bezkrytyczną akceptacją wszelkich informacji dostępnych w szeroko rozumianych środkach masowego przekazu – z internetem włącznie. W skrajnych przypadkach mamy do czynienia

z demagogicznymi, a nawet nieuczciwymi materiałami rozpowszechnianymi, jak się wydaje, z przyczyn czysto komercyjnych. Niniejsza praca adresowana jest co prawda do ograniczonej liczby odbiorców, niemniej jednak stanowi przyczynek do rzetelnego i pozbawionego emocji podejścia do problemu naturalnej promieniotwórczości wód.

Prezentowany materiał zawiera rezultaty badań aktywności ołowiu ^{210}Pb w różnego typu wodach podziemnych z obszaru Karpat polskich, wykonane w laboratorium Katedry Zastosowań Metod Jądrowych WFILS AGH w Krakowie.

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: chau@novell.ftj.agh.edu.pl, dulinski@novell.ftj.agh.edu.pl

² Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: rajchel@geol.agh.edu.pl

wie. Izotop ^{210}Pb o czasie połowicznego zaniku 22,3 lat jest jednym z długożyciowych produktów rozpadu ^{222}Rn . Emituje promieniowanie beta o energii maksymalnej 63,5 keV. W środowisku wodnym ołów występuje na +2 stopniu utlenienia. Łatwo ulega adsorpcji na powierzchniach minerałów i zawieszonych cząstek, zwłaszcza krzemianach potasowo-glinowych i magnezowych pokrytych getytem (Woo, 1994). Może tworzyć również kompleksy z materią organiczną (Lehto i in., 1999; Vaaramaa i in., 2003) i związki nieorganiczne. W środowisku utleniającym, przy lekko kwaśnym odczynie pH, dominuje mobilna w wodzie forma jono-wa. W obszarze neutralnych, lub rzadziej alkalicznych, wartości pH ołów tworzy trudno rozpuszczalne wodorotlenki

obojętne oraz kompleksy wodorotlenowe: $\text{Pb}(\text{OH})^+$, $\text{Pb}(\text{OH})_2$, $\text{Pb}(\text{OH})_4^{2+}$, $\text{Pb}(\text{OH})_8^{4+}$ (Ulrich i Degueldre, 1993). Może też tworzyć związki węglanowe, siarczanowe i krzemianowe (Lieser, Ament, 1993), przy czym dwa pierwsze z nich są dobrze rozpuszczalne. W wodach słonych ołów tworzy słabo rozpuszczalne w stosunkowo szerokim zakresie pH kompleksy chlorkowe (Zukin i in., 1987). Tak więc w przeciętnych wodach podziemnych transport ołowiu jest raczej utrudniony, co manifestuje się brakiem równowagi izotopowej pomiędzy ^{222}Rn i ^{210}Pb . Efekt ten jest potęgowany dodatkowo ucieczką ^{222}Rn z roztworów wodnych. Powoduje to, że najczęściej obserwowane aktywności ^{210}Pb są nawet o kilka rzędów wielkości mniejsze od aktywności ^{222}Rn .

METODYKA I WYNIKI POMIARÓW AKTYWNOŚCI ^{210}Pb

Aktywność ^{210}Pb oznaczano przez pomiar jego produktów rozpadu – ^{210}Po i ^{210}Bi , stosując zmodyfikowaną procedurę opisaną w pracach Chau'a i innych (2001) oraz Aleissa i innych (2005). Wyjściową próbkę wody o objętości 5 dm^3 zateżano poprzez odparowanie do objętości ok. 1 l. Ołów współstrącano w formie siarczanu przy pomocy azotanu ołowiu i kwasu siarkowego. Odwirowany osad przenoszono do polietylenowego naczynia pomiarowego i odstawiano na minimum 6 miesięcy. Po tym czasie do osadu dodawano ciekły scyntylator Packard Insta-Gel™ i mierzono aktywność promieniowania alfa od ^{210}Po oraz beta od ^{210}Bi . Pomiar powtarzano co najmniej siedmiokrotnie. Przy wyjściowej objętości próby wody 5 dm^3 i opisanej procedurze próg wykrywalności ^{210}Pb wynosi 5 mBq/l.

Rezultaty pomiarów aktywności ^{210}Pb zestawiono w tabeli 1. Badaniami objęto 31 ujęć, z których 27 przypisano

status wód stosowanych w kuracji pitnej. Klasa ta obejmuje także wody butelkowane oraz wody dostępne bezpośrednio na ujęciu dla ogółu ludności. Poza tym wykonano analizy 4 wód stosowanych w kuracji kąpielowej.

Jednostką aktywności w układzie SI jest 1 bekerel (1 Bq). Oznacza ona rozpad jednego jądra danego izotopu w czasie 1 sekundy. Spośród uzyskanych wyników aż 14 leży poniżej progu wykrywalności ^{210}Pb ($< 5\text{ mBq/l}$). Dziesięć wyników obejmuje zakres aktywności pomiędzy 5 i 12 mBq/l. W przypadku czterech wód obserwujemy aktywności ok. 20 mBq/l. Tylko w czterech wodach przekroczony został poziom 30 mBq/l (lp. 6, 14, 21, 27 w tab. 1). Najwyższe aktywności zaobserwowano w źródle Magdalena w Szczawnicy oraz Klaudia w Rymanowie.

OCENA ZAGROŻENIA RADIOLOGICZNEGO

Dyrektywa Unii Europejskiej 98/83/EC (EC, 1998), respektowana przez polskie ustawodawstwo nakazuje, by całkowita aktywność promieniowania alfa nie przekraczała wartości 0,1 Bq/l, a promieniowania beta – 1 Bq/l. Jeśli to kryterium jest spełnione, badane wody nie są poddawane dodatkowym procedurom. W sytuacji przekroczenia któregoś z wymienionych poziomów aktywności wymagana jest szczegółowa analiza wody w celu ustalenia, które izotopy mają dominujący udział w mierzonej całkowitej aktywności wody. Jednostką obciążającej dawki skutecznej jest 1 Sievert (1 Sv). Jest to dawka odpowiadająca pochłonięciu 1 dżula (1 J) energii przez 1 kg masy ciała, skorygowana na rodzaj promieniowania i uwzględniająca fakt, że różne izotopy po wchłonięciu do organizmu wywołują różne skutki biologiczne. Ponieważ jest to duża jednostka, w praktyce stosuje się jej podwielokrotność – mSv (milisievert). Polskie ustawodawstwo, zgodne z wytycznymi Unii Europejskiej

ustala maksymalny poziom dawki rocznej pochodzącej od izotopów znajdujących się w wodzie pitnej na poziomie 0,1 mSv/rok, przy czym wyraźnie podkreśla się, że przy szacowaniu tej dawki nie uwzględnia się trytu, potasu ^{40}K oraz radonu i produktów jego rozpadu. Ostatnie stwierdzenie może nasuwać pewne wątpliwości. Podwyższone stężenia radonu z reguły nie wprowadzają istotnego zagrożenia radiologicznego. Wyjątkiem są te wody, w których aktywności ^{222}Rn osiągają wysokie wartości. W skrajnych przypadkach mogą one dochodzić do kilku tysięcy Bq/l. Natomiast obecność pochodnych radonu ^{222}Rn w postaci ołowiu ^{210}Pb i polonu ^{210}Po nie powinna być zaniedbywana. W praktyce, ocena zagrożenia radiologicznego powinna opierać się na sumarycznej dawce od wszystkich zawartych w wodzie izotopów. Szczególną uwagę należy zwracać na najmłodszych potencjalnych konsumentów wód, szczególnie w okresach ich intensywnego rozwoju fizycznego. Niektórzy autorzy

Tabela 1

Dawki roczne D(g) (mSv/rok) od ²¹⁰Pb w wodach podziemnych wyznaczone w na podstawie pomiarów WFIS AGH w KrakowieEffective dose rates D(g) (mSv/year) resulted from ²¹⁰Pb ingestion with drinking waters, according to measurements performed by the WFIS AGH, Kraków

Lp.	Miejscowość	Ujęcie	Zastosowanie	Aktywność ²¹⁰ Pb (mBq/l)	Kategorie wiekowe					
					wartości e _i (g) (Sv/Bq)					
					< 1 roku	1-2 lat	2-7 lat	7-12 lat	12-17 lat	> 17 lat
				8,4·10 ⁻⁶	3,6·10 ⁻⁶	2,2·10 ⁻⁶	1,9·10 ⁻⁶	1,9·10 ⁻⁶	1,9·10 ⁻⁶	6,9·10 ⁻⁷
1	Krościenko	źr. Maria	P	9,3 ±2,8	0,024 ±0,007	0,015 ±0,004	0,013 ±0,004	0,013 ±0,004	0,013 ±0,004	0,005 ±0,001
2		źr. Dzikie	P	10,7 ±1,5	0,028 ±0,004	0,017 ±0,002	0,015 ±0,002	0,015 ±0,002	0,015 ±0,002	0,005 ±0,001
3		Jan C	P	< 5	0,013	0,008	0,008	0,008	0,007	0,003
4	Krynica	K-3	K	< 5	0,013	0,008	0,008	0,008	0,007	0,003
5		Slotwinka	P	< 5	0,013	0,008	0,008	0,008	0,007	0,003
6	Głęboke	źr. Kinga I	P	35,8 ±2,7	0,094 ±0,007	0,057 ±0,004	0,050 ±0,004	0,050 ±0,004	0,050 ±0,004	0,018 ±0,001
7		P-5	P	< 5	0,013	0,008	0,008	0,008	0,007	0,003
8		P-6	P	< 5	0,013	0,008	0,008	0,008	0,007	0,003
9	Piwniczna	P-8	P	< 5	0,013	0,008	0,008	0,008	0,007	0,003
10		P-11	P	< 5	0,013	0,008	0,008	0,008	0,007	0,003
11	Wierchomla	Hanna	P	17,7 ±4,3	0,047 ±0,011	0,028 ±0,007	0,025 ±0,006	0,025 ±0,006	0,025 ±0,006	0,009 ±0,002
12		źr. Główne	P	< 5	0,013	0,008	0,008	0,008	0,007	0,003
13	Tylicz	źr. Wędrowców	P	< 5	0,013	0,008	0,008	0,008	0,007	0,003
14		źr. Łomniczanka	P	32 ±2	0,084 ±0,005	0,051 ±0,003	0,044 ±0,003	0,044 ±0,003	0,044 ±0,003	0,016 ±0,001
15	Łomnica	źr. Górne	P	10 ±4	0,026 ±0,011	0,016 ±0,006	0,014 ±0,006	0,014 ±0,006	0,014 ±0,006	0,005 ±0,002
16		źr. Stanisław	P	22 ±3	0,058 ±0,008	0,035 ±0,005	0,031 ±0,004	0,031 ±0,004	0,031 ±0,004	0,011 ±0,002
17		źr. Jacek	P	5,3 ±1,5	0,014 ±0,004	0,009 ±0,002	0,007 ±0,002	0,007 ±0,002	0,007 ±0,002	0,003 ±0,001
18	Lipnica	źr. Wawrzyniec	P	< 5	0,013	0,008	0,008	0,008	0,007	0,003
19		źr. Siary	P	11,6 ±2,2	0,030 ±0,006	0,019 ±0,004	0,016 ±0,003	0,016 ±0,003	0,016 ±0,003	0,006 ±0,001
20	Rymanów	R-6	P	19 ±5	0,050 ±0,013	0,031 ±0,008	0,026 ±0,007	0,026 ±0,007	0,026 ±0,007	0,010 ±0,003
21		Klaudia	P	48 ±4	0,126 ±0,011	0,077 ±0,006	0,067 ±0,006	0,067 ±0,006	0,067 ±0,006	0,024 ±0,002
22		R-19	K	< 5	0,013	0,008	0,008	0,008	0,007	0,003
23	Rabka	R-18	K	9,6 ±3,5	0,025 ±0,009	0,015 ±0,006	0,013 ±0,005	0,013 ±0,005	0,013 ±0,005	0,005 ±0,002
24		Helena	K	< 5	0,013	0,008	0,008	0,008	0,007	0,003
25		Jan	P	< 5	0,013	0,008	0,008	0,008	0,007	0,003
26	Szczawnica	Magdalena	P	56 ±4	0,172 ±0,012	0,090 ±0,006	0,078 ±0,006	0,078 ±0,006	0,078 ±0,006	0,028 ±0,002
27		Szymon	P	7,4 ±2,0	0,019 ±0,005	0,012 ±0,003	0,010 ±0,003	0,010 ±0,003	0,010 ±0,003	0,004 ±0,001
28		Hanna	P	< 5	0,013	0,008	0,008	0,008	0,007	0,003
29		Dziedzilla	P	5,8 ±1,7	0,015 ±0,004	0,009 ±0,003	0,008 ±0,002	0,008 ±0,002	0,008 ±0,002	0,003 ±0,001
30	Szczawa	Szczawa I	P	21,4 ±5,4	0,056 ±0,014	0,034 ±0,009	0,030 ±0,007	0,030 ±0,007	0,030 ±0,007	0,011 ±0,003
31		Szczawa II	P	7,8 ±1,8	0,020 ±0,005	0,013 ±0,003	0,011 ±0,002	0,011 ±0,002	0,011 ±0,002	0,004 ±0,001

P – wody stosowane w kuracji pitnej (także butelkowane, lub dostępne dla ogółu ludności), K – wody stosowane w kuracji kąpielowej. Pogrubiona czcionką oznaczono wartości przekraczające dopuszczalną dawkę roczną.
P – drinking waters (including bottled water and available for population), K – bathing water. Doses exceeding maximum permissible value are in bold

(np. Desideri i in., 2007) zauważają, że przepisy Unii Europejskiej odnoszą się do wody wodociągowej i wód butelkowanych uważanych za „wody pitne”. Stwierdzają, że regulacje prawne w istocie nie dotyczą wód mineralnych. W Polsce od kilkunastu lat systematycznie wzrasta spożycie wód butelkowanych. Jeszcze w roku 1997 spożycie to wynosiło 32 dm³/rok, by w roku 2008 sięgnąć wielkości ok. 64 dm³/rok w przeliczeniu na statystycznego obywatela. Wody te – w tym także mineralne, dostępne są również zarówno dla kuracjuszy, miejscowej ludności i turystów bezpośrednio przy źródłach, w pijalniach i ogólnodostępnych punktach czerpalnych. Zatem wydaje się uzasadnione traktowanie, przynajmniej niektórych z nich na równi z wodami pitnymi.

Dawkę otrzymywaną w wyniku wniknięcia *N* izotopów promieniotwórczych do organizmu w wyniku spożycia wody oblicza się według następującego wzoru:

$$D(g) = \left(\sum_{i=1}^N (A_i \cdot e_i(g)) \right) \cdot V$$

gdzie:

- $D(g)$ – obciążająca dawka skuteczna dla danej grupy wiekowej g [Sv],
- A_i – aktywność i -tego izotopu w wodzie [Bq/l],
- $e_i(g)$ – jednostkowa obciążająca dawka skuteczna od i -tego izotopu w grupie wiekowej g [Sv/Bq],

V – zakładane roczne spożycie wody [l/rok].

Indeks „ i ” numeruje poszczególne izotopy. Znak Σ oznacza sumowanie po wszystkich N izotopach, dla których znana jest ich aktywność.

Wartości jednostkowych obciążających dawek skutecznych można znaleźć w odpowiednim Rozporządzeniu Rady Ministrów (RRM, 2005). W tabeli 1 przedstawiono ich wartości dla izotopu ²¹⁰Pb. Obciążające dawki skuteczne od ²¹⁰Pb obliczono dla poszczególnych grup wiekowych przy założeniu dziennej konsumpcji wody na poziomie 1 l dla dzieci w wieku poniżej 1 roku, oraz 2 l – dla wszystkich pozostałych przedziałów wiekowych. Wyniki obliczeń zestawiono również w tabeli 1. W przypadku, kiedy aktywności ²¹⁰Pb były poniżej progu oznaczalności podano dawki odpowiadające temu progowi (5 mBq/l). Wyniki w dwóch kategoriach wiekowych, dla niemowląt i dorosłych, zilustrowano na figurze 1.

Jak wynika z zamieszczonej tabeli prawie wszystkie wyznaczone dawki nie przekraczają dozwolonego zakresu 0,1 mSv, bez względu na wiek konsumenta. Wyjątek stanowią cztery wody o najwyższej aktywności ²¹⁰Pb (lp. 6, 14, 21 i 26 w tab. 1), dla których wyliczone dawki przy uwzględnieniu niepewności ich określenia (na poziomie ufności 66%) przekraczają dozwoloną wartość w najniższych kategoriach wiekowych. Woda ze źródła Magdalena w Szczawie

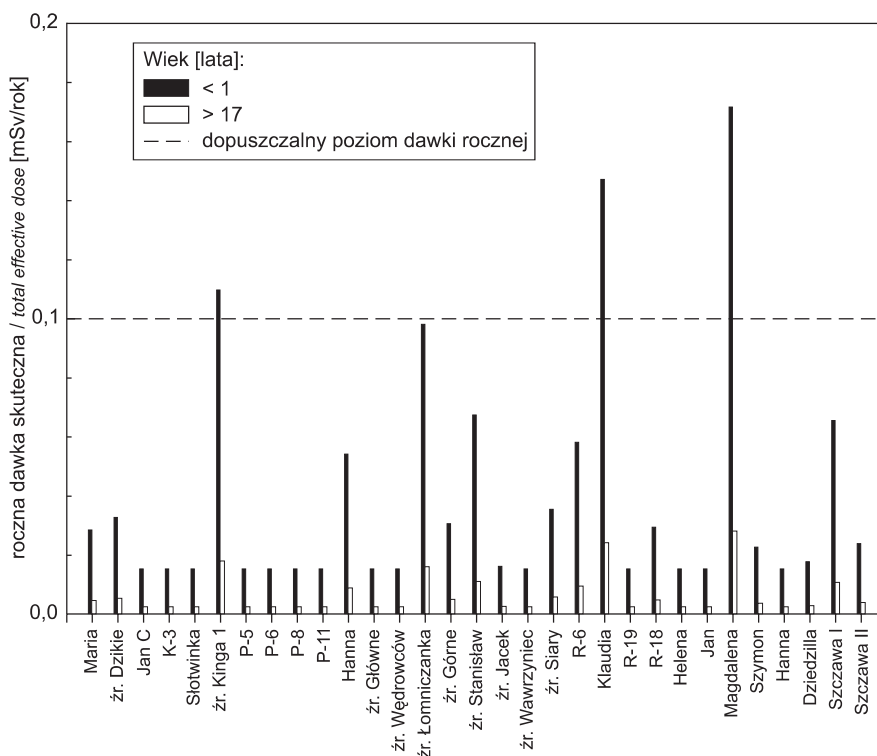


Fig. 1. Wielkości dawek rocznych (mSv) otrzymywanych wskutek wchłonięcia izotopu ²¹⁰Pb drogą pokarmową przy założonym spożyciu dziennym wód na poziomie 1 l dla niemowląt (< 1 roku) oraz 2 l w kategorii powyżej 17 lat

Linia przerywana na rysunku przedstawiono roczny limit dawki (0,1 mSv) dla wód pitnych; nazwy wód według tabeli 1

Total effective doses resulted from the ingestion of ²¹⁰Pb with drinking water, assuming daily consumption level of 1 l for babies, and 2 l for adults

Dashed line represents the maximum permissible dose 0.1 mSv/year; for water names see Table 1

nicy (lp. 26) jest wodą leczniczą o całkowitej mineralizacji przekraczającej 20 g/l. Dla kuracjuszy dostępna jest w pijalni uzdrowskiej i powinna być spożywana w ograniczonych ilościach, według wskazań lekarza. Woda z ujęcia Klaudia w Rymanowie (lp. 21) również dostępna jest dla kuracjuszy w pijalni. Nie wydaje się zatem aby wody te mogły stanowić jakiegokolwiek zagrożenie pod względem radiologicznym w odniesieniu do dzieci w wieku poniżej 2 lat. Z odmienną sytuacją mamy do czynienia w przypadku źródeł Kinga 1 w Głębokiem (lp. 6) oraz Łomniczanka w Łomnicy (lp. 14). Ujęcia te są ogólnodostępne dla ludności i nie można wykluczyć, że z uwagi na umiarkowaną mineralizację wody te mogą być używane w diecie małych dzieci.

Należy z całą mocą podkreślić, że powyższe stwierdzenia są słuszne przy założonej dziennej konsumpcji wody w poszczególnych kategoriach wiekowych. Niestety, w Polsce nie prowadzi się badań struktury rodzajowej i wiekowej spożycia wód. Przykładowo, Risica i Grande (2000) proponują w oparciu o dane różnych organizacji zajmujących się ochroną przed promieniowaniem (w tym WHO) następujące wielkości spożycia: 0,7 l/dzień poniżej 1 roku życia, 1 l/dzień w wieku 1–10 lat oraz 2 l/dzień dla osób w wieku

powyżej 17 lat. Z uwagi na rozbieżności, w przedziale 10–17 lat nie precyzują wielkości spożycia. Przy uwzględnieniu tych wielkości, wody ze źródeł Kinga 1 i Łomniczanka mieszczą się w dozwolonym przedziale dawki od ^{210}Pb niezależnie od wieku konsumenta. Wody z ujęć Klaudia i Magdalena stają się w pełni bezpieczne dla dzieci w wieku 1–2 lat. Przykład ten ilustruje, jak dalece elastycznie powinno się podchodzić do oceny zagrożenia radiologicznego ze strony izotopów zawartych w wodach.

We wszystkich innych przypadkach roczne dawki od ^{210}Pb są wyraźnie niższe od dopuszczalnej wartości 0,1 mSv. Należy jednak podkreślić, że dotyczą one tylko tego jednego izotopu. W rzeczywistości odpowiedzialna ocena zagrożenia radiologicznego musi uwzględniać inne izotopy obecne w naturalnych wodach m.in.: ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Po , ewentualnie ^{222}Rn . Wyniki wcześniejszych badań na obszarze Karpat Polskich (Michalec, 2006) świadczą o tym, że izotopy ^{234}U i ^{238}U mogą być pominięte w szacowaniu całkowitej dawki. Jak wynika z tabeli 1, w kategorii osób dorosłych (> 17 lat) wszystkie wyznaczone dawki od ołowiu ^{210}Pb są daleko niższe od dopuszczalnej.

WNIOSKI

Dotychczasowe wyniki badań aktywności ołowiu ^{210}Pb w wybranych wodach podziemnych z obszaru Karpat polskich wskazują, że izotop ten nie stanowi zagrożenia z radiologicznego punktu widzenia. Przekroczone dopuszczalne progi dawek w odniesieniu do małych dzieci dla wód z ujęć Magdalena i Klaudia są nieistotne, gdyż dzieci w tym przedziale wiekowym nie spożywają wód o tak wysokich mineralizacjach. Kryteria stosowane przy znakowaniu butelkowanych naturalnych wód mineralnych zalecają oznaczenie „odpowiednia dla przygotowania żywności dla niemowląt” w przypadku wód o zawartości sodu lub siarczianów do 20 mg/l (RMZ, 2004). Niemniej, pojawia się problem wytypowania wód bezpiecznych dla niemowląt i małych dzieci. Dostępne w sprzedaży, rekomendowane

w tych kategoriach wiekowych wody niestety, nie zawsze spełniają wymogi ochrony radiologicznej. Zdaniem autorów należy ściśle zdefiniować w skali kraju wody, które można podawać małym dzieciom i objąć je stałym monitoringiem chemicznym i izotopowym. Dodatkowo, na ujęciach (zwłaszcza wód mineralnych) dostępnych dla ogółu ludności powinny być umieszczane odpowiednie informacje odnośnie do wielkości zalecanego spożycia wód, wynikającego zarówno z ich składu chemicznego, jak i zawartości izotopów promieniotwórczych.

Niniejsza praca została sfinansowana ze środków MNiSW – grant nr N521000631/1137 oraz funduszy statutowych AGH, nr 11.11.220.01 i 11.11.140.890.

LITERATURA

- ALEISSA K.A., ISLAM M.S., ALSHAMMARI H., 2005 – Measurement of polonium-210 and lead-210 in groundwaters using Rusing Ralph liquid scintillation counter. Mat. Konf. LSC 2005 Advanced in Liquid Scintillation Spectrometry. Katowice.
- CHAU N.D., CHWIEJ T., CHRUSCIEL E., 2001 – ^{226}Ra , ^{228}Ra and ^{210}Pb isotopes in some water samples of mines. *J. Radioanal. Chem.*, **250**: 387–390.
- DESIDERI D., MELI M.A., FEDUZI L., ROSELLI C., RONGONI A., SAETTA D., 2007 – ^{238}U , ^{234}U , ^{226}Ra , ^{210}Po concentrations of bottled mineral waters in Italy and their dose contribution. *J. Environ. Radioactiv.*, **94**: 86–97.
- EC, 1998 – Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the Quality of Water Intended for Human Consumption. Official Journal of the European Communities. L 330/32.
- LEHTO J., KELOKASKI P., VAARAMAA K., JAAKKOLA T., 1999 – Soluble and Particle-Bound ^{210}Po and ^{210}Pb in Groundwaters. *Radiochim. Acta*, **85**: 149–155.
- LIESER K.H., AMENT A., 1993 – Radiochemical investigation of the behaviour of lead in groundwaters. *Radiochim. Acta*, **60**: 27–32.

- MICHALEC B., 2006 – Badania stosunku aktywności $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ oraz zawartości uranu w wodach mineralnych i leczniczych Karpat. Praca doktorska. WFiIS AGH, Kraków.
- RISICA S., GRANDE S., 2000 – Council Directive 98/83/EC on the Quality of Water Intended for Human Consumption: Calculation of Derived Activity Concentrations. *Rapporti ISTISAN* 00/16 (2000).
- RMZ, 2004 – ROZPORZĄDZENIE Ministra Zdrowia z dnia 29 kwietnia 2004 r. w sprawie naturalnych wód mineralnych, naturalnych wód źródłanych i wód stołowych. Dz.U. Nr 120, poz. 1256.
- RRM, 2005 – ROZPORZĄDZENIE Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego. Dz.U. Nr 20, poz. 168.
- ULRICH H.J., DEGUELDRE C., 1993 – The sorption of ^{210}Pb , ^{210}Bi and ^{210}Po on montmorillonite: a study with emphasis on reversibility aspects and on the effect of the radioactive decay of adsorbed nuclides. *Radiochim. Acta*, **62**: 81–90.
- VAARAMAA K., LEHTO J., ERVANNE H., 2003 – Soluble and Particle-Bound $^{234,238}\text{U}$, ^{226}Ra and ^{210}Po in ground waters. *Radiochim. Acta*, **91**: 21–27.
- WOO N.C., 1994 – Pb on groundwater particles, Door County, Wisconsin. *Environ. Geol.*, **24**: 150–156.
- ZUKIN J.G., HAMMOND D.E., EDERS W.A., 1987 – Uranium-thorium series radionuclides in brines and reservoir rocks from two deep geothermal boreholes in the Salton Sea geothermal field, southeastern California. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **51**: 2719–2731.

SUMMARY

Water samples collected from 31 springs and boreholes situated in the Polish Carpathians were analysed for the ^{210}Pb content. Three groups of waters were selected for investigations. The first group (23 samples) was represented by CO_2 -rich water used both by bottling plants and in balneotherapy as bathing water. The second group (3 samples) represented sulphide water used mainly in bathing. Five water samples covering a wide range of chloride waters were included in the third group. The ^{210}Pb content, after chemical pre-treatment of water samples, was measured using liquid scintillation technique. Based on the obtained results, the effective annual doses resulting from ingestion of this isotope with drinking water were calculated. In general, the effective annual doses for adults are far below the maximum permissible level of 0.1 mSv/year. In four water

springs (Kinga 1 – Głębokie, Łomniczanka – Łomnica, Klaudia – Rymanów, Magdalena – Szczawnica), the calculated annual effective doses of ^{210}Pb exceed the recommended value of 0.1 mSv/year for babies below one year old. In this age category, ^{210}Pb contributes significantly to the total annual dose in the following waters: Hanna – Wierchomla, Stanisław – Łomnica, R-6 – Rymanów and Szczawa I – Szczawa. Only the last two samples were taken from boreholes that are not directly available for local population and visitors. However, probability of consumption of these waters by babies below one year old is very small. Although the presence of ^{210}Pb in these waters is generally not a radiological hazard, it should be taken into consideration in estimation of the annual effective doses.