

Naturalna promieniotwórczość wybranych wód butelkowanych w Polsce

Nguyen Dinh Chau¹, Marek Duliński¹, Lucyna Rajchel², Jakub Nowak¹



N.D. Chau

M. Duliński

L. Rajchel

J. Nowak

Natural radioactivity of selected bottled waters in Poland. *Prz. Geol.*, 61: 140–144.

Abstract. Natural radioactivity has been measured in 22 different bottled waters from central and southern Poland. Although most of the investigated waters originate from the Outer Carpathian Mts. (Flysch Carpathians), samples from the Kraków–Częstochowa Upland, Lublin Basin, Podlasie Depression, Silesian–Kraków Monocline, Szczecin–Łódź Basin and Sudety Mts. were also analysed. Mineralization of these waters is dominated by the HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ ions and falls within the range from 186 mg/l to 2930 mg/l. Except for "Staropolanka 2000" and "Wielka Pieniawa", the activities of radium isotopes in all other waters are in the order of several mBq/l, with the maximum values reaching 100 mBq/l. The activities of uranium isotopes are below 75 mBq/l, with the average values of 4.9 mBq/l and 11.7 mBq/l for ^{238}U and ^{234}U , respectively. The calculated annual committed effective dose from uranium and radium isotopes resulting from the consumption of the investigated waters by teenagers and adults is lower than the recommended value of 0.1 mSv/year. However, if some of the analysed waters ("Dobrawa", "Nałęczowianka", "Polaris", "Aquarel", "Hermes", and highly mineralized waters) are used to prepare food for infants below 1 year old, then the annual committed effective dose will exceed the recommended value.

Keywords: bottled water, radioactivity, radium, uranium, annual committed effective dose



W ostatnich dziesięcioleciach w Polsce, podobnie jak w całej Europie, przemysł rozlewniczy rozwija się bardzo dynamicznie. W 2011 r. ilość spożytej butelkowanej wody w przeliczeniu na statystycznego konsumenta wyniosła 74 l; dla porównania w 1960 r. – tylko 0,4 l (Rutkowski, 2011). Prognozowane w 2020 r. spożycie napojów butelkowanych na statystycznego mieszkańca Europy wyniesie 259 l, z czego 44% stanowią wody mineralne (Rutkowski, 2011). Według tych samych prognoz spożycie wód butelkowanych w Polsce wyniesie ok. 110 l. Poza cennymi z biochemicznego punktu widzenia pierwiastkami w wodzie mogą znajdować się także pierwiastki ciężkie i promieniotwórcze, mogące wywoływać niepożądane lub szkodliwe dla organizmu następstwa.

W Polsce przemysł rozlewniczy naturalnych wód mineralnych, wód źródłanych i wód leczniczych podlega wielu rygorystycznym przepisom zawartym w „Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 31 marca 2011 r. w sprawie naturalnych wód mineralnych, wód źródłanych i wód stołowych”, „Ustawie z dnia 25 sierpnia 2006 r. o bezpieczeństwie żywności i żywienia” z późniejszymi zmianami; „Ustawie z dnia 9 czerwca 2011 r. – Prawie geologicznym i górniczym”, „Rozporządzeniu 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” oraz w „Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2010 r. zmieniającym rozporządzenie

w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi”. Każdy producent wód butelkowanych jest zobowiązany do posiadania aktualnych atestów chemicznych i izotopowych używanych wód zgodnie z obowiązującymi przepisami prawnymi. W literaturze można znaleźć liczne prace o promieniotwórczości butelkowanych wód mineralnych, np. Surbeck (1995), Bayés i in. (1996), Kralik i in. (2003), Somlai i in. (2002), Skwarzec i in. (2003), Chau i Michalec (2008), Wallner i Jabbar (2010). Wymienione publikacje dotyczą oznaczeń izotopów uranu, radu oraz ołowiu w niektórych wodach butelkowanych sprzedawanych w Niemczech, w Austrii, w Hiszpanii, na Węgrzech oraz w Polsce. Literatura związana z zagadnieniami naturalnej promieniotwórczości wód butelkowanych w Polsce jest raczej uboga. Takie prace, np. Mielnikow i in. (2000), Chau i Fajak (2007) czy Chau i in. (2007), są publikowane w czasopismach trudno dostępnych dla przeciętnego konsumenta. Brak rzetelnej wiedzy na temat uwarunkowań występowania radionuklidów w wodach naturalnych różnego typu oraz brak informacji związanych z rzeczywistymi zagrożeniami stąd płynącymi stwarzają dogodne warunki do wydawania nieprawidłowych niekiedy opinii pojawiających się w szeroko pojętych mediach. Niedostateczny poziom edukacji społeczeństwa w tym zakresie jest dodatkowo pogłębiany trudnościami w przebiceniu się z tą tematyką do prasy codziennej oraz zasadami oceny pracowników nauki, którym publikacji o charakterze popularyzatorskim nie wlicza się do punktowanego dorobku.

Niniejsza praca również nie dociera do szerokich rzesz odbiorców. Niemniej jednak znacznie powiększa ich grono. W artykule są przedstawione wyniki analiz zawartości uranu i radu w wybranych butelkowanych naturalnych

¹Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; marek.dulinski@fis.agh.edu.pl.

²Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków.

Tab. 1. Skład chemiczny i aktywności radionuklidów w wodach: źródłanych (Z), mineralnych (M) i leczniczych (L). Symbolem TDS (*total dissolved solids*) oznaczono całkowitą mineralizację wód
Table 1. Natural radioactivity levels and chemical composition of the: spring waters (Z), mineral waters (M), therapeutic waters (L). TDS (*total dissolved solids*) denotes the total water mineralization

Miejsce eksploatacji, handlowa nazwa butelkowanej wody <i>Exploitation place and commercial name of bottled water</i>	Skład chemiczny <i>Chemical composition</i> [mg/l]								Całkowita aktywność <i>Total activity</i> [mBq/l]		Aktywność izotopów <i>Activity of isotopes</i> [mBq/l]					
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	TDS	alfa	beta	²²⁶ Ra	²²⁸ Ra	²³⁸ U	²³⁴ U	²³⁴ U/ ²³⁸ U	⁴⁰ K
Karpaty zewnętrzne <i>Outer Carpathians</i>																
Krynica, „Krynicańska” (M)	548	114	67,3	6,7	2170	9,6	10,6	2930	96	333	73	96	2,86	3,51	1,23	211
Krynica, „Jan” (L)	152	24,8	15,4	3,6	525	51,3	17,7	790	19	474	9	9	3,94	5,36	1,36	114
Muszyna, „Muszyna” (M)	483	51,9	47,2	6,5	1860	2,9	5,3	2450	206	284	47	45	1,72	4,67	2,72	170
Muszyna, „Muszynianka” (M)	192	129	93,2	10,1	1460	31,1	13,9	1930	55	367	44	45	4,66	10,2	2,19	290
Piwniczna, „Piwniczna” (M)	235	121	–	17,9	1900	29,4	12,4	2314	155	592	57	39	2,2	2,09	0,95	563
Ustron, „Ustronianka” (M)	78,6	15,6	5,8	–	291	20,6	12	423	100	161	16	<10	10,5	16,9	1,6	n.a.
Żywiec, „Żywiec” (Z)	27,8	8,2	8	–	109	–	4,6	186	2,2	53	1	29	0,61	1,66	2,72	n.a.
Krościenko nad Dunajcem, „Kinga” (M)	97,8	13,1	4,6	2,3	336	28,5	7	489	9	160	3	5	4,43	7,79	1,76	73
Tylicz, „Kropla Beskidu” (Z)	46,5	19,5	37,7	1,5	299	30,3	1,8	434	11	88	4	<10	2,8	6,45	2,28	49
Ustron, „Laguna” (Z)	71,6	25,6	5,8	–	291	20,6	12,8	427	23	132	22	8	10	12,1	1,21	n.a.
Jura Krakowsko-Częstochowska <i>Kraków-Częstochowa Upland</i>																
Postęp, „Jurajska” (Z)	67,1	36,5	9	2,5	346	37,7	8,5	507	n.a.	n.a.	12	<10	1,34	7,42	5,48	79
Niecka lubelska <i>Lublin Basin</i>																
Nałęczów, „Nałęczowianka” (M)	114	23,1	12,7	5,4	496	–	8,5	696	16	183	2	16	0,81	1,19	1,47	170
Kazimierz Dolny, „Kazimierska” (M)	87,7	28,7	10	4	388	35,2	7,4	561	n.a.	n.a.	1	13	5	9,51	1,9	126
Raszyn, „Oaza” (Z)*	52,1	7,3	2,5	0,5	171	23	4,8	281	18	87	1	8	6,79	10,8	1,59	16
Platforma prekambryjska – obniżenie podlaskie <i>Precambrian Platform – Podlasie Depression</i>																
Bielsk Podlaski, „Polaris” (Z)	103	16	11,3	2,9	433	–	2,8	592	40	406	20	12	4,23	4,47	1,06	93
Monoklina śląsko-krakowska <i>Silesian-Kraków Monocline</i>																
Rzeniszów, „Aquarel” (M)	44,1	15,8	60	8,7	336	–	28	519	100	252	18	19	0,57	0,75	1,32	223
Rzeniszów, „Dobrawa” (M)*	55,2	29,6	1,2	0,85	287	20	5,3	402	139	67	66	10	5,1	22,8	4,47	–
Platforma paleozoiczna – niecka szczecińsko-lódzka <i>Paleozoic Platform – Szczecin-Lódź Basin</i>																
Włoszakowice, „Hermes” (M)	109	17	10	1,3	214	117	35,5	504	20	87	4	18	5,1	7,1	1,39	42
Warszawa, „Mazowszanka” (M)*	38,1	15,6	95	7,5	322	–	64,2	543	n.a.	n.a.	1	<10	n.a.	n.a.	n.a.	236
Sudety <i>Sudety Mts.</i>																
Polanica, „Staro-polanka 2000” (M)	355	77,3	135	52	1865	24	8,9	2520	592	1780	525	276	7,68	2,2	2,2	1360
Polanica, „Wielka Pieniawa” (L)	232	26,1	68,5	38,7	1030	29,4	7,1	1400	625	1560	249	169	4,4	4,32	4,32	1070

Objaśnienia: n.a. – nie analizowano, * – zaniechano butelkowania.

Explanations: n.a. – not analysed, * – no longer bottled.

wodach mineralnych oraz wodach źródłanych i leczniczych pochodzących z różnych regionów geologicznych Polski (tab. 1). Na podstawie wyników pomiarów oszacowano roczne efektywne dawki obciążające spowodowane wchłonięciem wcześniej wymienionych izotopów drogą pokarmową. Pomiary wykonano w laboratorium Katedry Zastosowań Fizyki Jądrowej na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie.

METODY ANALITYCZNE

W celu oznaczenia całkowitej aktywności nuklidów alfa- i betapromieniotwórczych masę wyjściowej próby wody (ok. 1 kg) zredukowano kilkunastokrotnie przez powolne odparowanie. Następnie odbierano 8 g zatężonego roztworu i mieszano go z 12 ml ciepłego scyntylatora (HiSafe 3). Tak spreparowaną próbę mierzono spektrometrem Quantulus™. Spektrometr ten posiada zdolność różnicowania sygnałów pochodzących od cząstek alfa i beta. W tym celu jest wymagana kalibracja za pomocą prób wzorcowych. Roztwór wzorcowy do pomiarów całkowitej

aktywności izotopów alfa-promieniotwórczych sporządzono na bazie izotopu ^{241}Am . Roztwór ^{90}Sr – ^{90}Y stanowił wzorzec kalibracyjny dla nuklidów betapromieniotwórczych. Procedury preparatyki i pomiarów są opisane szczegółowo w pracy Rusconi i in. (2006).

Do oznaczeń aktywności izotopów uranu wykorzystywano 5-litrowe próby wody, z których po 5-krotnej redukcji przez odparowanie współstrącono uran na wodorotlenku manganu. Uzyskany osad po rozpuszczeniu w roztworze 9 M HCl oczyszczano z zastosowaniem techniki jonowymiennej. Finalnie uran wytrącano za pomocą chlorku neodymu (NdCl_3), a powstały osad odsączano na membranowym filtrze plastikowym Eichrom™ o porowatości 0,1 μm . Po wysuszeniu filtry mierzono spektrometrem Canberra™ z krzemowym detektorem półprzewodnikowym typu PIPS. W procedurze tej stosowano roztwór ^{232}U w charakterze standardu wewnętrznego.

Izotopy radu były wytrącane w postaci siarczanowej z próby wody o objętości 2 l. Po separacji przeszkadzających izotopów i chemicznym oczyszczeniu próbki była ona mieszana w proporcji 6 ml finalnego roztworu + 12 ml scyntylatora żelowego i mierzona ciekłoscyntylacyjnym spektrometrem Wallac 1414 Guardian Alpha/Beta Scintillation Counter™. Szczegółowe procedury preparatyki chemicznej i pomiarowej opisano w pracy Chau (2010).

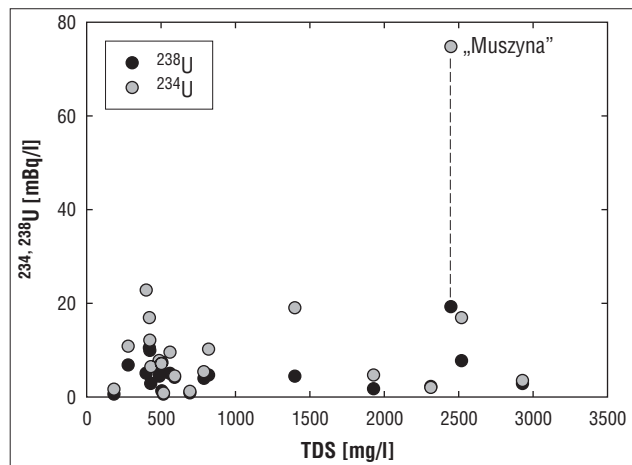
Dane dotyczące składu chemicznego badanych wód zaczerpnięto z etykiet na butelkach.

WYNIKI ANALIZ I ICH DYSKUSJA

Skład chemiczny oraz wyniki oznaczeń promieniotwórczości badanych wód butelkowanych zamieszczono w tabeli 1. Analizowane wody to naturalne wody mineralne, wody źródłane oraz wody lecznicze. Mineralizacja butelkowanych wód jest zawarta w przedziale 186–2930 mg/l, przy czym zawartości poszczególnych jonów wynoszą:

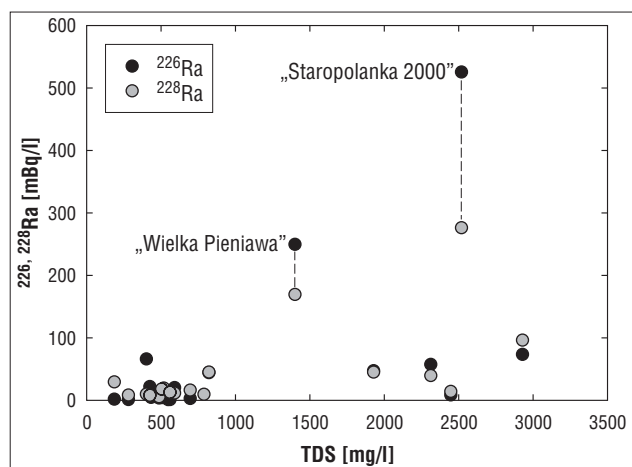
- HCO_3^- – 109–2170 mg/l;
- Ca^{2+} – 27,8–548 mg/l;
- Mg^{2+} – 7,3–129 mg/l;
- Na^+ – 1,2–135 mg/l;
- K^+ – 0,5–52 mg/l;
- SO_4^{2-} – 2–117 mg/l;
- Cl^- – 1,8–64,2 mg/l.

Z tabeli 1 wynika, że całkowite aktywności nuklidów alfa- i betapromieniotwórczych dla wszystkich badanych wód z wyjątkiem wód „Staropolanka 2000” i „Wielka Pieniawa” są niższe od rekomendowanych przez WHO (WHO, 2008) maksymalnych dopuszczalnych poziomów, równych odpowiednio 0,5 Bq/l i 1 Bq/l. Wysokie poziomy promieniotwórczości sudeckich wód mineralnych są związane z budową geologiczną (litologia i tektonika) formacji wodonośnych w tym regionie. Naturalna promieniotwórczość wód butelkowanych pochodzących z innych regionów kraju jest niska. Aktywności izotopów uranu są zawarte w przedziale od kilku do kilkudziesięciu milibekerele na litr, natomiast aktywności izotopów radu nie przekraczają wartości 100 mBq/l. W przypadku badanych wód nie obserwuje się żadnej korelacji aktywności uranu czy radu z ich ogólną mineralizacją (por. ryc. 1–2). Również w odniesieniu do poszczególnych składników jonowych takie korelacje nie mają miejsca.



Ryc. 1. Relacje między całkowitą mineralizacją wód (TDS) a aktywnością izotopów uranu

Fig. 1. The relationship between activities of uranium isotopes and total mineralization of the waters (TDS)



Ryc. 2. Relacje między całkowitą mineralizacją wód (TDS) a aktywnością izotopów radu

Fig. 2. The relationship between activities of radium isotopes and total mineralization of the waters (TDS)

Z danych pomiarowych wynika również, że w większości badanych wód aktywności izotopu ^{40}K stanowią ponad 50% całkowitej aktywności nuklidów betapromieniotwórczych. Jednak z uwagi na znikomą szkodliwość radiologiczną izotop ten jest pomijany w rozważaniach związanych z szacowaniem rocznych wartości efektywnych dawek obciążających.

ROCZNA EFEKTYWNA DAWKA

Roczna efektywna dawka obciążająca D [mSv/rok] (zwana również w dalszej części artykułu dawką roczną) spowodowana wchłonięciem radionuklidów zawartych w wodzie może być oszacowana za pomocą następującej formuły:

$$D = \sum_i V \cdot e_i(g) \cdot w_i \quad (1)$$

gdzie

$e_i(g)$ – efektywna dawka obciążająca spowodowana wchłonięciem i -tego izotopu o aktywności 1 Bq dla osoby z grupy wiekowej g wyrażona w Sv/Bq,

w_i – stężenie i -tego izotopu w danej wodzie [Bq/l],

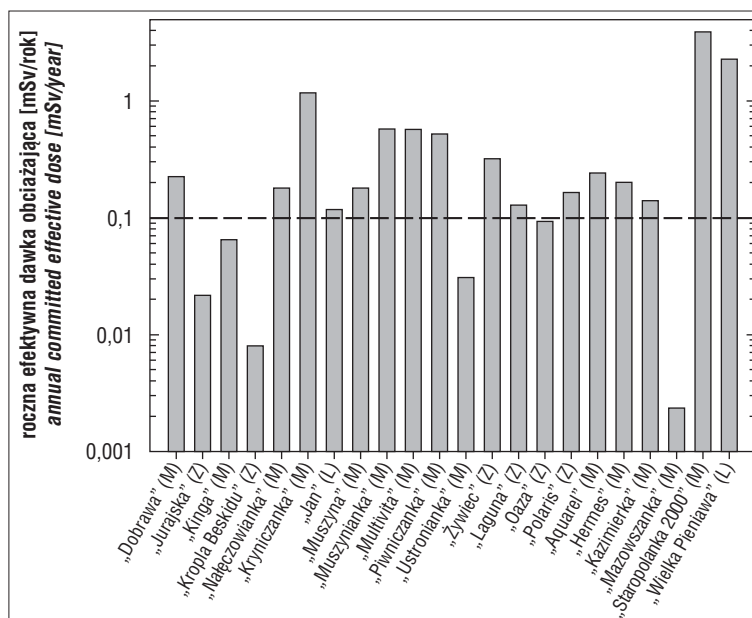
V – przeciętna ilość wody konsumowana przez osobę w danej grupie wiekowej g w ciągu roku [l].

Wartości $e_i(g)$ są zamieszczone w „Rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego”. Większość błędnych opinii co do szkodliwości radionuklidów zawartych w wodach wynika z nieprawidłowej interpretacji powyższej formuły. Przede wszystkim dawkę skuteczną wyznacza się dla rocznego okresu obrachunkowego. Oznacza to, że spożywanie wody o podwyższonej promieniotwórczości przez okres krótszy (np. w trakcie leczenia sanatoryjnego) nie musi skutkować przekroczeniem rocznej dawki skutecznej. Istotnym czynnikiem wpływającym na wielkość dawki jest roczne (!) spożycie wody o danych parametrach izotopowych. Jak wskazują nieliczne badania, określenie tej wielkości dla poszczególnych grup wiekowych jest bardzo trudne (o ile w ogóle możliwe).

W pracy dawki roczne oszacowano dla trzech kategorii wiekowych – dla niemowląt poniżej 1 roku życia, nastolatków (12–17 lat) i dorosłych (≥ 17 lat). Założono, że w skali roku niemowlęta spożywają 365 l wody. Wyniki oszacowań dla tej kategorii wiekowej zilustrowano na rycinie 3. Jak wynika z przedstawionych danych, w kategorii niemowląt niemal wszystkie badane wody przekraczają dopuszczalny poziom dawek rocznych. Zatem naturalne wody mineralne nie powinny być wykorzystywane do gotowania i przygotowywania posiłków dla niemowląt.

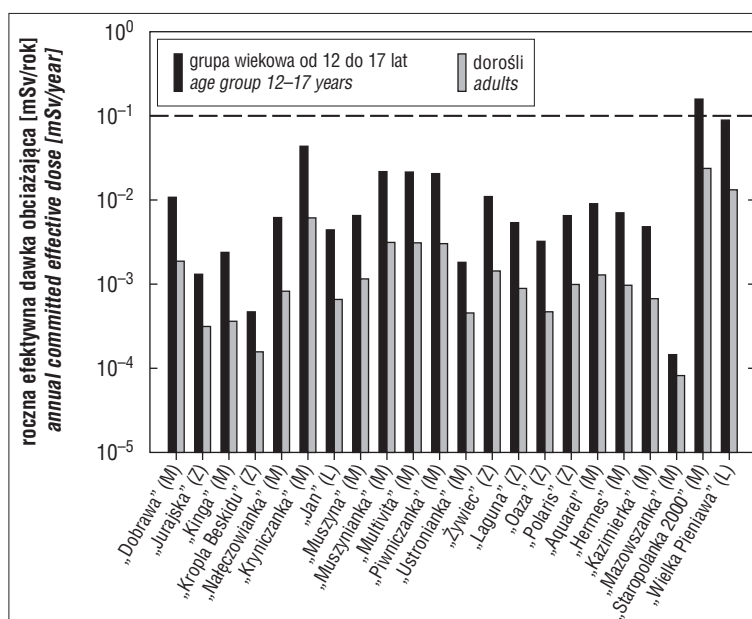
W kategorii nastolatków i osób dorosłych założono roczną konsumpcję na poziomie średniej statystycznej, tj. 74 l/rok. Oszacowane dawki

roczne przedstawiono na rycinie 4, na której przerywaną linią zaznaczono poziom rekomendowanej dawki dopuszczalnej wynoszący 0,1 mSv/rok. W obu kategoriach wiekowych, przy rocznej konsumpcji rzędu 74 l wody, dawki roczne są niższe od dopuszczalnych. Wyjątek stanowi „Staropolanka 2000” w kategorii 12–17 lat. Szacuje się, że dorosły człowiek wypija w różnej formie ok. 2 l wody na dobę, tzn. ok. 730 l rocznie. Jest to ilość, która prowadzi do



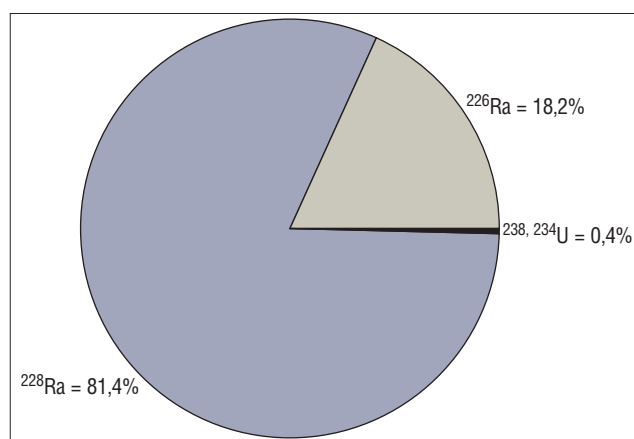
Ryc. 3. Roczna dawka obciążająca dla niemowląt wynikająca z konsumpcji wód na poziomie 365 l/rok. Przerywaną linią zaznaczono poziom dopuszczalny. Oznaczenia Z, M, L – patrz tab. 1

Fig. 3. Annual dose rate for infants resulting from intake of the waters at the level of 365 l/year. Dashed line denotes the recommended level. Symbols Z, M, L – as in Table 1



Ryc. 4. Roczna dawka obciążająca dla grupy wiekowej 12–17 lat i osób dorosłych przy założonym spożyciu 74 l/rok. Przerywana linia wskazuje poziom dopuszczalny. Oznaczenia Z, M, L – patrz tab. 1

Fig. 4. Annual dose rate for teenagers 12–17 years old and adults resulting from intake of 74 l/year of the waters. Dashed line represents the permissible level. Symbols Z, M, L – as in Table 1



Ryc. 5. Udziały izotopów uranu i radu w rocznej dawce skutecznej dla osób dorosłych wynikające z wchłonięcia izotopów drogą pokarmową

Fig. 5. Contribution of uranium and radium isotopes to the annual dose rate for adults resulting from intake of the bottled waters

dziesięciokrotnie wyższych dawek rocznych niż wyznaczone dla średniej statystycznej. Z prostych obliczeń wynika, że przy takiej ilości spożywanej wody dozwolone dawki roczne mogą zostać przekroczone dla „Krynicy”, „Muszynianki”, „Multivity” i „Piwniczanki” w kategorii 12–17 lat, oraz z oczywistych względów dla „Staropolanki 2000” i „Wielkiej Pieniawy”. Pozostaje jednak kwestia otwartą struktura spożywanej wody. Trudno sobie wyobrazić, że wody o wysokiej mineralizacji są wykorzystywane do przyrządzania herbaty, kawy czy zupy. Rozsądne wydaje się zatem stwierdzenie, że w odniesieniu do wód mineralnych spożycie ilości 730 l w skali roku jest raczej niemożliwe. Wobec tego wszelkie szacunki prowadzone dla takiej ilości są w mniejszym lub większym stopniu zawyżone, w zależności od upodobań jednostkowych. Trzeba wreszcie wyraźnie podkreślić, że przekroczenie norm dotyczących promieniotwórczości spożywanej wody o 100% skutkuje tylko ok. 3-procentowym wzrostem całkowitej dawki otrzymanej ze wszystkich źródeł przez populację na obszarze Polski w skali roku.

Na rycinie 5 przedstawiono udziały poszczególnych izotopów w rocznej dawce dla osób dorosłych. Największy udział w dawce ma ^{228}Ra (ponad 81%), następnie ^{226}Ra (ok. 18%). Natomiast wkład obydwu izotopów uranu jest minimalny i nie przekracza 0,5%.

WNIOSKI

Wyniki przeprowadzonych badań naturalnej promieniotwórczości wód butelkowanych dostępnych w sieciach sklepów na obszarze Krakowa potwierdzają wcześniejsze opinie, że wody te nie stanowią praktycznie żadnego zagrożenia radiologicznego dla statystycznego konsumenta. W wodach rejonu sudeckiego obserwuje się podwyższone aktywności niektórych izotopów, głównie izotopów radu, związane z budową geologiczną (litologia i tektonika). Aktywności izotopów uranu we wszystkich przebadanych wodach są pomijalnie małe i wnoszą znikomy wkład do rocznej efektywnej dawki obciążającej. W przypadku niektórych marek wzrost ilości konsumowanej wody może prowadzić do przekroczenia rekomendowanej rocznej dawki w kategorii wiekowej 12–17 lat. Niemniej jednak uwidacznia się to dopiero,

gdzie ilość spożywanej wody wynosi 730 l w skali roku. Przewidywany obywatel, nawet w krajach o najwyższych wskaźnikach spożycia, nie wypija takich ilości wody, i to w dodatku jednego typu. Wyniki badań dowodzą, że z radiologicznego punktu widzenia większość badanych wód butelkowanych (nawet słabo zmineralizowanych) nie powinna być podawana niemowlętom do 1 roku życia.

Praca została w części sfinansowana w ramach działalności statutowej Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej (umowa nr 11.11.220.01) oraz badań statutowych na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska (umowa nr 11.11.140.021) Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie.

LITERATURA

- BAYÉS J.C., GÓMEZ E., GARCÍAS F., CASAS M. & CERDÁ V. 1996 – Radium determination in mineral waters. *Appl. Radiat. Isot.*, 47: 849–853.
- CHAU N.D. 2010 – Promieniotwórczość naturalna wybranych wód mineralnych Karpat Polskich. JAK, Kraków: 205.
- CHAU N.D. & FUJAK M. 2007 – Naturalna promieniotwórczość butelkowanych wód mineralnych Polski Południowej. [W:] Szczepański A. i in. (red.) Współczesne problemy hydrogeologii. T. 13, cz. 2. Wyd. Geol. Geof. Ochr. Środ. AGH, Kraków: 153–163.
- CHAU N.D., FUJAK M. & RAJCHEL L. 2007 – Pierwiastki biofilne i naturalna promieniotwórczość w wodach butelkowanych z obszaru Polski. *Źródło*, 3: 12–16.
- CHAU N.D. & MICHAŁEC B. 2008 – Natural radioactivity in bottled natural spring, mineral and therapeutic waters in Poland. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 279: 121–129.
- KRALIK C., FRIEDRICH M. & VOJIR F. 2003 – Natural radionuclides in bottled water in Austria. *J. Environ. Radioact.*, 65: 233–241.
- MIELNIKOW A., SKOWRONEK J. & MICHALIK B. 2000 – Izotopy radu w butelkowanych wodach mineralnych. *Post. Tech. Jądr.*, 43: 15–18.
- 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 (DzU Nr 80, poz. 565).
- Rozporządzenie** Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (DzU Nr 72, poz. 466).
- Rozporządzenie** Ministra Zdrowia z dnia 31 marca 2011 r. w sprawie naturalnych wód mineralnych, wód źródłanych i wód stołowych (DzU Nr 85, poz. 466).
- Rozporządzenie** Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego (DzU Nr 20, poz. 168).
- RUSCONI R., FORTE M., CARESANA M., BELLINZONA S., CAZZANIGA M.T. & SGORBATI G. 2006 – The evaluation of uncertainty in low-level LSC measurements of water samples. *Appl. Radiat. Isot.*, 64: 1124–1129.
- RUTKOWSKI W. 2011 – Rok 2010 w przemyśle rozlewniczym wód butelkowanych i napojów bezalkoholowych. Krajowa Izba Gospodarcza „Przemysł Rozlewniczy”, Warszawa [http://www.kigpr.pl/index/article/id/374].
- SKWARZEC B., STRUMIŃSKA D.I. & BORYŁO A. 2003 – Radionuclides of ^{210}Po , ^{234}U and ^{238}U in drinking bottled mineral water in Poland. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 256: 361–364.
- SOMLAI J., HORVÁTH G., KANYÁR B., KOVÁCS T., BODROGI E. & KÁVÁSI N. 2002 – Concentration of ^{226}Ra in Hungarian bottled mineral water. *J. Environ. Radioact.*, 62: 235–240.
- SURBECK H. 1995 – Determination of natural radionuclides in drinking water; a tentative protocol. *Sci. Total Environ.*, 173–174: 91–99.
- Ustawa** z dnia 25 sierpnia 2006 r. o bezpieczeństwie żywności i żywienia (DzU Nr 171, poz. 1225 z późn. zm.).
- Ustawa** z dnia 9 czerwca 2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze (DzU Nr 163, poz. 981).
- WALLNER G. & JABBAR T. 2010 – Natural radionuclides in Austrian bottled mineral waters. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 286: 329–334.
- WHO 2008 – Guidelines for drinking-water quality. Third edition. Incorporating the first and second addenda. Vol. 1, Recommendations. WHO, Geneva [http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/fulltext.pdf].

Praca wpłynęła do redakcji 19.07.2012 r.

Po recenzji akceptowano do druku 9.01.2013 r.