

KRZYSZTOF A. PACHOCKI, BOHDAN GORZKOWSKI, TADEUSZ MAJLE,
ZDZISŁAW RÓŻYCKI

WYSTĘPOWANIE RADONU ^{222}Rn W WODZIE Z UJĘĆ GŁĘBINOWYCH
NA TERENIE POJEZIERZA MAZURSKIEGO

THE CONTENTS OF RADON ^{222}Rn IN DEEP BOREHOLE WATER OF POJEZIERZE
MAZURSKIE REGION

Zakład Ochrony Radiologicznej i Radiobiologii, Państwowy Zakład Higieny
00-791 Warszawa, ul. Chocimska 24
Kierownik: dr K. Pachocki

Określono ilościowo metodą ciekłej scyntylacji stężenia radonu ^{222}Rn w wodzie z ujęć głębinowych zasilających wodociągi publiczne na terenie trzech województw: elbląskiego, olsztyńskiego i suwalskiego. Przeprowadzono analizę otrzymanych wyników w odniesieniu do proponowanych limitów stężenia radonu w wodzie do picia. Podjęto próbę oszacowania dawek promieniowania otrzymanych przez osoby spożywające tę wodę w oparciu o przyjęte standardy spożycia.

WSTĘP

Radon wraz ze swoimi produktami rozpadu (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po) stanowi największe źródło dawki otrzymywanej przez ogół ludności (głównie drogą inhalacyjną) z naturalnych źródeł promieniowania jonizującego [7, 10]. Z trzech naturalnych izotopów radonu największe znaczenie ma radon-222 o okresie półrozpadu 3,8 doby. Pozostałe izotopy mają okresy półrozpadu poniżej jednej minuty. Wszystkie izotopy radonu są emiterami cząstek alfa. Bezpośrednim prekursorem radonu ^{222}Rn jest izotop radu ^{226}Ra . Radon jest promieniotwórczym gazem szlachetnym. Łatwo rozpuszcza się w wodzie. W układzie woda-powietrze w temperaturze pokojowej jedna czwarta radonu rozpuszcza się w wodzie a trzy czwarte pozostają w powietrzu. Natomiast w temperaturze 0°C połowa radonu rozpuszcza się w wodzie. W temperaturze 100°C prawie całkowicie usuwany jest z wody. Spośród wszystkich gazów szlachetnych radon najlepiej adsorbuje się na ciałach stałych [6]. Rozpuszczalność radonu w rozpuszczalnikach organicznych jest szczególnie duża np. w węglowodorach alifatycznych, aromatycznych czy alkoholach. Ropa naftowa i gaz ziemny jest naturalnym absorbentem radonu. Gazy lub pary wydobywające się z głębszych warstw litosfery na jej powierzchnię ułatwiają wędrówkę radonu do atmosfery lub hydrosfery. Szczególną rolę w tym względzie odgrywają węglowodory wędrujące ku górze ze złóż ropy naftowej.

Powszechnym staje się zasilanie wodociągów publicznych na terenie Pojezierza Mazurskiego przez wody ze studzien głębinowych. Radon obecny jest we wszystkich zbiornikach wodnych. Wody głębinowe zawierają go znacznie więcej niż wody po-

wierzchniowe [8]. Podwyższona zawartość radonu w wodach głębinowych może wskazywać na wnikanie do tych wód radonu z warstw geologicznych zawierających zwiększone ilości związków uranowych. Radon może przedostawać się na znaczne odległości, jeżeli na jego drodze nie stoją nieprzepuszczalne warstwy geologiczne. Granity i gnejsy są bogatsze w rad niż skały osadowe.

Pomiary stężenia radonu wykonano na terenie trzech województw: suwalskiego, olsztyńskiego i elbląskiego. Województwo olsztyńskie i większa część województwa elbląskiego (od strony wschodniej) położone są w regionie hydrogeologicznym mazurskim. Występują tu dwa piętra wodonośne trzeciorzędu oraz piętro wodonośne czwartorzędu. Poziomy wodonośne czwartorzędu w ilości od 2 do 4 występują do głębokości 100–150 m w części zachodniej i północno-zachodniej regionu oraz do głębokości 200–300 m w części wschodniej. Województwo suwalskie położone jest w regionie hydrogeologicznym mazursko-podlaskim. W regionie tym dominuje czwartorzędowe piętro wodonośne.

MATERIAŁ I METODY

Próbki wody z warstwy geologicznej trzeciorzędowej i czwartorzędowej z terenów Pojezierza Mazurskiego pobierane były przez pracowników wojewódzkich stacji sanitarno-epidemiologicznych z każdego ujęcia przed i po uzdatnieniu (po 3 próbki). Uzdatnienie najczęściej polegało na osadzeniu na kolumnach wypełnionych piaskiem wodorotlenków żelaza i manganu powstałych po napowietrzeniu wody. Następnie próbki, w możliwie krótkim czasie, przekazywane były do Zakładu Ochrony Radiologicznej i Radiobiologii w celu dalszej obróbki i wykonania pomiarów zawartości w nich radonu ²²²Rn.

Pomiary radonu wykonano metodą ciekłej scyntylicacji cząstek *alfa* przy wykorzystaniu licznika Packard Tri-Carb 1900TR. Używano szklanych naczynek Packarda o objętości 20 ml z zakrętką zawierającą uszczelkę pokrytą aluminiową folią. Do naczynek pipetowano po 10 ml roztworu scyntylicacyjnego Opti-Fluor O, zawierającego jako rozpuszczalniki alkiolowe pochodne benzenu. Do naczynka z roztworem scyntylicacyjnym pipetowano następnie 10 ml próbki wodnej pobieranej z ujęć przed i po uzdatnieniu. Zawartość naczynka wstrząsano przez ok. 5 sek. Ślepą próbkę przygotowano używając 10 ml wody redestylowanej, która była gotowana przez 3 godziny, a następnie dodano do niej 10 ml roztworu Opti-Fluor O. Rejestrowane były trzy cząstki *alfa* i dwie cząstki *beta* powstające z rozpadu radonu-222 i jego pochodnych. Opracowanie wyników wykonano przy wykorzystaniu wbudowanego w system programu komputerowego przeliczającego częstość zliczeń na stężenie radonu w badanych próbkach wody w jednostkach pCi/l, następnie przeliczając na Bq/l (Pico-Rad Radon Analysis Program, Nitron Inc., ver. 3.11). Danymi sterującymi dla tego programu były (niezależnie od bezpośrednich danych pomiarowych takich jak ilość zliczeń i czas pomiaru) dokładna data i godzina poboru próbki wody oraz dokładna data i godzina połączenia z roztworem scyntylicacyjnym, a także numer detektora i miejsce poboru [9]. W omawianych badaniach czas poboru próbki wody i czas zmieszania z roztworem scyntylicacyjnym był identyczny. Czas zliczania próbek wynosił od 15 do 40 minut, a błąd oznaczania (zależnie od mierzonej aktywności) kształtował się w przedziale 5–9%.

WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Wody z warstw wodonośnych trzeciorzędowych na terenie województwa elbląskiego wykazują podniesiony poziom stężenia radonu. Średnie stężenie radonu w wodzie nie uzdatnionej wynosiło 8,41 Bq/l \pm 7,9%. W Pienięźnie dwie studnie pobierające wodę z warstwy geologicznej paleocenu posiadały stężenie radonu 10,69 Bq/l i 13,60 Bq/l. Woda z tych studni uzdatniana wspólnie posiadała stężenie radonu na poziomie

12,05 Bq/l \pm 6,9%. Z przeprowadzonych pomiarów wynika, iż w województwie olsztyńskim poziomy stężenia radonu w wodzie trzeciorzędowej były niższe, niż w województwie elbląskim. Wyjątek stanowi woda z Iławy. Przebadano sześć studni w tym mieście. Stężenie radonu zawierało się w granicach 11,82 Bq/l – 23,65 Bq/l, ze średnią 17,67 Bq/l \pm 5,1% (Tabela I).

Ze względu na dobrą jakość chemiczną wody te nie są uzdatniane.

Wydaje się celowym by wody, w których stwierdzono wysokie stężenia radonu ^{222}Rn jak np. w wodzie z Pieniężna i Iławy, były dalej badane w celu wykluczenia ewentu-

Tabela I. Stężenie radonu w wodzie z warstw wodonośnych trzeciorzędowych na terenie Pojezierza Mazurskiego
Radon ^{222}Rn concentration in water from tertiary stratum in the Pojezierze Mazurskie region

Lp.	Lokalizacja ujęć	Głębokość m	Stężenie radonu (Bq/l)			
			przed uzdatnieniem		po uzdatnieniu	
			Wynik	%SD	Wynik	%SD
Województwo elbląskie						
1.	Dzierżgoń, ul. Słowackiego średnia trzech studni Nr 2, 3, 4 (paleocen)	168-177	6,45 (5,31-7,78)	8,6	-	-
2.	Pasłęk, ul. Sprzymierzonych studnia Nr 2 (oligocen)	151	6,11	8,5	-	-
3.	Pieniężno, ul. Lidzbarska średnia z dwóch studni Nr 4, 5 (paleocen)	210	12,14 (10,69-13,60)	6,9	12,05	6,9
4.	Orneta, Kolonia średnio z dwóch studni Nr 3a, 6	225	7,7 (8,81-9,12)	7,7	7,95	7,8
	Średnia		8,41	7,9	10,00	7,3
Województwo olsztyńskie						
1.	Iława, ul. Wojska Polskiego średnia z sześciu studni Nr 1, 1B, 4, 5, 7, 8	300-330	17,67 (11,82-23,65)	5,1	-	-
2.	Lidzbark Warmiński, ul. Topolowa średnia z trzech studni Nr 1, 1A, ul. Dąbrowskiego, studnia 14A	174-233	6,71, (5,87-7,56)	7,0	6,69	6,5
3.	Mragowo, ul. Kormoranów studnia Nr 2	259	7,49	6,6	5,94	7,0
4.	Olsztyn, ul. Krańcowa studnia Nr 2, ul. Żołnierska	119-220	4,08 (3,93-4,24)	4,05	7,6	-
5.	Reszel, ul. Gdańska, studnia Nr 1	280	3,78	7,7	3,98	7,6
	Średnia		7,95	6,8	5,16	7,2

alnej obecności w nich radu ^{226}Ra . Wysoki poziom radonu- 222 w wodzie najczęściej nie świadczy o jednoczesnej obecności jego bezpośredniego prekursora tj. radu-226. Jak już nadmieniono na wstępie, radon powstający w dalszych warstwach geologicznych w wyniku rozpadu promieniotwórczego radu może przedostawać się na znaczne odległości, a ewentualna obecność gazu ziemnego i ropy znacznie zwiększa przemieszczanie się radonu do podziemnych zbiorników wodnych i na powierzchnię ziemi.

Średnie stężenie radonu w wodach pochodzących z warstwy wodonośnej czwartorzędowej z terenu województwa elbląskiego jest raczej niskie i wynosi średnio $3,17 \text{ Bq/l} \pm 8,2\%$ dla wód nieuzdatnionych i $1,36 \text{ Bq/l} \pm 8,5\%$ dla wód uzdatnionych (Tabela II).

Natomiast w województwie olsztyńskim średnie stężenie radonu w wodach nie uzdatnionych wynosiło $6,16 \text{ Bq/l} \pm 7,0\%$, a w uzdatnionych $5,67 \text{ Bq/l} \pm 7,1\%$. Jedynie w Lidzbarku Warmińskim i Nidzicy w wodzie nie uzdatnionej z dwóch studni stwier-

Tabela II. Stężenie radonu w wodzie z warstw wodonośnych czwartorzędowych na terenie województwa elbląskiego
Radon ^{222}Rn concentration in water from quaternary stratum in the Elbląg Voivodship

Lp.	Lokalizacja ujęć	Głębokość m	Stężenie radonu (Bq/l)			
			przed uzdatnieniem		po uzdatnieniu	
			Wynik	%SD	Wynik	%SD
1.	Elbląg, ul. Łęczycka	70	1,73	8,2	1,65	8,3
2.	Elbląg, Jagodowo średnia z trzech studni Nr 1, 2, 45B	104-117	2,39 (2,10-2,67)	8,0	-	-
3.	Elbląg, Bielany średnia z dziesięciu studni Nr: 1, 1B, 2, 2A, 3, 4C, 5, 6, 27, Nr 5 – Ogrody	46-118	2,66 (1,82-3,21)	8,0	-	-
4.	Elbląg, ul. Królewicka, woda uzdatniona zbiorczo z 13-tu studni (poz. 2 i 3)	46-118	1,18	8,3	1,54	8,5
5.	Elbląg, ul. Malborska średnia z siedmiu studni Nr: 1A, 1B, 2A, 5A, 6, 7, 8A	105-129	6,61 (5,12-7,96)	6,8	-	-
6.	Elbląg, ul. Malborska woda uzdatniona zbiorczo z siedmiu studni (poz.5)	105-129	1,74	8,6	0,89	8,8
7.	Pasłęk, ul. Sprzymierzonych średnia z dwóch studni Nr 4 i 5	140-155	7,10 (6,27-7,92)	8,7	-	-
8.	Prabuty, ul. Kwidzyńska średnia z dwóch studni Nr 4 i 5	76-84	1,92 (1,82-2,31)	8,8	-	-
9.	Susz, ul. Kajki średnia z trzech studni Nr 2, 4, 5	70	3,18 (2,44-3,95)	8,9	-	-
Średnia			3,17	8,2	1,36	8,5

dzono stężenia radonu przekraczające poziom 11 Bq/l (Tabela III). Po uzdatnieniu poziom radonu uległ wyraźnemu obniżeniu.

Tabela III. Stężenie radonu w wodzie z warstw wodonośnych czwartorzędowych na terenie województwa olsztyńskiego
Radon ^{222}Rn concentration in water from quaternary stratum in the Olsztyn Voivodship

Lp.	Lokalizacja ujęć	Głębokość m	Stężenie radonu (Bq/l)			
			przed uzdatnieniem		po uzdatnieniu	
			Wynik	%SD	Wynik	%SD
1.	Barczewo, ul. Zielona	120	3,79	7,6	6,26	6,7
2.	Bartoszyce, ul. Limanowskiego woda zmieszana z czterech studni: studnie Nr 8 i 13 (trzeciorzęd) studnie Nr 9A i 10A (czwartorzęd)	150-160 80	7,31	6,2	8,47	6,2
3.	Biskupiec, średnie z trzech studni: ul. Niepodległości: studnia 1A. ul. Olsztyńska; studnia 3, ul. Chrobrego, Wytwórnia Evita	52 44 57	6,15 (3,37-10,46)	6,8	5,91	7,0
4.	Dobre Miasto, ul. Jeziorańska studnia Nr 1	150	6,47	7,0	8,54	6,1
5.	Gorzów II, ul. Olsztyńska studnia Nr 2	75	1,35	8,5	3,65	8,0
6.	Kętrzyn Jezewo studnia Nr 10	66	4,43	7,4	1,43	8,5
7.	Kętrzyn Jezewo woda zmieszana z sześciu studni Nr: 1B, 2B, 3A, 5A, 9, 10	63-75	-	-	2,61	7,8
8.	Lidzbark Warmiński ul. Dąbrowskiego, studnia Nr 3	71	13,86	5,4	9,74	6,0
9.	Lidzbark Warmiński, woda zmieszana z dwóch studni: ul. Dąbrowskiego, studnia Nr 3 ul. Kalinowskiego, studnia Nr 2	71 107	8,86	6,0	10,63	6,0
10.	Lubawa, ul. Kopernika średnia z dwóch studni Nr 2 i 4	180 60	5,18 (4,48-5,89)	7,0	4,08	7,4
11.	Mragowo, ul. Osiedle mazurskie studnia Nr 2	111	5,83	7,0	5,84	7,0
12.	Nidzica, średnia z dwóch studni: ul. Kolejowa, studnia Nr 4 ul. Karola Barke, S-nia Mleczarska	83-95	2,87 (2,31-3,43)	7,8	4,80	7,3
13.	Nidzica, ul. Wyborska studnia nr 1A	135	11,64	7,0	5,75	7,1
14.	Olsztyn, ul. Lubelska studnia Nr 1A	51	5,66	7,0	4,01	7,4

15.	Olsztynek, ul. Górna średnia z dwóch studni Nr 1 i 2	108-111	6,70 (4,49-8,92)	6,7	–	–
16.	Ostróda, ul. 21 stycznia, woda z dwóch studni Nr 2 i 5; zmieszana	63-70	4,59	7,1	2,99	7,7
17.	Szczytno, ul. Polska średnia z dwóch studni Nr 1 i 2	65	4,51 (4,47-4,55)	7,3	6,07	6,9
18.	Szczytno, ul. Polska, ujęcie Lemany średnia z trzech studni Br 1, 7, 9	49-55	5,58 (4,74-6,64)	7,0	–	–
Średnia			6,16	7,0	5,67	7,1

W województwie suwalskim wszystkie analizowane wody pochodziły z warstwy wodonośnej czwartorzędowej. Dla wód nie uzdatnionych średnie stężenie radonu wynosiło 6,76 Bq/l \pm 6,9% (1,36 – 15,52), a dla wód uzdatnionych 3,95 Bq/l \pm 7,3% (1,10 – 8,19 Bq/l).

Wody pochodzące z terenu Ełku cechował podwyższony poziom stężenia radonu ^{222}Rn , i tak dla wody nie uzdatnionej wahał się w granicach 7,67 – 14,22 Bq/l, przy średniej 11,14 Bq/l \pm 5,4% i 3,91 Bq/l \pm 6,1% dla wody uzdatnionej (Tabela IV). Woda zmieszana z dwunastu studni w Ełku, a następnie uzdatniona cechowała się prawie trzykrotnie niższą zawartością radonu.

Najwyższy zaobserwowany poziom stężenia radonu dotyczył wody z warstwy wodonośnej trzeciorzędowej z głębokości 300 m, studnia Nr 5 (ul. Wojska Polskiego) w Iławie i wynosił 22,65 Bq/l \pm 4,9% (tabela I). W wodzie z warstwy wodonośnej czwartorzędowej największą zawartość radonu stwierdzono w wodzie pochodzącej z głębokości 200 m w miejscowości Szurpiły i wynosiła ona 15,52 Bq/l \pm 4,9%. Niewiele niższy poziom zaobserwowano w wodzie ze studni Nr 1 w Węgorzewie – 14,21 Bq/l (Tabela IV).

W Polsce brak jest jednoznacznych przepisów podających dopuszczalne poziomy stężenia radonu ^{222}Rn w wodzie do picia. Również Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) w swoich rekomendacjach z 1984 r. podając propozycje limitów dla wody do picia w następującej postaci:

- całkowita aktywność *alfa*: 0,1 Bq/l,
- całkowita aktywność *beta*: 1 Bq/l,

zastrzega, iż pomiar powinien być wykonany po wyeliminowaniu radonu ($\text{Rn}-222$) i toronu ($\text{Rn}-220$) [11]. W następnych rekomendacjach z 1993 r. WHO interpretuje ten fakt tym, że obciążenie populacji z tytułu występowania radonu w wodzie bardziej wiąże się z inhalacją (przechodzenie radonu do powietrza), niż pobieraniem go drogą pokarmową, mając na względzie, iż przelewanie wody, jej przetrzymywanie, gotowanie, itp. powoduje znaczne zmniejszenie jego stężenia. Sugeruje jedynie by roczny efektywny równoważnik dawki dla populacji z tytułu spożycia wody, w której występują radionuklidy nie był większy od 0,1 mSv [11].

Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska (US Environmental Protection Agency – EPA) jako propozycję limitu stężenia radonu w wodzie do picia podała wartość 300pCi/l \approx 11 Bq/l (1 pCi/l = 37 mBq/l) [2, 4, 8].

W kilku przypadkach dla wód głębinowych z terenu Pojezierza Mazurskiego poziom ten, tj. 11 Bq/l był przekroczony. I tak we wszystkich próbach z warstwy wodonośnej

Tabela IV. Stężenie radonu w wodzie z warstw wodonośnych czwartorzędowych na terenie województwa suwalskiego
Radon ^{222}Rn concentration in water from quaternary stratum in the Suwałki Voivodship

Lp.	Lokalizacja ujęć	Głębokość m	Stężenie radonu (Bq/l)			
			przed uzdatnieniem		po uzdatnieniu	
			Wynik	%SD	Wynik	%SD
1.	Augustów, ul. Armii Krajowej średnia z trzech studni Nr 3, 3A, 4 Elk, ul. Suwalska	68-90	6,61 (3,19-3,98)*	8,0	1,77	8,9
2.	średnia z dwunastu studni Nr: 1D, 3F, 4F, 5C, 5D, 11, 12, 13, 16, 17, 18, 20	17-30	11,14 (7,67-14,22)	5,4	3,91	6,1
3.	Filipów, pl. Stefana Batorego studnia Nr 1	49	11,00	4,9	4,29	5,5
4.	Giżycko, ul. Obwodowa	48-170	5,25 (3,29-9,86)	7,5	1,10	8,1
5.	Gołdap, ul. Sikorskiego średnia z czterech studni Nr: 1, 2, 3, 4	32-55	8,26 (7,61-8,83)	7,1	5,74	7,4
6.	Olecko, ul. Tunelowa średnia z dwóch studni Nr: 3 i 5	46-63	5,10 (4,68-5,52)	7,7	2,62	8,1
7.	Orzysz, ul. Polna średnia	27-93	3,93 (2,89-4,97)	7,4	-	-
8.	Pisz, ul. Gdańska średnia z dwóch studni Nr 1B i 7	39-44	4,27 (3,03-5,52)	7,6	3,79	7,7
9.	Sejny, ul. 1 Maja średnia z dwóch studni Nr 1 i 3	35-37	1,82 (1,36-2,27)	8,8	3,09	8,9
10.	Suwałki, ul. Sikorskiego, Kołtątaja, Piękna Nr: 1, 2A-C, 3 A, B, 4, 5, 5A-B, 6, 6B-C, 7, 7A	47-96	5,25 (2,56-9,27)	6,4	4,99	5,4
11.	Szurpiły	200	15,52	4,9	-	-
12.	Węgorzewo, ul. Wodociągowa średnia z trzech studni Nr: 1, 4, 41	17-104	5,99 (1,41-14,21)	7,4	8,19	7,0
	Średnia		6,76 (1,36-15,52)	6,9	3,95 (1,10- 8,19)	7,3

* zakres otrzymanych wyników

trzeciorzędowej pochodzących z Iławy stwierdzono stężenia radonu powyżej tego limitu (zakres 11,82 – 23,65 Bq/l). Także w Pieniężnie stwierdzono 13,60 Bq/l (Tabela I). W wodach czwartorzędowych w Lidzbarku Warmińskim (studnia nr 3, ul. Dąbrowskiego) oznaczono 13,86 Bq/l \pm 5,4%, w Nidzicy 11,64 Bq/l \pm 7,0% (studnia Nr 1A, ul. Wyborska), w Elku np. 14,22 Bq/l \pm 4,9% (studnia Nr 20, ul. Suwalska), w Węgorzewie 14,21 Bq/l \pm 6,4% (studnia Nr 1, ul. Wodociągowa), czy w wyżej wymienionych

Szurpiłach $15,52 \text{ Bq/l} \pm 4,9\%$ (Tabela IV). Tylko w wodzie z warstw wodonośnych czwartorzędowych pochodzących z terenu województwa elbląskiego w żadnym przypadku nie stwierdzono przekroczenia tego poziomu. Średnie stężenie radonu ^{222}Rn w wodzie z warstwy trzeciorzędowej z województwa elbląskiego oraz olsztyńskiego było prawie dwukrotnie wyższe, niż średni poziom obserwowany w wodzie oligoceńskiej pochodzącej z terenu Warszawy [8].

Z tytułu spożycia przez człowieka wody z zawartością radonu ^{222}Rn , największą dawkę, wśród tkanek i narządów, otrzyma żołądek, następnie jelito cienkie, górny odcinek jelita grubego, dolny odcinek jelita grubego, wątroba i płuca [3]. Z modelu biokinetycznego opracowanego przez *Crawford-Browna* wynika, że funkcja koncentracji radonu w organizmie ma postać:

$$C(t) = 1,10^{-4} \times [0,92 \exp(-0,022t) + 0,08 \exp(-0,0035t)] \quad (1)$$

dla wchłonięcia drogą pokarmową (z wodą) 1 Bq radonu, gdzie t jest czasem w minutach jaki upłynął od zaistnienia tego faktu [1]. Współczynniki konwersji tj. wielkości dawki przy jednostkowym (1 Bq) wchłonięciu radonu dla tych narządów odpowiednio wynoszą: żołądek $3 \cdot 10^{-7} \text{ Sv/Bq}$, jelito cienkie $4,6 \cdot 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$, górny odcinek jelita grubego $3,3 \cdot 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$, dolny odcinek jelita grubego $1,9 \cdot 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$, wątroba $6,8 \cdot 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$, płuca $2,24 \cdot 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$. Należy zaznaczyć, że we współczynnikach tych uwzględniono już współczynnik jakości promieniowania, przyjęty dla promieniowania *alfa* za równy $Q=20$. Przyjmując średnie stężenie radonu w wodzie do picia na poziomie $6,5 \text{ Bq/l}$ oraz zakładając, iż wielkość tego spożycia (świeżej wody) przez osobę dorosłą nie przekracza $0,3 \text{ l/dzień}$ otrzymamy roczne wchłonięcie radonu ^{222}Rn na poziomie $\approx 712 \text{ Bq}$. Czyli każdego roku osoba dorosła pijąc wodę z zawartością radonu na takim poziomie tj. $6,5 \text{ Bq/l}$ otrzyma odpowiednio równoważnik dawki na: żołądek – $2,1 \cdot 10^{-4} \text{ Sv}$, jelito cienkie $3,3 \cdot 10^{-5} \text{ Sv}$, górny odcinek jelita grubego $2,4 \cdot 10^{-5} \text{ Sv}$, dolny odcinek jelita grubego $1,4 \cdot 10^{-5} \text{ Sv}$, wątroba $4,8 \cdot 10^{-6} \text{ Sv}$, płuca $4,0 \cdot 10^{-6} \text{ Sv}$. Uwzględniając współczynniki wagowe dla poszczególnych narządów: żołądek, płuca – $0,12$, jelito cienkie, jelito grube, wątroba – $0,05$ [5] efektywne równoważniki dawki wyniosą: $2,5 \cdot 10^{-5} \text{ Sv}$ (żołądek), $0,17 \cdot 10^{-5} \text{ Sv}$ (jelito cienkie), $0,12 \cdot 10^{-5} \text{ Sv}$ (górny odcinek jelita grubego), $0,07 \cdot 10^{-5} \text{ Sv}$ (dolny odcinek jelita grubego), $0,024 \cdot 10^{-5} \text{ Sv}$ (wątroba), $0,048 \cdot 10^{-5} \text{ Sv}$ (płuca). Czyli roczny efektywny równoważnik dawki na całe ciało przy spożywaniu $0,3 \text{ l}$ wody na dzień z zawartością radonu na poziomie $6,5 \text{ Bq/l}$ dla osoby dorosłej wynosi ok. $30 \mu\text{Sv/rok} = 0,03 \text{ mSv/rok}$ (3 mrem/rok).

Przyjmując, współczynnik ryzyka śmierci z tytułu indukcji raka na poziomie $5 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ [5] otrzymamy wartość ryzyka $15 \cdot 10^{-7}$. Natomiast ryzyko raka żołądka wyniesie ok. $3 \cdot 10^{-7}$. Te teoretyczne, oszacowane wartości ryzyka związane ze spożywaniem wody z zawartością radonu na poziomie $6,5 \text{ Bq/l}$ są wartościami bardzo małymi, praktycznie nie uchwytными żadnymi metodami statystyczno-epidemiologicznymi.

WNIOSKI

1. Najwyższe stężenia radonu w wodzie pochodzącej z warstw wodonośnych trzeciorzędowych stwierdzono w Iławie i Pieniężnie.

2. Średnie stężenie radonu w wodach z warstw wodonośnych czwartorzędowych było niższe niż w wodach z warstw wodonośnych trzeciorzędowych.

3. W Elku, Szurpiłach, Węgorzewie, Lidzbarku Warmińskim i Nidzicy w wodach z warstw wodonośnych czwartorzędowych oznaczone stężenia radonu przekraczały 11 Bq/l, limit zalecany przez Amerykańską Agencję Ochrony Środowiska (EPA).

4. Roczny efektywny równoważnik dawki na całe ciało z tytułu spożywania 0,3 l wody na dzień z zawartością radonu na poziomie 6,5 Bq/l dla osoby dorosłej oszacowano na 30 μ Sv/rok.

PIŚMIENNICTWO

1. *Crawford-Brown D.J.*: The Biokinetics and Dosimetry of Radon-222 in the Human Body Following Ingestion of Groundwater, *Env. Geochem. Health*, 1989, 11, 10–17. – 2. *De Zuane J.*: Handbook of drinking water quality standards and controls. New York 1990, 327–348. – 3. *Gosink T.A., Baskaran M., Hollenan D.F.*: Radon in the human body from drinking water. *Health Phys.*, 1990, 59, 6, 919–924. – 4. *Hightower J.H., Watson J.E.*: ^{222}Rn in water: A study of two sample collection methods, effects of mailing samples and temporal variation of concentrations in North Carolina groundwater. *Health Phys.*, 1995, 69, 221. – 5. ICRP Publication 60: 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Pergamon Press., 1991, 21, 1–3. – 6. *Miliszkievicz A.*: Radon, Warszawa-Wrocław 1978, 6–8. – 7. *Pachocki K.*: Radon w środowisku. *Ekologia i Zdrowie*, Warszawa, 1995. – 8. *Pachocki K., Gorzowski B., Majle T., Różycki Z., Peńsko J., Poręba I.*: Pomiary stężenia radonu ^{222}Rn w wodzie z ujęć głębinowych na terenie Warszawy. *Roczn. PZH*, 1996, 47, 3, 293. – 9. *Gorzowski B., Pachocki K., Peńsko J., Majle T., Różycki Z.*: Analiza porównawcza dwóch metod dyfuzyjnych pomiaru radonu Rn-222 w powietrzu z wykorzystaniem spektrometru promieni *gamma* i metody ciekłej scyntytacji. *Roczn. PZH*, 1995, 46, 71. – 10. UNSCEAR 1993 Report: Sources and effects of ionizing radiation. United Nation. New York, 1993, 45.
11. WHO: Guidelines for drinking water quality. Vol. 1. Recommendations, Geneva, 1984, 1993.

K. A. Pachocki, B. Gorzowski, T. Majle,
Z. Różycki

THE CONTENTS OF RADON ^{222}Rn IN DEEP BOREHOLE WATER OF POJEZIERZE MAZURSKIE REGION

Summary

Radon ^{222}Rn in deep borehole water of Pojezierze Mazurskie region has been quantitative determined. The measurement were performed using the alpha liquid scintillation counting method. The water samples were examined from three voivodships: Elbląg, Olsztyn and Suwałki. In some cases the concentrations of ^{222}Rn in investigated water samples exceed 11 Bq/l.