

# Koncentracja radonu w wodzie na obszarze północno-wschodniej Polski

Marek Zalewski\*, Maria Karpińska\*, Zenon Mnich\*, Jacek Kapała\*

## Concentration of radon in water in the region North-East Poland

**S u m m a r y.** The concentration of Rn-222 in 133 samples of water were measured by the liquid scintillation method. The average value was 7049 Bq/m<sup>3</sup>, with the range from 200 to 32000 Bq/m<sup>3</sup>. The measured samples derive from surface water, ladder well and drilled well, and have the values 3252, 8048, 6898 Bq/m<sup>3</sup> respectively. Radon present in drinking water can cause a higher level of this element in inner air of about 20%.

Radon jest naturalnym pierwiastkiem promieniotwórczym dającym ponad 50% wkładu w całkowitą dawkę pochłanianą przez ludność krajów klimatu umiarkowanego od wszystkich źródeł promieniowania jonizującego. Najistotniejszym mechanizmem, powodującym obecność radonu w powietrzu którym oddychamy, jest jego emanacja z ziemi, zależna głównie od rodzaju podłoża geologicznego oraz możliwości jego migracji do powierzchni ziemi (Nero & Nazaroff, 1984; Ennemoser i in., 1994). W niektórych przypadkach podwyższone koncentracje Rn-222 wewnątrz budynków, w których ludność spędza przeciętnie ok. 80% czasu, mogą powodować podwyższone ryzyko radiologiczne związane z narażeniem płuc i oskrzeli (United Nations Scientific..., 1977). Innym źródłem Rn-222 w powietrzu mieszkań jest woda.

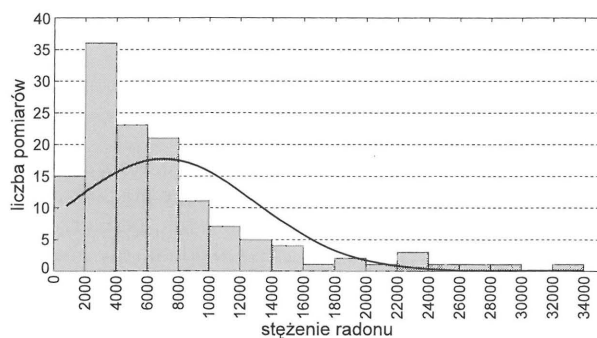
Obecność radonu w wodach gruntowych jest spowodowana bezpośrednią zawartością radu w wodzie oraz migracją Rn-222 ze skał i gruntów do wód. Atomy radonu, które wydostały się z kryształków macierzystych i wytraciły całkowicie swoją energię kinetyczną w przestrzeniach wypełnionych cieczą mogą przemieszczać się w wyniku dyfuzji w cieczy oraz być transportowane wraz z nią na znaczne odległości. Na obszarze, gdzie woda pitna ma duże stężenie radonu, możliwe jest przenoszenie dużych ilości tego gazu do powietrza wewnątrz mieszkań. Rozpuszczalność radonu w wodzie w temperaturze 0°C wynosi 510 cm<sup>3</sup>/l i spada do 220 cm<sup>3</sup>/l w temperaturze 25°C i do 130 cm<sup>3</sup>/l przy 50°C (United Nations Scientific..., 1993). Stąd używanie pryszniców, gotowanie, zmywanie naczyń, pranie bielizny może powodować dodatkowe zwiększenie koncentracji radonu wewnątrz budynków.

Informacje dotyczące koncentracji radonu w wodzie na terenie Polski są bardzo skąpe. Celem naszej pracy było oszacowanie zawartości Rn-222 w wodzie zaopatrującej gospodarstwa domowe z terenu północno-wschodniej Polski. Obszar ten posiada dobrze udokumentowaną analizę stanu naturalnej promieniotwórczości. Średnia moc dawki pochłoniętej w powietrzu od ziemskiego tła promieniowania gamma wynosi 40.2 nGyh<sup>-1</sup> (Zalewski i in., 1996a). Moce dawek w budynkach mieszkalnych ukształtują się na poziomie średnich światowych (Zalewski i in., 1996b), a średnie stężenie radonu w budynkach białostoczczyzny wynosi 36,6

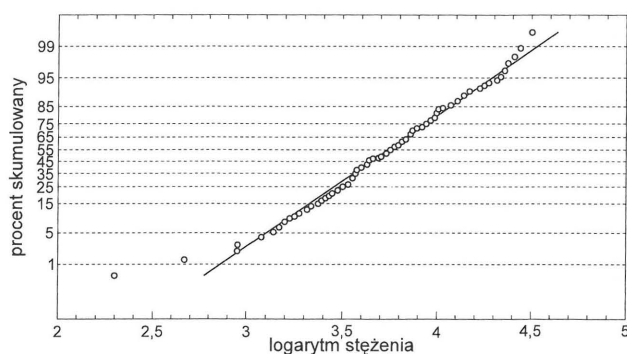
Bq/m<sup>3</sup> i jest niższe od średniej ważonej dla świata (Zalewski i in., 1996c). Pomimo, iż stan promieniowania naturalnego na tym obszarze nie budzi zastrzeżeń to dalsza analiza radio-ekologiczna jest uzasadniona. Region ten budzi bowiem duże zainteresowanie ekologów ze względu na to, że w 1990 r. w tej części kraju został wyodrębniony obszar funkcjonalny *Zielone Płuca Polski* (ZPP) (Założenia polityki regionalnej ..., 1991). Obecnie region ten zajmuje 19,4 % powierzchni kraju obejmującej dziewięć północno-wschodnich województw (*Zielone Płuca Polski w liczbach*, 1994).

## Metoda pomiarowa

W badaniach zastosowano technikę opartą na pomiarach ciekło-scyntylacyjnych. Zgodnie z procedurą proponowaną przez producenta aparatury pomiarowej (*Pico-Rad* ..., 1993) próbki wody zbierano do szklanych pojemników o objętości 20 cm<sup>3</sup>, zaopatrzonych w gumowo-teflonowe uszczelki uniemożliwiające ucieczkę Rn-222 z pojemników. Próbkę wody przywieziono do laboratorium Zakładu Biofizyki łącznie z ciekłym scyntylatorem OPTI-FLUOR i przygotowywano do pomiaru na automatycznym liczniku TRI-CARB. Po ok. 3 godz. 95% radonu przechodziło do scyntylatora ze względu na większe powinowactwo Rn-222 do ksyłenu w stosunku do wody i powietrza. Każdy rozpad radonu i jego



Ryc.1. Rozkład koncentracji Rn-222 w wodzie  
Fig.1. The distribution of the concentration of Rn-222 in water



Ryc. 2. Log-normalny rozkład koncentracji Rn-222 w wodzie  
Fig. 2. Log-normal concentration distribution of Rn-222 in water

\*Zakład Biofizyki, Akademia Medyczna,  
ul. Mickiewicza 2A, 15-230 Białystok

**Tab.1. Koncentracja Rn-222 w wodzie w poszczególnych województwach wyrażona w Bq/m**

Województwo	Liczba próbek	Przedział	Średnia arytmetyczna	Mediana
białostockie	51	200–2800	6876	4300
ciechanowskie	4	2500–2300	9175	5600
elbląskie	2	470–2200	1335	–
łomżyńskie	16	1500–10000	6288	6500
olsztyńskie	7	2100–21000	12 271	13 000
ostrołęckie	12	2500–12000	5542	51500
siedleckie	18	910–18000	6039	4600
suwalskie	23	1600–32000	8078	5200

**Tab. 2. Koncentracja Rn-222 w wodzie w zależności od rodzaju ujęcia, wyrażona w Bq/m<sup>3</sup>**

L.p.	Rodzaj ujęcia	Liczba próbek	Przedział	Średnia arytmetyczna	Mediana
1	głębinyowe*	84	470–26000	8048	6550
2	powierzchniowe**	21	200–7700	3252	3500
3	Studnie prywatne***	28	1700–32000	6898	5250

\*głębinyowe ujęcia wód podziemnych zaopatrujące większość miast.

\*\*ujęcia powierzchniowe i infiltracyjne (rzeka Narew i Supraśl).

\*\*\*prywatne studnie kopane o głęb. do 10 m. (woda nie podlega procesom uzdatniania).

pochodnych zawartych w wodzie dają 3 cząstki  $\alpha$  (od Rn-222, Po-218 i Po-214) i 2 cząstki  $\beta$  (od Pb-214 i Bi-214) zliczane w liczniku z 100% wydajnością. Obliczeń koncentracji Rn-222 w wodzie dokonywano za pomocą programu komputerowego (*Radon Analysis Program*, 1993). Błąd metody oszacowany przez producenta przy starannym wypełnieniu procedury przygotowania próbek nie przekraczał 10%. Próbkę wody z terenu do laboratorium pomiarowego były dostarczone w dwóch seriach w lutym i kwietniu 1996 r. przez studentów Akademii Medycznej w Białymstoku.

### Dyskusja wyników badań

Przeprowadzono pomiary koncentracji Rn-222 w 133 próbkach wody przeznaczonej na potrzeby gospodarki komunalnej pochodzącej z ujęć głębinowych, powierzchniowych oraz studni prywatnych. Nasze badania nie obejmują wód wykorzystywanych na cele produkcyjne oraz na potrzeby rolnictwa i leśnictwa. Rozkład koncentracji radonu we wszystkich próbkach przedstawiono na ryc. 1.

Zawartość radonu zmieniała się w zakresie 200–32 000 Bq/m<sup>3</sup>, ze średnią arytmetyczną 7049 Bq/m<sup>3</sup> oraz medianą 5400 Bq/m<sup>3</sup>. Krzywa rozkładu jest asymetryczna a 10% próbek zawiera stężenie radonu przekraczające 14 000 Bq/m<sup>3</sup>. Stwierdzony rozkład Rn-222 w wodzie ma charakter rozkładu logarytmiczno-normalnego ze średnią geometryczną 5145 Bq/m<sup>3</sup> (ryc. 2). Wyniki pomiarów uzyskane w poszczególnych województwach makroregionu północno-wschodniego zawiera tab. 1. Dane te reprezentują radon w wodzie pochodzącej z 8 województw, spośród 9 wchodzących w skład ZPP. Na tym obszarze pobór wody na potrzeby gospodarki komunalnej wynosi 182,2 hm<sup>3</sup>. Zaopatruje ona 3,7 mln ludności (9,6% ludności kraju) (*Zielone Ptuka Polski w liczbach*, 1994).

Analiza wyników uwzględniająca rodzaj ujęcia wody jest zawarta w tab. 2. Zaopatrywanie indywidualnych odbiorców w wodę następuje poprzez sieć wodociągów oraz z prywatnych studni. W świetle danych statystycznych z 1994 r. na terenie ZPP 92% wody pochodzi z ujęć głębinowych a 8% z ujęć powierzchniowych. Najwyższe koncen-

tracje radonu stwierdzono w wodzie pochodzącej z komunalnych ujęć głębinowych, najistotniejszych z punktu widzenia analizy narażenia ludności. Są to głębinowe ujęcia wód podziemnych zaopatrujące większość miast regionu. W 84 próbkach stwierdzono średnią 8048 Bq/m<sup>3</sup> i przedział zmienności 470–26 000 Bq/m<sup>3</sup>. Największe ujęcie, zaopatrujące Białystok dostarcza wodę głębinową z utworów czwartorzędowych i jest zlokalizowane w Jurowcach koło Białegostoku. Przeprowadzono badania 14 próbek wody z tego ujęcia pochodzących z utworów aluwialnych występujących w dolinie rzeki Supraśl, z głębokości ok. 30 m. Uzyskano średnią koncentrację radonu równą 8400 Bq/m<sup>3</sup>, zakres zmienności 4500–10 880 Bq/m<sup>3</sup> oraz odchylenie standardowe 2727 Bq/m<sup>3</sup>. Zbadano 21 próbek wody pochodzących z ujęć powierzchniowych czerpiących wodę bezpośrednio z powierzchni rzek oraz wodę z ujęć infiltracyjnych. Takie rodzaje ujęć występują częściowo w Ostrołęce (rzeka Narew) oraz w Białymstoku (rzeka Supraśl). Ta woda zawiera najniższe poziomy Rn-222. Stwierdzono średnią koncentrację 3252 Bq/m<sup>3</sup> i przedział zmienności 200–7700 Bq/m<sup>3</sup>. Trzeci rodzaj źródeł

wody stanowią kopane studnie prywatne, których głębokość nie przekracza zwykle 10 m. Są to studnie zaopatrujące najczęściej gospodarstwa wiejskie oraz zabudowania peryferyjne miast. Zbadano 28 próbek wody z tych źródeł. Uzyskano średnią 6898 Bq/m<sup>3</sup> oraz przedział zmienności 1700–32 000 Bq/m<sup>3</sup>. Warto podkreślić, że ta woda jest pobierana bezpośrednio ze studni i nie podlega procesom uzdatniania. Natomiast woda z podziemnych ujęć głębinowych podlega w całości uzdatnianiu i pomimo tego wykazuje najwyższe koncentracje radonu. Te dane nie potwierdzają niektórych doniesień wykazujących, że procesy uzdatniania wody mogą powodować redukcję stężenia Rn-222 (Abulfaraj & Mamoon, 1995; Abdulrahman, 1996).

Wcześniejsze polskie badania zawartości radonu w wodzie odnosiły się do źródeł występujących w uzdrowiskach stosujących balneologię i wykazały, że można oczekiwać w nich koncentracji radonu od 0,1 do 1,1 MBq/m<sup>3</sup> (Chruścielewski i in., 1983). Te wody są wybitnie radonośnymi i były stosowane do kąpieli i inhalacji, lecz nie miały wpływu na poziomy Rn-222 w warunkach mieszkalnych.

Pomiary stężenia radonu w wodach głębinowych odwiertów geologicznych wykonane w Polsce w latach 1979–1989 dały wyniki zawarte w granicach 70–58 000 Bq/m<sup>3</sup> (Wardaszko & Grzybowska, 1993). Wstępne wyniki aktualnie prowadzonych badań przez Państwowy Zakład Higieny wykazują, że np. ujęcia wody oligoceńskiej zaopatrujące Warszawę wykazują koncentracje w granicach 470–12 436 Bq/m<sup>3</sup> (Pachocki, 1995). Tak więc nasze wyniki, uzyskane na obszarze ZPP, nie odbiegają od nielicznych rezultatów badań wykonanych wcześniej na terenie Polski.

Uzyskane przez nas rezultaty badań są typowe w stosunku do rezultatów światowych. W raporcie ONZ z 1993 r. (*United Nations Scientific...*, 1993) oszacowano średnie stężenie radonu w wodzie, ważone na różne źródła pochodzenia wody, na 10 000 Bq/m<sup>3</sup>. W raporcie rozróżnia się trzy podstawowe źródła zaopatrzenia w wodę: powierzchniowe, głębinowe i studienne dla których przeciętne stężenie radonu szacuje się odpowiednio na: 1000, 10 000, 100 000 Bq/m<sup>3</sup>. W naszych badaniach te stężenia wynoszą odpowiednio: 3252, 8048 i 6898 Bq/m<sup>3</sup>. Należy jednak podkreślić, że takie kraje

jak Finlandia i Szwecja mają średnią ważoną ponad 30 000 Bq/m<sup>3</sup> a wody studzienne Finlandii dawały medianę stężenia radonu 210 000 Bq/m<sup>3</sup> (*United Nations Scientific...*, 1993).

W Polsce brak jest ustaleń dotyczących dopuszczalnych wartości granicznych radonu w wodzie. Biorąc pod uwagę aspekty radiologiczne można się odnieść do maksymalnego poziomu stężeń Rn-222 w wodzie rekomendowanemu przez Amerykańską Agencję Ochrony Środowiska (*US Environmental Protection Agency*) wynoszącemu 11 kBq/m<sup>3</sup> (300 pCi/l).

W 21 próbkach wody z terenu północno-wschodniej Polski stwierdzono poziom Rn-222 przekraczający tę wartość. To przekroczenie wystąpiło w 20% próbek pochodzących ze źródeł głębinowych i 14% próbek wody ze studni prywatnych. Wszystkie próbki wody ze źródeł powierzchniowych i infiltracyjnych zawierały radon poniżej 11 kBq/m<sup>3</sup>.

Rozważania teoretyczne oraz badania doświadczalne analizowane w Raporcie ONZ (*United Nations Scientific...*, 1993) wykazują, że można przyjąć założenie iż 10 000 Bq/m<sup>3</sup> radonu w wodzie dostarczonej do budynku powoduje wzrost koncentracji radonu w powietrzu domowym o 1 Bq/m<sup>3</sup>. Tak więc radon obecny w wodzie wodociągowej miast północno-wschodniej Polski może podwyższać stwierdzone wcześniej poziomy Rn-222 w budynkach Biłogostoku (Zalewski i in., 1996c) o ok. 20%.

Dalsze badania tej problematyki wydają się istotne bowiem, jak wykazały nasze pomiary, najwyższe stwierdzone koncentracje radonu w wodzie (32 kBq/m<sup>3</sup>) mogą powodować podwojenie przeciętnego stężenia radonu w budynkach mieszkalnych.

## L i t e r a t u r a

ABDULRAHMAN I. ALABDULA' ALY. 1996 — Health Physics, 70: 103–108.

ABDULFARAJ, W.H. & MAMOON A.M. 1995 — Applied Radiation and Isotopes, 46: 609–610.

CHRUŚCIELEWSKI W., DOMAŃSKI T. & ORZECZOWSKI W. 1983 — Health Physics, 45: 421–424.

ENNEMOSER O., AMBACH W. & ANER T. 1994 — Health Physics, 67: 151–154.

NERO A.V. & NAZAROFF W.W. 1984 — Radiation Protection Dosimetry, 7: 23–28.

PACHOCKI U. 1995 — Ekologia i Zdrowie. Radon w środowisku.

PICO-RAD. Radon Analysis Software, Operational Manual Niton Corporation, Pacard Canberra Company, 1993.

Radon Analysis Program Version 5.9 Copyright (C), NITON Inc., 1993.

United Nations Scientific Committee on the Effects on Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation. New York, United Nations, 1977.

United Nations Scientific Committee on the Effects on Atomic Radiation. Source and effects of ionizing radiation. New York, United Nations, 1993.

WARDASZKO T. & GRZYBOWSKA D. 1993 — Nukleonika, 38: 103–109.

ZALEWSKI, M. TOMCZAK M., KAPAŁA J. & MNICH Z. 1996a — Arch. Ochrony Środowiska, 1/2:159–169.

ZALEWSKI M., TOMCZAK M., KAPAŁA J. & MNICH Z. 1996b — Ibidem, 1/2: 171–180.

ZALEWSKI M., KARPIŃSKA M., MNICH Z. & KAPAŁA J. 1996c — Prz. Geol., 44: 570–573.

Założenia Polityki Regionalnej Obszaru Funkcjonalnego ZPP. Rada Programowo-Naukowa Porozumienia ZPP, Białystok–Łomża–Olsztyn–Ostrołęka–Suwałki, 1991.

Zielone Płuca Polski w liczbach, Wojewódzki Urząd Statystyczny w Białymstoku, 1994.