

KRZYSZTOF PACHOCKI, BOHDAN GORZKOWSKI, TADEUSZ MAJLE,  
ZDZISŁAW RÓŻYCKI, JERZY PEŃSKO, IZABELA PORĘBA<sup>1)</sup>

POMIARY STĘŻENIA RADONU  $^{222}\text{Rn}$  W WODZIE Z UJĘĆ  
GŁĘBINOWYCH NA TERENIE WARSZAWY

MEASUREMENTS OF RADON  $^{222}\text{Rn}$  CONCENTRATIONS IN WARSAW'S DEEP  
BOREHOLE WATER

Zakład Ochrony Radiologicznej i Radiobiologii, Państwowy Zakład Higieny

00-791 Warszawa, ul. Chocimska 24

p.o. Kierownik: dr K. Pachocki

<sup>1)</sup> Dział Higieny Komunalnej,

Wojewódzka Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna w Warszawie

Dyrektor: W. Żabicki

00-875 Warszawa, ul. Żelazna 79

*Określono ilościowo stężenia radonu  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie z ujęć głębinowych na terenie Warszawy. Pomiaru wykonano metodą ciekłej scyntytacji cząstek alfa. Przeprowadzono analizę otrzymanych wyników w odniesieniu do proponowanych limitów stężenia radonu  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie do picia oraz podjęto próbę oszacowania otrzymanych dawek promieniowania jonizującego przez osoby spożywające tę wodę.*

Radon jest bezbarwnym i bezwonym gazem promieniotwórczym należącym do grupy gazów szlachetnych [6]. Istnieją trzy naturalne izotopy radonu:  $^{222}\text{Rn}$  (radon) o okresie półrozpadu 3,8 doby,  $^{220}\text{Rn}$  (toron) o okresie półrozpadu 54,5 sek oraz  $^{219}\text{Rn}$  (aktynon) o okresie półrozpadu 3,9 sek. Powstają one z rozpadu izotopów radu o masach atomowych 226, 224 i 223. Ze względu na krótkie okresy półrozpadu aktynonu i toronu oraz stosunkowo małe ich ilości występujące w środowisku decydujące znaczenie ma radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) stanowiący główne zagrożenie dla zdrowia człowieka. Wszystkie izotopy radonu są emiterami cząstek *alfa*. Radon dzięki swojej zdolności migracji do górnych warstw gleby, do atmosfery i do naturalnych zbiorników wodnych wraz ze swoimi produktami rozpadu ( $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Po}$ ) stanowi największe źródło dawki otrzymywanej przez ogół ludności z naturalnych źródeł promieniowania jonizującego.

Radon łatwo rozpuszcza się w wodzie, a jeszcze lepiej w alkoholach i innych rozpuszczalnikach organicznych. W układzie woda-powietrze, w temperaturze pokojowej około 20% radonu rozpuszcza się w wodzie, a 80% pozostaje w powietrzu [9].

W Polsce największym basenem artezyjskim jest niecka mazowiecka. W ciągu stu lat od odkrycia oligoceńskiego basenu artezyjskiego w Warszawie i na Mazowszu odwiercono przeszło 300 ujęć wody o głębokości od 200 do 300 m. Oligoceński poziom wodonośny charakteryzuje się mineralizacją 250-700 mg/l, niewielkim przek-

roczaniem jonów Fe i Mn i składem mikroelementów korzystnych dla organizmu człowieka. Uznawany jest za najbardziej wartościowy w obrębie wód niemineralnych. Wynika to nie tylko ze składu fizyko-chemicznego, lecz również z walorów smakowych [2].

Wody z warstwy geologicznej czwartorzędu występują w jednym lub dwóch poziomach wodonośnych (rzadziej w trzech poziomach) do głębokości 40–60 m (lokalnie do 120–150 m głębokości). Górny płytki poziom czwartorzędowy o charakterze użytkowym cechuje się znacznym zanieczyszczeniem. Mineralizacja wody sięga 800–1200 mg/l. Natomiast najgłębszy poziom czwartorzędowy cechuje dobra jakość wody przy niskiej mineralizacji (180–200 mg/l) i składzie fizyko-chemicznym nie wymagającym żadnego uzdatniania [2].

Z orientacyjnych szacunków wynika, że w 1993 r. eksploatacja na terenie województwa warszawskiego wody głębinowej z warstwy geologicznej czwartorzędowej wynosiła około 180–200 tys. m<sup>3</sup>/dobę, a wody z warstwy trzeciorzędowej (wody oligoceńskiej) mieściła się w przedziale 20–25 tys. m<sup>3</sup>/dobę [2].

Z uwagi na coraz powszechniejsze użycie przez ludność Warszawy do celów spożywczych wody ze studni oligoceńskich i czwartorzędowych wykonano badania zawartości radonu <sup>222</sup>Rn w wodzie z tych ujęć przed i po uzdatnieniu. Uzdatnienie polegało na osadzeniu na kolumnach wypełnionych piaskiem wodorotlenkowym żelaza i manganu powstałych po napowietrzeniu wody [4].

Pomiary radonu <sup>222</sup>Rn wykonano metodą ciekłej scyntytacji cząstek alfa [4]. Przeprowadzono analizę otrzymanych wyników w odniesieniu do proponowanych limitów stężenia radonu <sup>222</sup>Rn w wodzie do picia [8,10]. Podjęto próbę oszacowania dawek promieniowania otrzymanych przez osoby spożywające tę wodę w oparciu o standardy spożycia [3,5].

## MATERIAŁ I METODY

Pomiary radonu wykonano metodą ciekłej scyntytacji cząstek alfa przy wykorzystaniu licznika Packard Tri-Carb 1900TR. Używano szklanych naczynek *Packard'a* o objętości 20 ml z zakrętką zawierającą uszczelkę pokrytą aluminiową folią. Do naczynek pipetowano po 10 ml roztworu scyntyacyjnego Opti-Fluor O, zawierającego jako rozpuszczalniki alkilowe pochodne benzenu. Do naczynka z roztworem scyntyacyjnym pipetowano następnie 10 ml próbki wodnej pobieranej z kranów przed i po uzdatnieniu. Zawartość naczynka wstrząsano przez ok. 5 sek. Próbkę pozostawiano na minimum 3,5 godziny, w celu ustalenia się przejściowej równowagi promieniotwórczej pomiędzy radonem i jego krótko żyjącymi produktami rozpadu. W tym czasie ponad 95% radonu przechodzi do fazy organicznej. Ślepą próbę 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 przeliczanych 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 scyntyacyjnym, a także numer detektora i miejsce poboru. W omawianych badaniach czas poboru próbki wody i czas zmieszania z roztworem scyntyacyjnym był identyczny. Czas

zliczania próbek wynosił od 15 do 40 minut, a błąd oznaczania (zależnie od mierzonej aktywności) kształtował się w przedziale 5% – 13%.

### WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Najwyższe stężenia radonu w wodzie oligoceńskiej stwierdzono na terenie Warszawy prawobrzeżnej, w dzielnicy Praga Północ. Średnie stężenie radonu ze wszystkich studni tej dzielnicy przekraczało 9 Bq/l (woda przed uzdatnieniem). W wodzie uzdatnionej w trzech ujęciach stwierdzono przekroczenie wartości 11 Bq/l (Tabela I).

Tabela I. Stężenie radonu  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie oligoceńskiej z ujęć na terenie Warszawy  
Radon  $^{222}\text{Rn}$  concentrations in oligocene water in particular wells in Warsaw

Lp. Lokalizacja ujęcia	Głębokość m	Stężenie radonu (Bq/l)			
		przed uzdatnieniem		po uzdatnieniu	
		Wynik	%SD	Wynik	%SD
<b>ŻOLIBORZ</b>					
1. Park przy Cytadeli, Wisłostrada	270	0,81	7,7	1,11	7,5
2. Inst. Chemii Przemysł. ul. Rydygiera 8	280	1,36	7,6	1,42	7,5
3. CEMAT ul. Wólczyńska 133	265	2,05	8,8	2,19	8,8
4. D.W. ZOT ul. Lindego 20	240	10,44	6,3	7,99	6,7
5. Oś. Mieszkaniowe „RUDA” ul. Klaudyny	241	3,55	8,1	3,93	6,4
<b>ŚRÓDMIEŚCIE</b>					
1. "Idealne Mieszkanie” ul. Poznańska	276	1,77	7,4	1,48	7,5
2. Muzeum Narodowe	260	11,07	6,3	9,54	6,5
3. ul. Wiślana	240	2,66	7,3	2,77	7,2
4. NBP, ul. Warecka 10	265	1,24	7,7	1,32	7,3
<b>MOKOTÓW</b>					
1. PZH ul. Chocimska 24	263	2,70	6,8	1,10	8,2
2. Szpital ul. Stepińska 19/25	241	3,45	5,0	–	–
3. Państw. Inst. Geologiczny ul. Rakowiecka 4	265	0,91	7,6	0,66	7,8
4. SGGW-AR ul. Nowoursynowska 8	258	0,53	7,8	1,60	7,1
5. Pogotowie Opiekuńcze ul. Bonifacego	242	–	–	2,52	6,8
6. P.Z. Optyczne ul. Bobrowiecka 7	240	0,85	7,6	1,26	7,8

7.	Zakł. Mlecz. „Mokotów” ul. Wielicka 34/36	241	2,48	7,9	0,62	9,0
8.	Rozlw. Wód „Mazowszanka” ul. Marynarska	253	5,32	6,8	0,71	8,9
10	Elektrociepłownia „SIEKIERKI”, Zawady	265	0,55	7,8	0,57	7,6

## WOLA

1.	Al. Solidarności	270	3,12	6,8	–	–
2.	„POLFA” ul. Prosta	264	0,93	7,6	–	–
3.	Browar Warszawski ul. Grzybowska 56	270	5,04	6,8	4,04	7,1
4.	„FOTON” ul. Wolska 45	272	5,31	6,7	2,56	8,1
5.	„URSUS” ul. Walerego Sławka	265	0,28	9,2	0,74	8,9
6.	KOŁO ADM ul. Zagłoby 6	256	4,37	7,1	3,44	7,4
7.	ul. Karolkowa 49	264	12,12	5,0	10,41	5,1
8.	BEMOWO ul. Borowego	245	–	–	7,51	6,8
9.	BEMOWO ul. Czerwonych Maków	245	6,74	5,7	4,56	6,1

## OCHOTA

1.	MOŚ, ZNiL ul. Wawelska 52/54	260	0,46	7,7	1,03	7,5
2.	Inst. Geologii Podstaw. UW ul. Banacha	269	–	–	6,67	6,4
3	ADM ul. Pruszkowska	265	4,30	7,1	5,05	6,9

## PRAGA PÓŁNOC

1.	NOWODWORY ul. Aluzyjna	234	9,48	5,2	11,50	4,9
2.	Szpital ul. Kondratowicza	240	9,60	4,9	11,01	4,9
3.	Zakłady Mleczarskie ul. Biezuńska	230	6,27	5,6	7,01	5,5
4.	Zakłady Spirytusowe ul. Ząbkowska 29/31	231	10,67	6,3	3,35	8,3
5.	„HORTEX” – Płudy ul. Klasyków 36	236	14,79	5,7	14,47	5,8
6.	„POLLENA-AGROMA” ul. Klasyków 10	236	12,44	5,9	4,46	6,9
7.	Szpital Praski ul. Dębowa	232	5,60	6,7	6,44	6,4
8.	„POLFA” Tarchomin ul. Fleminga 2, st. zbr	240	3,84	6,3	4,61	6,0

## PRAGA POŁUDNIE

1. Z-d „RAWAR” ul. Poligonowa	230	0,47	7,9	0,31	8,0
2. S-nia „WALTER” ul. Chrzanowskiego 8	240	1,12	7,5	0,12	8,1
3. Szpital ul. Niekańska	227	0,74	7,4	0,98	7,1
4. Szpital MON ul. Szaserów 128	236	2,69	6,3	1,83	7,1
5. ”WEDEL” ul. Zamoyskiego 30	236	2,49	8,7	5,97	7,3
6. ”PZO” ul. Mińska	230	–	–	1,96	7,1

Najniższe stężenia w Warszawie prawobrzeżnej występują w dzielnicy Praga Południe. Średnia dla wody nie uzdatnionej wynosiła 1,5 Bq/l, dla wody uzdatnionej 1,86 Bq/l.

Tabela II. Średnie stężenie radonu  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie oligoceńskiej w poszczególnych dzielnicach Warszawy  
Average concentrations of radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) in oligocene water in several sections of Warsaw

Lp. Dzielnic	Liczba próbek (ujęć)	Głębokość m	Stężenie radonu (Bq/l)			
			przed uzdatnianiem		po uzdatnieniu	
			Wynik	% SD	Wynik	% SD
1. Żoliborz	5	240–280	3,64	7,7	3,33	7,4
2. Śródmieście	4	240–276	4,19	7,2	3,77	7,1
3. Wola	9	245–272	4,74	6,9	4,75	7,1
4. Ochota	3	260–269	2,38	7,4	4,25	6,9
5. Mokotów	10	240–265	2,32	7,2	1,22	7,9
6. Praga Północ	8	230–240	9,09	5,8	7,88	6,1
7. Praga Południe	6	227–240	1,50	7,6	1,86	7,5
Średnia	45	227–280	3,98	7,1	3,87	7,1

W poszczególnych dzielnicach lewobrzeżnej Warszawy nie stwierdzono dużych różnic w stężeniu radonu w wodzie. Średnie stężenia radonu w dzielnicach mieszczą się w zakresie 2,32–4,74 Bq/l dla wody nie uzdatnionej i w zakresie 1,22–4,75 Bq/l dla wody uzdatnionej. Najniższe stężenia radonu występują w dzielnicy Mokotów (Tabela II). Tylko w wodzie nie uzdatnionej z dwóch ujęć lewobrzeżnej Warszawy stwierdzono przekroczenie poziomu 11 Bq/l.

W większości ujęć stężenie radonu w wodzie po uzdatnieniu jest niższe niż w wodzie bezpośrednio wypływającej z warstwy wodonośnej piasków oligoceńskich. Można tłumaczyć to pewnym czasem przebywania wody po odzelenieniu na kolumnach w zbiornikach ciśnieniowych. Czas ten może wydłużyć się gdy jest mały pobór wody. Jak już wspomniano wyżej, radionuklid  $^{222}\text{Rn}$  ma półokres rozpadu wynoszący 3,8 dnia.

Natomiast wzrost zawartości radonu-222 w wodzie uzdatnionej do spożycia w stosunku do wody bezpośrednio wypływającej ze złoża można tłumaczyć silnym zanieczyszczeniem kolumn przez osadzanie się wodorotlenku żelaza oraz soli radowych. W przypadku rzadkiego płukania kolumny osad żelazowy jest mocno osadzany na ziarnach piasku i płukanie kolumn wodą jest nieskuteczne. Jedynie usunięcie z kolumny piasku z osadem i wymiana na czysty piasek powoduje prawidłowe odżelazianie i zmniejszenie stężenia radonu w wodzie uzdatnionej.

Wydaje się również, iż wpływ na stężenie radonu  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie po uzdatnieniu ma fakt osiągnięcia wtórnej równowagi rozkładu radonu pomiędzy fazą powietrzną a fazą wodną w zbiorniku ciśnieniowym. Osiąganie wtórnej równowagi jest powodowane inną wartością ciśnienia w zbiorniku niż w złożu wodonośnym piasków oligoceńskich.

Wody pochodzące z warstwy geologicznej czwartorzędu różnią się mineralizacją od wód oligoceńskich. Wykonane pomiary w wodzie z poziomu czwartorzędowego z 15 ujęć rozmieszczonych w trzech dzielnicach Warszawy wykazały, iż średnie stężenie radonu  $^{222}\text{Rn}$  jest niższe niż średnie stężenie radonu w wodzie oligoceńskiej i nie przekracza wartości 3 Bq/l (Tabela III). Dla porównania wykonano również pilotowe oznaczenia radonu w wodzie pochodzącej z płytkich studni wierconych na terenie Mazowsza. Woda ta była nieodżelaziona. Stwierdzono, że stężenie radonu  $^{222}\text{Rn}$  wynosiło w niej średnio 2,73 Bq/l, czyli było zbliżone do średniej koncentracji radonu w wodzie pochodzącej z głębiej położonych warstw geologicznych, z warstwy czwartorzędowej (Tabela IV).

Dla porównania oznaczono również stężenie radonu  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie wodociągowej w Warszawie w dzielnicy Mokotów. Woda pochodziła z filtrów Wodociągu Centralnego. Średnie stężenie radonu z 26 pomiarów wynosiło  $0,43 \pm 0,03$  Bq/l.

Niskie wartości radonu w wodzie z tego ujęcia prawdopodobnie spowodowane są dużym stężeniem anionu siarczanowego w Wiśle, który jest odczynnikiem strącającym rad. Sole radu obecne są w osadach dennych rzeki i w małym procencie docierają do filtrów. To powoduje zmniejszenie stężenia radonu w wodzie wodociągowej. Również nie bez wpływu na zmniejszenie stężenia radonu jest czas, jaki upływa od momentu filtracji i uzdatniania wody do chwili poboru wody z kranu.

W zarządzeniu prezesa Państwowej Agencji Atomistyki z dnia 31 marca 1988 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego i wskaźników pochodnych, określających zagrożenie promieniowaniem jonizującym (M.P. Nr 14/1988, poz. 124) roczne wchłonięcie graniczne (ALI) zostało określone dla radonu tylko dla wchłonieć drogą oddechową, w postaci limitu 0,02 J odnoszącego się do potencjalnej energii alfa krótko-żyjących produktów rozpadu  $^{222}\text{Rn}$  ( $^{218}\text{Po}$  do  $^{214}\text{Po}$ ). Także Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) w rekomendacjach z 1984 r. [10] wprawdzie podaje propozycje limitów dla wody do picia w następującej postaci: – całkowita aktywność alfa: 0,1 Bq/l, a całkowita aktywność beta: 1 Bq/l, to jednak z zastrzeżeniem, iż pomiar powinien być wykonany po wyeliminowaniu radonu (Rn-222) i toronu (Rn-220). W następnych rekomendacjach z 1993 r. WHO interpretuje ten fakt, iż obciążenie populacji z tytułu występowania radonu w wodzie bardziej wiąże się z inhalacją (przechodzenie radonu do powietrza) niż pobieraniem go drogą pokarmową, zważywszy na fakt, iż przelewanie wody, jej przetrzymywanie, gotowanie, itp. powoduje znaczne zmniejszenie jego stężenia

Tabela III. Stężenie radonu  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie z warstwy geologicznej czwartorzędowej z ujęć na terenie Warszawy  
Radon  $^{222}\text{Rn}$  concentrations in water from quaternary stratum in particular wells in Warsaw

Lp. Lokalizacja ujęcia	Głębokość m	Stężenie radonu (Bq/l)			
		przed uzdatnieniem		po uzdatnieniu	
		Wynik	%SD	Wynik	%SD
<b>Mokotów</b>					
1. Park w Powsinie	33	–	–	5,12	6,1
2. Zakłady Mleczarskie ul. Wielicka	40	–	–	6,45	6,5
3. Ogród Botaniczny PAN Powsin, ul. Prawdziwka	30	3,04	6,6	–	–
4. Dąbrówka, ul. Puławska 558/560	32	–	–	1,46	7,3
5. ul. Potułkały	30	–	–	4,51	6,1
6. UNITRA-ELWA ul. Wynałazek	30	1,80	8,3	2,69	9,8
7. Przychodnia Rejonowa ul. Przychodnicka 33	32	–	–	1,57	7,2
<b>Wola</b>					
8. Bemowo ul. Kozubów 6	30	2,29	7,1	2,69	9,8
9. Jelonki ul. Sternicza	38	4,68	7,1	4,93	6,8
10. Jelonki ul. Powstańców Śląskich	35	–	–	4,47	7,7
11. Jelonki ul. Rozłogi 2	38	–	–	0,85	8,0
<b>Praga Południe</b>					
12. PZT ul. Marsa 56	43	1,78	7,1	2,34	6,9
13. CZD Międzyzysie	40	2,97	6,6	1,68	7,2
14. Osiedle IBJ Anin ul. Zorzy	39	1,78	7,1	1,70	7,2
15. Inst. Kardiologii, Anin ul. Alpejska 42	30	1,35	7,4	1,40	7,3
Średnio		2,46	7,2	2,99	7,4

nia. Sugeruje się jedynie by roczny efektywny równoważnik dawki dla populacji z tytułu spożywania wody, w której występują radionuklidy nie był większy od 0,1 mSv [10].

W Journal of American Water Works Association (JAWWA) z marca 1992 r., organie Amerykańskiego Stowarzyszenia Badań Wody, zgodnie z sugestią Amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska (US Environmental Protection Agency) jako propozycję limitu zawartości radonu w wodzie do picia podano wartość 300 pCi/l  $\approx 11$  Bq/l (1 pCi/l  $\approx 37$  mBq/l).

Przyjmując współczynniki konwersji:  $10^{-8}$  Sv  $\cdot$  Bq $^{-1}$  dla dorosłych,  $2 \cdot 10^{-8}$  Sv  $\cdot$  Bq $^{-1}$  dla dzieci i  $7 \cdot 10^{-8}$  Sv  $\cdot$  Bq $^{-1}$  dla niemowląt [8] oraz zakładając roczne spożycie wody

Tabela IV. Stężenie radonu  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie z płytkich studni wierconych w Warszawie i na Mazowszu  
Radon  $^{222}\text{Rn}$  concentrations in water from shallow well-skinks in Warsaw and Mazowsze

Lp.	Lokalizacja ujęcia	Głębokość m	Stężenie radonu (Bq/l)	
			przed uzdatnieniem	
			Wynik	% SD
1.	Warszawa, Krasnowola ul. Krasnowolska 66	10	1,28	7,4
2.	Warszawa ul. Piaseczyńska	10	4,51	6,1
3.	Wólka Pracka	8	2,03	7,0
4.	Mrozy	15	4,51	6,4
5.	Kamionki-Piecki	11	3,78	6,7
6.	Kamionki-Piecki	12	2,97	6,7
7.	Otwock	14	2,21	7,0
8.	Radość	15	3,07	6,6
9.	Międzyborów	16	1,83	7,1
10.	Wola Polska	9	2,81	6,4
11.	Brzuze Duże	24	1,91	6,4
12.	Radziejowice	24	1,88	7,1
Średnio			2,73	6,7

nie przegotowanej na poziomej 180 l dla dorosłych i dzieci oraz 360 dla niemowląt, a także zakładając, iż w populacji jest 5% niemowląt, 30% dzieci i 65% ludzi dorosłych oszacowano, że średnia roczna dawka efektywna dla populacji Warszawy z powodu występowania radonu w wodzie oligoceńskiej (przyjęto średnią wartość 4 Bq/l) wynosi  $14 \mu\text{Sv} = 0,014 \text{ mSv}$  (1,4 mrem).

Należy podkreślić, iż wysoki poziom zawartości radu  $^{226}\text{Ra}$  w wodzie świadczy zazwyczaj o dużej zawartości radonu  $^{222}\text{Rn}$ , jednak wysokie stężenie radonu w wodzie nie zawsze odpowiada wysokiemu stężeniu radu-226 w tejże wodzie.

#### WNIOSKI

1. Najwyższe stężenia radonu (do 14,79 Bq/l przed uzdatnieniem) w wodzie oligoceńskiej występują w dzielnicy Warszawy Praga Północ.

2. Średnie stężenie radonu  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie oligoceńskiej z ujęć na terenie Warszawy było wyższe niż w wodzie z warstwy geologicznej czwartorzędowej. Nie zanotowano istotnych różnic między wodą z płytkich studni wierconych a wodą czwartorzędową.

3. W większości ujęć stężenie radonu w wodzie uzdatnionej jest niższe niż w wodzie bezpośrednio wypływającej z warstwy wodonośnej piasków oligoceńskich.



4. W trzech ujęciach wody oligoceńskiej w dzielnicy Praga Północ oraz w czterech ujęciach w Warszawie lewobrzeżnej stwierdzono stężenia radonu o wartościach bliskich lub nieco przekraczających 11 Bq/l (limit przyjęty przez Amerykańską Agencję Ochrony Środowiska (EPA)).

5. Średnia roczna dawka efektywna oszacowana dla populacji Warszawy z powodu występowania radonu w wodzie oligoceńskiej wynosi około 0,014 mSv (1,4 mrem).

K. Pachocki, B. Gorzkowski, T. Majle, Z. Różycki,  
J. Peńsko, I. Poręba

#### MEASUREMENTS OF RADON $^{222}\text{Rn}$ CONCENTRATIONS IN WARSAW'S DEEP BOREHOLE WATER

##### Summary

Radon  $^{222}\text{Rn}$  in deep borehole water in the Warsaw's district has been quantitative determined. The measurements were performed using the alpha liquid scintillation counting method. The measurements results were compared to the  $^{222}\text{Rn}$  concentration limit in drinking water approved in other countries. In some cases the concentrations of  $^{222}\text{Rn}$  in investigated water samples exceed 11 Bq/l. The annual radiation dose equivalent received by the people consuming every day such water in Warsaw in about 0,014 mSv (1,4 mrem).

##### PIŚMIENNICTWO

1. BEIR IV: Health risks of radon and other internally deposited alpha emitters. U.S. National Research Council Report, National Academy Press, Washington, D.C., 1988. – 2. Czeźnik N. i wsp.: Raport o stanie środowiska województwa stołecznego warszawskiego w 1993 roku. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 1994, 36. – 3. DeZuane J.: Handbook of drinking water quality standards and controls. New York 1990, 327-348. – 4. Gorzkowski B., Pachocki K., Peńsko J., Majle., Różycki Z.: Analiza porównawcza dwóch metod dyfuzyjnych pomiaru radonu Rn-222 w powietrzu z wykorzystaniem spektrometru promieni gamma i metody ciekłej scyntylicacji. Roczn. PZH 1995, 46, 71. – 5. 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. – 6. Pachocki K.: Radon w środowisku. Ekologia i Zdrowie, Warszawa 1995, 1. – 7. Peńsko J.: Pole ziemskiego tła promieniowania gamma i metody jego badań. PWN, Warszawa 1977, 25. – 8. UNSCEAR 1993 Report: Sources and effects of ionizing radiation. United Nations. New York 1993, 45-54. – 9. WHO: Environmental Health Criteria 25. Selected Radionuclides, Geneva, 1983. – 10. WHO: Guidelines for drinking water quality. Vol. 1 Recommendations, Geneva 1984, 1993.

Otrzymano: 1995.11.27