

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

## ZAWARTOŚĆ RADONU W WODZIE Z UJĘĆ GŁĘBINOWYCH GDAŃSKIEGO REGIONU HYDROGEOLOGICZNEGO

THE CONTENTS OF RADON IN DEEP BOREHOLE WATER OF  
HYDROGEOLOGICAL REGION OF GDAŃSK

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

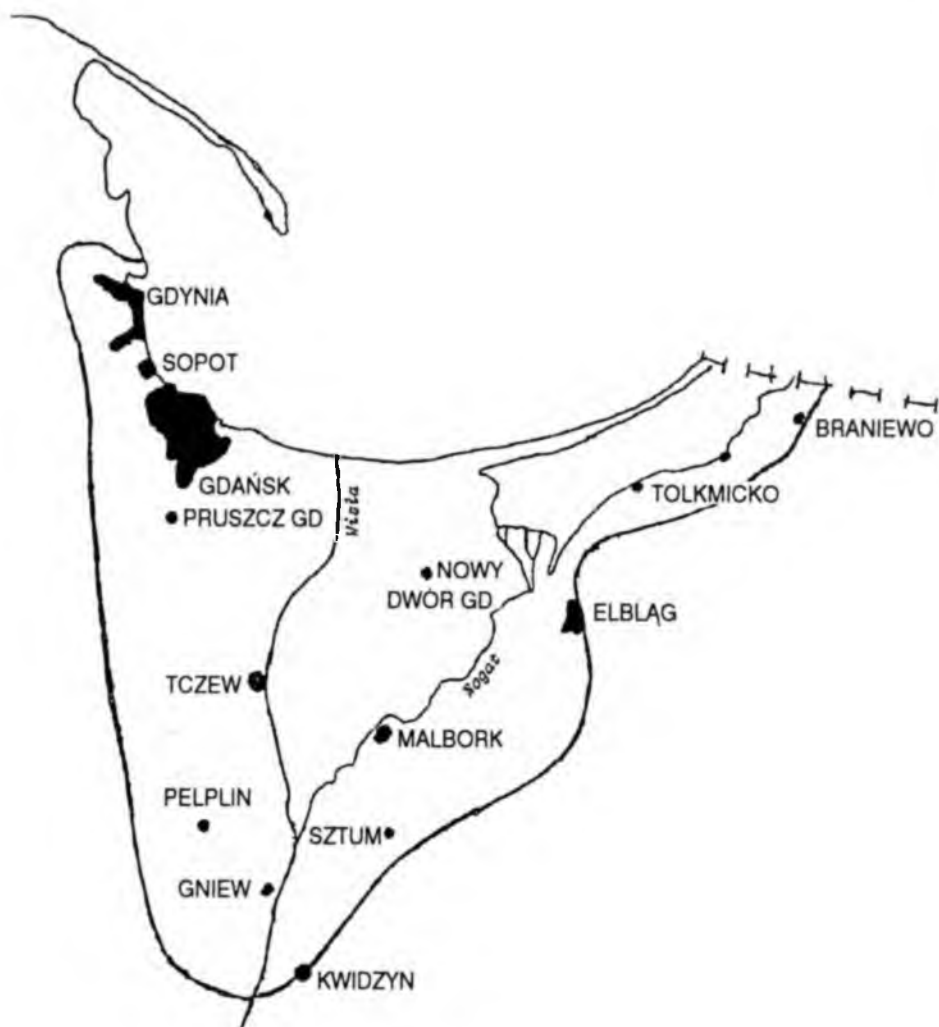
*Określono ilościowo metodą ciekłej scyntylicacji stężenie radonu  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie z ujęć głębinowych zasilających wodociągi publiczne na terenie obejmującym częściowo województwa gdańskie i elbląskie. Podjęto próbę oszacowania dawek promieniowania otrzymywanych przez osoby spożywające tę w wodę, m.in. w oparciu o przyjęte standardy spożycia.*

### WSTĘP

Region hydrogeologiczny gdański (ok. 4000 km<sup>2</sup>), od północy zamknięty przez wąski pas Mierzei Wiślanej, obejmuje obszar Żuław oraz zachodnią część województwa elbląskiego. Część zachodnia regionu obejmuje natomiast skłon Wysoczyzny Pojezierza Kaszubskiego. Północno-zachodnia część to odcinek pradoliny Redy wraz z Kępami Oksywską i Redłowską (Ryc. 1).

W hydrogeologicznym regionie gdańskim wyróżnia się trzy piętra wodonośne: kredy górnej, trzeciorzędu i czwartorzędu. Najbardziej korzystny jest chemizm wód piętra kredowego. Wody te w rejonie Trójmiasta cechuje znakomita jakość, śladowe ilości żelaza i manganu. Mniejsze znaczenie z powodu słabej wodonośności mają wody, także dobrej jakości, z piętra wodonośnego trzeciorzędowego. Głównym jednak źródłem zaopatrzenia regionu w wodę jest piętro wodonośne czwartorzędu. Niestety nie najlepsza jakość wody tego piętra praktycznie występuje na przeważającej części Żuław [1].

Radon łatwo rozpuszcza się w wodzie. W układzie woda-powietrze w temperaturze pokojowej jedna czwarta część radonu rozpuszcza się w wodzie, a trzy czwarte pozostają w powietrzu. Zagotowanie wody powoduje prawie całkowite usunięcie radonu [6]. Radon obecny jest we wszystkich zbiornikach wodnych. Wody głębinowe zawierają go znacznie więcej niż wody powierzchniowe [7].



Ryc. 1. Region hydrogeologiczny gdański  
Hydrogeological Region of Gdańsk

### MATERIAŁ I METODYKA

Próbki wody z terenu województw gdańskiego i elbląskiego pobierane były przez pracowników wojewódzkich stacji sanitarno-epidemiologicznych z każdego ujęcia przed i po uzdatnieniu (po trzy próby). Następnie próbki, w możliwie krótkim czasie, przekazywane były do Zakładu Ochrony Radiologicznej i Radiobiologii PZH w Warszawie w celu wykonania pomiarów zawartości w nich radonu  $^{222}\text{Rn}$ . Uzdatnianie wody najczęściej polegało na osadzaniu na kolumnach wypełnionych piaskiem wodorotlenków żelaza i manganu powstałych po napowietrzaniu wody. Często woda z kilku studni uzdatniana była zbiorczo.

Pomiary radonu wykonano metodą ciekłej scyntytacji cząstek *alfa* i *beta* przy wykorzystaniu licznika Packard Tri-Carb 1900TR. Używano szklanych naczynek Packard o objętości 20 ml z

zakrętką zawierającą uszczelkę pokrytą aluminiową folią. Do naczynek pipetowano po 10 ml roztworu scyntylacyjnego Opti-Fluor O, zawierającego jako rozpuszczalniki alkilowe pochodne benzenu. Do naczynka z roztworem scyntylacyjnym pipetowano następnie 10 ml badanej wody. 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 pomiarowy programu komputerowego przeliczającego częstość zliczeń na stężenie radonu w badanych próbkach wody w jednostkach pCi/l, następnie przeliczając je 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 próby wody oraz dokładna data i godzina połączenia z roztworem scyntylacyjnym, a także numer detektora i miejsce poboru. W omawianych badaniach czas poboru próby wody i czas zmieszania z roztworem scyntylacyjnym 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 czwartorzędowych na terenie województwa gdańskiego wykazują niski poziom stężenia radonu. Średnie stężenie radonu w wodzie nie uzdatnionej wynosiło  $4,64 \text{ Bq/l} \pm 9,0\%$ , natomiast w wodzie uzdatnionej  $3,60 \text{ Bq/l} \pm 9,0\%$ . W żadnej studni poziom radonu nie przekraczał zalecanego przez Amerykańską Agencję Ochrony Środowiska (EPA) poziomu  $11 \text{ Bq/l}$  (Tab. I).

Wody z warstw wodonośnych trzeciorzędowych wykazują nieco wyższy poziom radonu od wód czwartorzędowych. Wody nie uzdatnione wykazywały średnio  $5,86 \text{ Bq/l} \pm 7,6\%$ , po uzdatnieniu  $3,26 \text{ Bq/l} \pm 8,7\%$  (Tab. II). Tylko w jednej studni czerpiącej wodę z poziomu oligoceńskiego, w Gniewie, wystąpiło niewielkie przekroczenie zalecanego poziomu  $11 \text{ Bq/l}$ .

W wodach piętra kredowego średni poziom radonu wynosił przed uzdatnieniem  $6,43 \text{ Bq/l} \pm 9,1\%$ , po uzdatnieniu  $5,36 \text{ Bq/l} \pm 9,4\%$ . Tylko w jednej studni na terenie obszaru Gdyni wystąpiło stężenie radonu w wodzie nie uzdatnionej o wartości  $12,59 \text{ Bq/l}$  (Tab. III).

Z powodu korzystnego chemizmu wód piętra wodonośnego kredowego, szczególnie w rejonie Trójmiasta, wody te mogą być nie uzdatniane. Należy nadmienić, iż często uzdatnianie wody prowadzi się wspólnie dla kilku lub kilkunastu ujęć. Taka sytuacja występuje na terenie Trójmiasta, gdzie mniej zmineralizowane wody pochodzące z warstw wodonośnych trzeciorzędowych i kredowych miesza się przed uzdatnieniem z wodami czwartorzędowymi. Stężenie radonu w tych mieszanych wodach na skutek przewagi wód czwartorzędowych jest niskie i wynosiło średnio dla wód przed uzdatnieniem  $4,96 \text{ Bq/l} \pm 7,3\%$ , po uzdatnieniu  $3,81 \text{ Bq/l} \pm 8,1\%$ . W żadnym ujęciu nie wystąpiło przekroczenie limitu  $11 \text{ Bq/l}$  (Tab. IV).

Wody z warstw wodonośnych czwartorzędowych na terenie województwa elbląskiego wykazują niższy poziom radonu niż wody województwa gdańskiego z tych samych warstw. Średnie stężenie radonu w wodzie nie uzdatnionej wynosiło  $3,06 \text{ Bq/l} \pm 8,0\%$ , w wodzie uzdatnionej  $2,53 \text{ Bq/l} \pm 8,0\%$ . W żadnej studni poziom radonu nie przekraczał  $8,0 \text{ Bq/l}$  (Tab. V). Zmierzone stężenia radonu w dwóch miastach: Sztumie i Kwidzynie, gdzie znajdują się ujęcia wód z warstw wodonośnych trzeciorzędowych

Tabela I. Stężenie radonu  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie z warstw wodonośnych czwartorzędowych na terenie województwa gdańskiego  
 Radon  $^{222}\text{Rn}$  concentration in water from quaternary stratum in the Gdańsk Voivodship

Lp.	Lokalizacja ujęć	Głębokość m	Stężenie radonu Bq/l			
			Przed uzdatnieniem		Po uzdatnieniu	
			Wynik	%SD	Wynik	%SD
1.	Sopot, ujęcia: Sarnie Wzgórza, ul. Bitwy pod Płowcami, Zacisze	33-94,5	5,60	± 6,9	5,45	± 7,9
2.	Gdynia-Witaminowo, ul. Sieradzka, uzdatniane zbiorczo 2 studnie	55,0 i 90,0	10,74	± 6,9	6,43	± 6,8
3.	Gdańsk, ujęcie Suchomino	70	-	-	1,90	± 9,0
4.	Tczew, ujęcie Motława Średnie wartości z dwóch studni Nr 1B i Nr 9	93 i 97,6	2,99	± 7,4	-	-
5.	Gdańsk-Zaspa, ul. Powstańców Wlkp., średnie wartości z 9-ciu studni Nr 1B, 4A, 6, 9, 10A, 12, 14A, 15C, 16A	48-41,3	4,55	± 10,7	5,05	± 10,5
6.	Puck, wodociąg publiczny woda zmieszana z 2 studni Nr 4 i Nr 6	55 i 60	2,71	± 9,1	4,18	± 8,3
7.	Pelplin, średnie wartości z 2 studni Nr 1 i 1A	110 117	4,99	± 8,8	3,82	± 10,5
8.	Kiezmark, gm. Cedry Wielkie	120	5,59	± 10,3	-	-
9.	Cedry Wielkie, studnia Nr 1	80	1,95	± 12,0	-	-
10.	Gościcino, gm. Wejherowo woda zmieszana z 2 studni: Nr 1 i Nr 2	107 i 120	6,03	± 7,3	4,84	± 8,2
11.	Rybno, gm. Gniewno, wodociąg publiczny	78	3,69	± 8,6	1,78	± 8,5
12.	Suchy Dąb, studnia Nr 4	37	2,09	± 11,8	1,11	± 12,5
13.	Łężyce, gm. Wejherowo, studnia Nr 1	98	4,70	± 8,3	3,85	± 8,4
	ŚREDNIO		4,64	± 9,0	3,84	± 9,0

Tabela II. Stężenie radonu  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie z warstw wodonośnych trzeciorzędowych na terenie województwa gdańskiego  
 Radon  $^{222}\text{Rn}$  concentration in water from tertiary stratum in the Gdańsk Voivodship

Lp.	Lokalizacja ujęć	Głębokość m	Stężenie radonu Bq/l			
			Przed uzdatnieniem		Po uzdatnieniu	
			Wynik	%SD	Wynik	%SD
1.	Sopot, ujęcia Brodwinio 4 studnie, woda uzdatniona zbiorczo	148-159	-	-	3,70	± 8,6
2.	Poczernino, gm. Władysławowo, Studnie Nr 2,3,4,5,7; woda zmieszana	121-180	4,00	± 8,8	2,72	± 9,1
3.	Luzino, woda zmieszana z 2 studni Nr 1 i 2	77-78	1,92	± 8,6	2,23	± 8,8
4.	Darżlubie, gm. Puck, studnia Nr 2 122	122	3,18	± 8,1	2,68	± 9,3
5.	Leśniewo, gm. Puck, studnia Nr 2	131,5	7,14	± 7,2	3,74	± 8,4
6.	Tczew, ujęcie Motława, Studnia Nr 6	95,5	3,48	± 7,1	-	-
7.	Tczew, ujęcie Park, Studnia Nr 6	100	4,32	± 6,9	-	-
8.	Tczew, ujęcie Park; woda zmieszana ze studni Nr 1b, 2a, 3,4,6 i K-1	92-105,5	-	-	2,98	± 7,4
9.	Gniew, studnia K-4	125	12,82	± 5,3	-	-
10.	Gniew, studnie K-4 i K-5; woda zmieszana	125-130	-	-	2,65	± 7,5
11.	Subkowy, studnia Nr 3	130	10,05	± 8,85	-	-
12.	Subkowy, studnia Nr 2 i 3	113-130	-	-	5,40	± 10,3
	<b>ŚREDNIO</b>		5,86	± 7,6	3,26	± 8,7

(paleocen). Za wyjątkiem jednej studni w Sztumie, gdzie stężenie radonu wynosiło 13,25 Bq/l ± 4,9%, w pozostałych ujęciach stężenie radonu było bardzo niskie (Tab. VI). Średni poziom radonu w wodach piętra kredowego na terenie województwa elbląskiego był trochę wyższy niż na terenie województwa gdańskiego i wynosił 7,2 Bq/l ± 6,6%.

Dwie studnie w Malborku oraz jedna w Letnikach zasilająca Centralny Wodociąg Żuławski wykazywały wyższą radioaktywność od zalecanego poziomu 11 Bq/l (Tab. VII).

Tabela III. Stężenie radonu  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie z warstw wodonośnych górnej kredy na terenie województwa gdańskiego  
Radon  $^{222}\text{Rn}$  concentration in water from upper chalk stratum in the Gdańsk Voivodship

Lp.	Lokalizacja ujęć	Głębokość m	Stężenie radonu Bq/l			
			Przed uzdatnieniem		Po uzdatnieniu	
			Wynik	%SD	Wynik	%SD
1.	Gdynia, ul. Jana z Kolna	112	12,59	± 5,5	–	–
2.	Gdańsk, Grodza Kamienna woda uzdatniona zbiorczo z 4 studni	220–230	3,17	± 8,0	3,47	± 7,8
3.	Różyny, gm. Pszczółki Studnia Nr 1	238,5	8,27	± 9,3	9,36	± 9,0
4.	Gdańsk, Rafineria Gdańska, ul. Elbląska, woda ze studni Nr 1 i Nr 2 uzdatniana zbiorczo	210 i 212	5,49	± 10,3	3,24	± 11,3
5.	Cedry Małe, gm. Cedry Wielkie	120	3,91	± 11,0	–	–
6.	Cedry Małe – Kolonia, gm. Cedry Wielkie	105	5,17	± 10,4	–	–
	ŚREDNIO		6,43	± 9,1	5,36	± 9,4

### DYSKUSJA

W Polsce brak jest jednoznacznych przepisów podających dopuszczalne poziomy stężenia radonu  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie do picia. Również Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) w swoich zaleceniach z 1984 r. podając propozycję 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 ( $\text{Rn-220}$ ). W następnych zaleceniach 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 i że to obciążenie jest raczej niewielkie, zważywszy chociażby na fakt, iż przelewanie wody, jej przetrzymywanie, gotowanie, itp. powoduje znaczne zmniejszenie stężenia radonu. WHO sugeruje aby roczny efektywny równoważnik dawki (dawka skuteczna) dla populacji z tytułu spożycia wody, w której występują radionuklidy nie był większy niż 0,1 mSv [10]. Jak już nadmieniono wcześniej Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska (US Environmental Protection Agency – EPA) jako propozycję limitu stężenia radonu w wodzie do picia podała wartość 300 pCi/l  $\approx$  11 Bq/l [2,4,8,9].

W kilku przypadkach dla wód głębinowych z terenu regionu hydrogeologicznego gdańskiego poziom ten tj. 11 Bq/l był przekroczony.

Tabela IV. Stężenie radonu  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie głębinowej zmieszanej z warstw wodonośnych: czwartorzędowych, trzeciorzędowych i górnej kredy na terenie Gdańska, Sopotu i Kwidzyna  
 Radon  $^{222}\text{Rn}$  concentration in mixed water from quaternary, tertiary and upper chalk stratum in cities: Gdańsk, Sopot and Kwidzyn

Lp.	Lokalizacja ujęć	Głębokość m	Stężenie radonu Bq/l			
			Przed uzdatnieniem		Po uzdatnieniu	
			Wynik	%SD	Wynik	%SD
1.	Sopot, ujęcia: ul. Bitwy pod Płowcami, uzdatniane zbiorczo: 10 studni czwartorzędowych 3 studnie trzeciorzędowe	33-42 92-94	-	-	2,79	± 8,8
2.	Sopot, ujęcie Zacisze, uzdatniane zbiorczo: 2 studnie czwartorzędowe 1 studnia trzeciorzędowa	82 i 85 130	-	-	2,42	± 8,8
3.	Gdańsk, ujęcie Czarny Dwór wodociąg centralny, uzdatniane zbiorczo: 29 studni czwartorzędowych 7 studni trzeciorzędowych 3 studnie kredowe	31-50 83-94 200-219	6,56	± 6,8	6,76	± 6,8
4.	Gdańsk - Zaspą, uzdatniane zbiorczo: 13 studni czwartorzędowych 3 studnie trzeciorzędowe	37-41 220-237	-	-	4,21	± 8,6
5.	Gdańsk, ujęcie Lipce, wodociąg centralny, uzdatniane zbiorczo: 19 studni czwartorzędowych 2 studnie kredowe	39-51 210-221	3,35	± 7,8	2,86	± 7,6
6.	Kwidzyn, ul. Sportowa, uzdatniane zbiorczo 4 studnie czwartorzędowe 2 studnie trzeciorzędowe 3 studnie kredowe	46-52 165-240 205-230	-	-	2,04	± 8,3
	ŚREDNIO		4,96	± 7,3	3,51	± 8,1

Tabela V. Stężenie radonu  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie z warstw wodonośnych czwartorzędowych na terenie województwa elbląskiego  
Radon  $^{222}\text{Rn}$  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 wartość z trzech studni Nr 1, Nr 2 i Nr 45B	104-117	2,39	± 8,0	1,54	± 8,5
3.	Elbląg Bielany, średnia wartość z dziesięciu studni Nr 1, 1B, 2, 2A, 3,4C, 5, 5A, 6, 27	46-118	2,66	± 8,0	1,54	± 8,5
4.	Elbląg, ul. Malborska, średnia wartość z siedmiu studni: Nr 1A, 1B, 2A, 5A, 6, 7, 8A	105-129	6,61	± 6,8	0,89	± 8,3
5.	Tolkmicko, ul. Elbląska 2, Studnia nr 5	42	3,68	± 8,7	3,89	± 8,7
6.	Sztum, ul. Kochanowskiego, uzdatniana zbiorczo z czterech studni: Nr 3B, 5A, 6A, 8	64-76	4,13	± 6,8	2,10	± 7,4
7.	Frombork, średnie wartości z 2 studni: Nr 4 i Nr 16	39 i 47	-	-	5,12	± 8,4
8.	Braniewo, ujęcia Rogity; średnie wartości z 3 studzien: Nr IIIB, VIB, XII	52-100,5	4,85	± 8,4	4,47	± 8,5
9.	Stegna, średnie wartości z 4 studni Nr 3, 4,5 i 7	33,1-40	1,61	± 9,7	-	-
10.	Letniki, Centralny Wodociąg Żuławski, średnie wartości z 9 studni czwartorzędowych: Nr 1B, 6B, 8A, 10B, 14B, 16, 16B, 24A, 32A i jednej studni kredowej K-1	33,1-40,5	1,61	± 7,7	2,21	± 7,1
11.	Kwidzyn, ul. Sportowa, średnie wartości z czterech studni Nr 18A, 20, 20A, 22A	46-52	2,28	± 8,2	1,25	± 7,7
12.	Gardeje, studnia Nr 2A	57	1,88	± 8,0	2,53	± 8,0
	ŚREDNIO		3,06	± 8,0	2,53	± 8,0



Tabela VI. Stężenie radonu  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie z warstw wodonośnych trzeciorzędowych (paleocen) na terenie województwa elbląskiego  
Radon  $^{222}\text{Rn}$  concentration in water from tertiary stratum in the Elbląg Voivodship

Lp.	Lokalizacja ujęć	Głębokość m	Stężenie radonu Bq/l			
			Przed uzdatnieniem		Po uzdatnieniu	
			Wynik	%SD	Wynik	%SD
1.	Sztum, ul. Kochanowskiego	188,5	1,51	± 7,5	-	-
	Studnia Nr 4A					
	Studnia Nr 7	155	13,25	± 4,9		
2.	Kwidzyn, ul. Sportowa	240	2,97	± 8,4	-	-
	Studnia Nr K-IIA,					
	Studnia Nr K-III					
	ŚREDNIO		5,33	± 7,2	-	-

Tabela VII. Stężenie radonu  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie z warstw wodonośnych górnej kredy na terenie województwa elbląskiego  
Radon  $^{222}\text{Rn}$  concentration in water from upper chalk stratum in the Elbląg Voivodship

Lp.	Lokalizacja ujęć	Głębokość m	Stężenie radonu Bq/l			
			Przed uzdatnieniem		Po uzdatnieniu	
			Wynik	%SD	Wynik	%SD
1.	Letniki, Centralny Wodociąg Żuławski Studnia K-1	250	16,08	± 4,9	-	-
2.	Malbork, Piaski Studnia Nr 7	252	13,12	± 4,9	-	-
3.	Malbork, ul. Głowackiego	254	4,48	± 6,6	-	-
	Studnia Nr 3					
	Studnia Nr 6					
	Studnia Nr 5	232	11,18	± 5,0		
		250	5,76	± 6,4		
4.	Malbork, ul. Chrobrego Studnia Nr 4	250	7,05	± 6,3	-	-
5.	Kwidzyn, ul. Sportowa	205	2,40	± 7,8	-	-
	Studnia Nr K-IV					
	Studnia Nr K-V					
	Studnia Nr K-VIA					
	Studnia Nr K-VII	230	3,53	± 8,0		
		220	3,24	± 8,0		
		205	5,17	± 7,7		
	ŚREDNIO		7,20	± 6,6	-	-

Przyjmując średnie stężenie radonu w wodzie do picia z warstw wodonośnych czwartorzędowych regionu gdańskiego na poziomie 3,2 Bq/l oraz zakładając, iż wielkość spożycia wody nie przegotowanej nie przekracza 0,3 l/dzień otrzymamy roczne wchłonięcie radonu  $^{222}\text{Rn}$  na poziomie 350 Bq. Roczny efektywny równoważnik dawki na całe ciało (roczna dawka skuteczna) dla osoby dorosłej wyniesie ok. 15 mSv/rok. W przypadku spożywania wody nie przegotowanej i nie uzdatnionej z warstw wodonośnych kredowych (średnio 6,8 Bq/l) otrzymamy roczne wchłonięcie radonu  $^{222}\text{Rn}$  na poziomie 750 Bq/l. Wtedy roczny efektywny równoważnik dawki na całe ciało dla osoby dorosłej wyniesie ok. 32  $\mu\text{Sv/rok}$ .

Z tytułu spożycia przez człowieka wody z zawartością radonu  $^{222}\text{Rn}$  największą dawkę wśród tkanek i narządów otrzyma żołądek, następnie jelito cienkie, jelito grube, wątroba i płuca [3]. Przyjmując współczynnik ryzyka śmierci z tytułu indukcji raka na poziomie  $5 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$  [5] otrzymamy wartość ryzyka  $16 \cdot 10^{-7}$ . Natomiast ryzyko raka żołądka wyniesie ok.  $3 \cdot 10^{-7}$ . Te teoretyczne, oszacowane wartości ryzyka związane są ze spożywaniem wody z zawartością radonu na poziomie 6,8 Bq/l są wartościami bardzo małymi, praktycznie nie uchwytymi żadnymi metodami statystyczno-epidemiologicznymi.

#### WNIOSKI

1. Średnie wartości stężenia radonu w wodzie z ujęć głębinowych gdańskiego regionu hydrogeologicznego są niskie i nie przekraczają zalecanego poziomu 11 Bq/l.
2. Stężenie radonu w wodzie wzrasta wraz z głębokością eksploatowanych warstw wodonośnych.
3. Roczny efektywny równoważnik dawki (dawka skuteczna) na całe ciało dla dorosłej osoby z tytułu spożywania w ciągu dnia 0,3 l wody z zawartością radonu na poziomie 6,8 Bq/l oszacowano na poziomie 32  $\mu\text{Sv/rok}$ .

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

#### THE CONTENTS OF RADON IN DEEP BOREHOLE WATER OF HYDROGEOLOGICAL REGION OF GDAŃSK

##### Summary

Radon  $^{222}\text{Rn}$  in deep borehole water of Gdańsk Hydrogeological Region has been quantitative determined. This region is located in east part of Gdańsk Voivodship and in west part of Elbląg Voivodship including Żuławy. The measurements were performed using alpha liquid scintillation counting method. Only in some case the concentrations of  $^{222}\text{Rn}$  in investigated samples exceed recommended limit 11 Bq/l.

##### PIŚMIENICTWO

1. *Chowaniec J.* i wsp. Budowa Geologiczna Polski. T.VII. Hydrogeologia. Wydawnictwa geologiczne. Warszawa 1991, 50–53.
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, 919–924.

4. *Hightower J.H., Watson J.E.*:  $^{222}\text{Rn}$  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, 221–232.
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, 1–64.
7. *Pachocki K.A.*: Radon w środowisku. *Ekologia i Zdrowie*, Warszawa 1995, 1–41.
8. *Pachocki K.A., Gorzkowski B., Majle T., Różycki Z.*: Występowanie radonu  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie z ujęć głębinowych na terenie Pojezierza Mazurskiego. *Roczn. PZH*, 1997, 48, 69–77.
9. *Pachocki K.A., Gorzkowski B., Majle T., Różycki Z., Peńsko J., Poręba I.*: Pomiary stężenia radonu  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie z ujęć głębinowych na terenie Warszawy. *Roczn. PZH*, 1996, 47, 3, 285–293.
10. WHO: Guidelines for drinking water quality. Vol. Recommendations. Geneva, 1993, 4, 114–121.

Otrzymano: 1998.11.20