

MAREK ZALEWSKI, MARIA KARPIŃSKA, ZENON MNICH, JACEK KAPAŁA

POMIARY STĘŻENIA RADONU W BUDYNKACH PRZEDSZKOLI I ŻŁOBKÓW W REGIONIE PÓŁNOCNO-WSCHODNIEJ POLSKI

THE MEASUREMENTS OF RADON IN BUILDINGS OF KINDERGARTENS AND INFANTS' NURSERY IN THE EAST-NORD POLAND

Zakład Biofizyki, Akademia Medyczna
15-230 Białystok, ul. Mickiewicza 2A
Kierownik: dr hab. A. Kostrzevska

Zmierzono stężenia radonu Rn-222 w 58 przedszkolach i żłobkach. W żadnym z budynków nie stwierdzono przekroczenia obowiązujących limitów.

WSTĘP

Radon Rn-222 jest gazowym produktem rozpadu radu Ra-226 pochodzącego z serii uranowej. Narażenie na radon dotyczy przede wszystkim górników pracujących pod ziemią, ekspozowanych na radon gromadzący się w wyrobiskach górniczych. Pomiar stężenia radonu w powietrzu mieszkań przeprowadzone w latach 70-tych dowiodły, że można się spodziewać podwyższonych ekspozycji na radon również w warunkach domowych [14].

Koncentracja Rn-222 w powietrzu wewnątrz budynków zależy głównie od zawartości radonu w podłożu geologicznym, przepuszczalności ziemi na której stoi dom oraz możliwości przejścia radonu z powietrza glebowego do przestrzeni wewnętrznej budynku [6, 12]. Przemieszczanie radonu z ziemi do budynku może odbywać się poprzez szczeliny w fundamentach i stropach oraz otwory na instalację wodociągową czy elektryczną [4]. To przemieszczanie jest powodowane nieznacznymi ujemnymi ciśnieniami, które istnieją między wewnątrzdomową przestrzenią a otaczającą atmosferą. Są one wynikiem ogrzewania wnętrza domów (tzw. efekt kominowy) oraz zewnętrznym wiatrem, który w zależności od prędkości i kształtu budynków tworzy podciśnienie wewnątrz mieszkań [9].

Drugim istotnym źródłem radonu w atmosferze domów może być zwiększona zawartość radu w materiałach budowlanych. Ma to często miejsce w przypadku stosowania w budownictwie produktów odpadowych przemysłu hutniczego, energetycznego i chemicznego w postaci żużli, pyłów dymnicowych czy fosfogipsów [13]. Poziom radonu może się zmieniać w zależności od warunków atmosferycznych. Latem stwierdza się kilkukrotnie niższe stężenia wewnątrz budynków niż zimą [1, 18]. Wielkość czynników wpływających na stężenie radonu w budynkach powoduje znaczne różnice w koncentracji Rn-222 w poszczególnych domach, a ocena narażenia radiologicznego

ludności wymaga bezpośrednich pomiarów radonowych w pomieszczeniach mieszkalnych.

W Polsce nie został jeszcze wykonany krajowy przegląd radonowy, dając pełną informację o narażeniu ludności na radon. Nieliczne badania wskazują, że na terenie Polski najwyższe koncentracje Rn-222 notuje się na górzystych obszarach południowej Polski [10]. Średnia dla kraju oszacowana na podstawie 345 pomiarów wykonanych w siedmiu regionach Polski, głównie w części wschodniej, wynosiła 37.7 Bq/m^3 [2]. W województwie białostockim stwierdzono średnie stężenie radonu w 139 budynkach równe 36.3 Bq/m^3 [19]. Szczególnie ważna staje się ocena narażenia na radon dzieci, które są bardziej wrażliwe i otrzymują dawki 2 razy większe niż dorośli mieszkający w tych samych warunkach [5, 15]. Stąd celowe jest podejmowanie badań stężenia radonu w takich budynkach użyteczności publicznej jak przedszkola czy żłobki.

Celem badań było wstępne oszacowanie stężeń radonu w budynkach przedszkoli w regionie północno-wschodniej Polski, porównanie wyników badań z obowiązującymi normami oraz ewentualne wykrycie budynków z podwyższonym poziomem Rn-222, wymagających interwencji.

METODYKA POMIARÓW

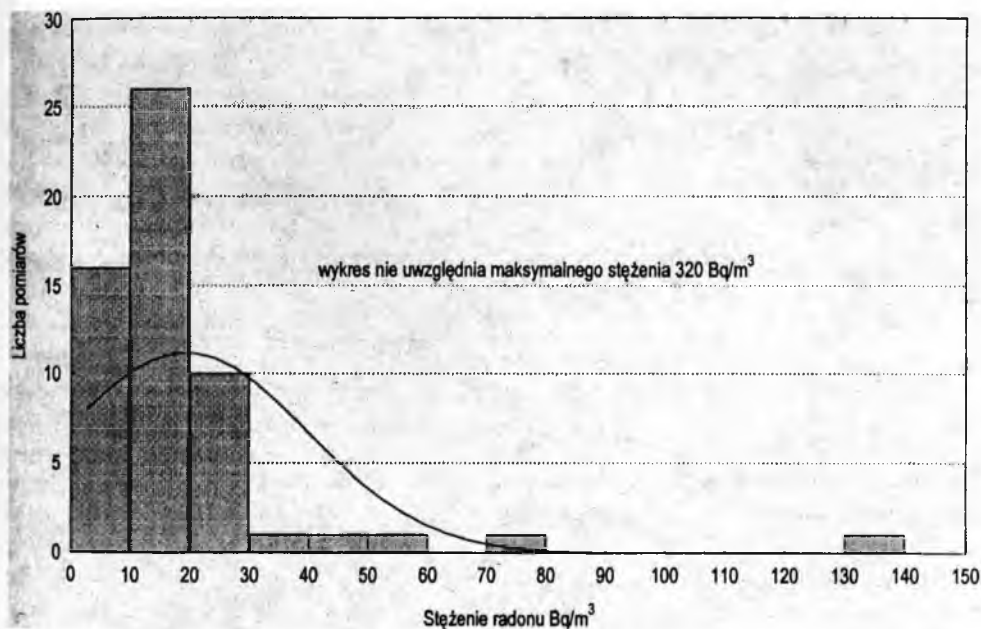
W naszych badaniach zastosowano środowiskowe detektory pasywne typu PICO-RAD, składające się z plastikowej fiolki z porowatym pojemnikiem zawierającym złożę węgla aktywnego z substancją pochłaniającą wodę. Zapoczątkowanie ekspozycji wymagało otwarcia fiolki w miejscu pomiaru co umożliwiło dyfuzję powietrza wysyczonego radonem do węgla zawartego w pojemniku. Stosowano optymalny czas ekspozycji na radon zalecany w tej metodzie, wynoszący 48 godzin [11]. Po zakończeniu dwudniowej ekspozycji detektory były dostarczane do laboratorium Zakładu Biofizyki gdzie zalewano je scyntylatorem i po ośmiu godzinach, potrzebnych do przedyfundowania radonu z węgla do scyntylatora, dokonywano odczytu za pomocą automatycznego licznika ciekło-scyntylacyjnego TRI-CARB. Ta metoda pomiarowa była weryfikowana w pomiarach interkalibracyjnych oraz porównywana z innymi metodami [7, 3]. Okazała się najkorzystniejszą do środowiskowych badań nad emanacjami radonowymi. Błąd metody wykorzystującej detektory PICO-RAD, oszacowany w szerokim zakresie stężenia radonu, temperatury i wilgotności, jest mniejszy od 10% [11].

Badaniami objęto budynki użyteczności publicznej typu przedszkola i żłobki zlokalizowane na terenie sześciu województw Polski północno-wschodniej tj. białostockiego, ciechanowskiego, łomżyńskiego, olsztyńskiego, ostrołęckiego i suwalskiego. Te badania miały charakter jednorazowego, krótkotrwałego screeningu w wielu przedszkolach jednocześnie, umożliwiającego bezpośredni pomiar koncentracji radonu w powietrzu budynków. Ważnym problemem było zapewnienie dystrybucji detektorów do punktów pomiarowych i ich terminowy powrót do laboratorium Zakładu Biofizyki. Ten problem rozwiązano przy pomocy przesyłek pocztowych. Podczas planowania badań wybrano losowo numery telefonów przedszkoli i żłobków. następnie, drogą telefoniczną, uzyskano zgodę kierownictwa tych placówek na wykonanie pomiarów. Detektory zostały wysłane do wytypowanych przedszkoli i żłobków w dwóch seriach, w kwietniu i czerwcu 1996 roku, wraz z ankietą dotyczącą warunków ekspozycji i rodzaju budynku oraz instrukcją postępowania. Ta procedura spowodowała, że 85% detektorów powróciło do odczytu w przewidzianym terminie nie przekraczającym 3 dni po ekspozycji oraz w stanie umożliwiającym odczyt.

WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

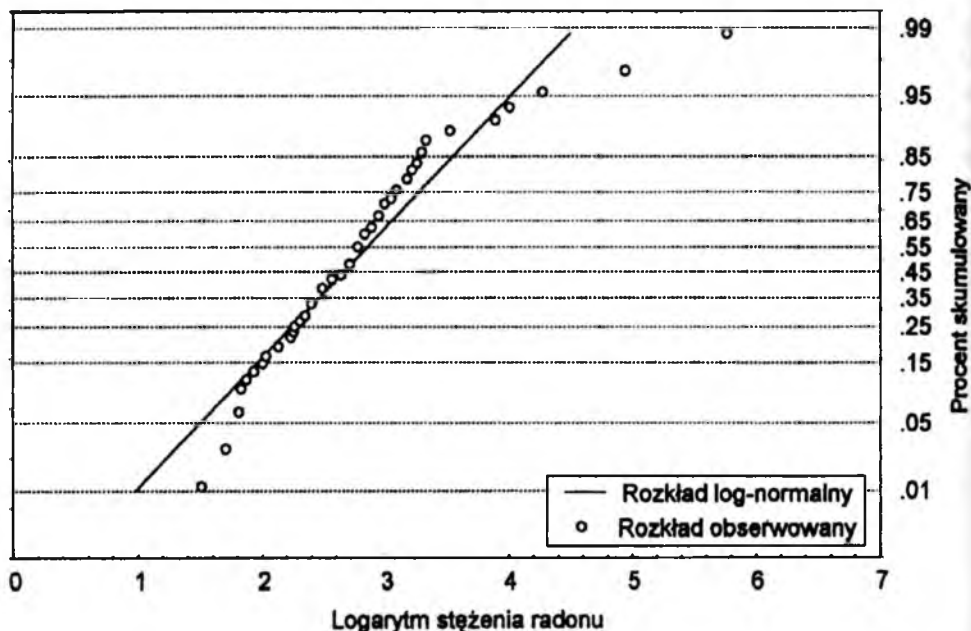
Przeprowadzono pomiary w 58 budynkach, z których 47 stanowiło siedzibę przedszkoli a 11 siedzibę żłobków. Stężenie radonu zmieniało się w zakresie $4,5 - 320 \text{ Bq/m}^3$

ze średnią arytmetyczną $24,5 \text{ Bq/m}^3$, średnią geometryczną $15,7 \text{ Bq/m}^3$ oraz medianą 15 Bq/m^3 . Rozkład stężenia radonu we wszystkich punktach pomiarowych przedstawiono na ryc. 1. Asymetria tego wykresu oraz zgodność średniej geometrycznej i mediany sugeruje, że stwierdzony rozkład stężenia radonu ma charakter logarytmiczno-normalny ryc. 2.



Ryc. 1. Rozkład stężenia radonu w badanych budynkach
The distribution of the concentration Rn-222 in the investigated buildings

Uzyskane rezultaty można odnieść do aktualnie obowiązujących w Polsce norm prawnych ograniczających narażenie na radon i jego pochodzenie. Ostatnia nowelizacja tych przepisów, dokonana w lipcu 1995 roku, prowadziła ograniczenia odnoszące się do średniego rocznego stężenia Rn-222 w pomieszczeniach przeznaczonych na stały pobyt ludzi. Wprowadzono graniczną wartość 400 Bq/m^3 w budynkach istniejących, oddanych do użytku przed 1 stycznia 1998 roku i 200 Bq/m^3 w budynkach oddanych po tej dacie [8]. Koncentracja radonu we wszystkich budynkach, w których wykonano pomiary nie przekraczała dopuszczalnych limitów. Maksymalne stężenie radonu, wynoszące 320 Bq/m^3 wystąpiło w przedszkolu mieszczącym się w 16-letnim budynku na terenie Suwałk. Jedno z pomieszczeń przedszkolnych mieściło się w piwnicy, gdzie stwierdzono stężenie Rn-222 równe 49 Bq/m^3 . Pozostałe badania wykonano w pomieszczeniach zlokalizowanych na parterze gdzie średnia wynosiła 24 Bq/m^3 . Spośród przebadanych budynków 3 były wykonane z drewna (średnia arytmetyczna Bq/m^3), 33 z cegły (średnia arytmetyczna $23,7 \text{ Bq/m}^3$) a 22 z wielkiej płyty, gdzie zmierzono najwyższą wartość stężenia radonu (320 Bq/m^3) co podniosło średnią arytmetyczną do $26,5 \text{ Bq/m}^3$. Pominięcie maksymalnego wyniku obniża średnią arytmetyczną w budyn-



Ryc. 2. Log-normalna dystrybucja radonu w badanych budynkach
Log-normal distribution of the Rn-222 in the investigated buildings

kach z wielkiej płyty do $12,5 \text{ Bq/m}^3$. Przedstawione wyniki pomiarów bardzo dobrze zgadzają się z innymi badaniami przeprowadzonymi techniką detektorów alfa w przedszkolach na terenie Lublina. W pomieszczeniach lubelskich przedszkoli, zlokalizowanych na parterze budynków, uzyskano średnie stężenie Rn-222 równe 25 Bq/m^3 [17].

Zróznicowanie geograficzne uzyskanych rezultatów przedstawia tab. 1 zawierająca dane dotyczące poszczególnych województw. Najwyższe średnie stężenie radonu uzyskano w budynkach zlokalizowanych w województwach suwalskim i olsztyńskim (32 Bq/m^3), najniższe w ciechanowskim (10 Bq/m^3). Mediana wyników uzyskanych w poszczególnych województwach zmieniła się od 10 Bq/m^3 dla ciechanowskiego, do 19 Bq/m^3 dla łomżyńskiego.

Tabela I. Stężenie radonu w budynkach przedszkoli i żłobków w poszczególnych województwach.

Województwo	Liczba pomiarów	Średnia arytmetyczna	Mediana	Wartość maksymalna	Wartość minimalna
białostockie	7	16	16	24	10
ciechanowskie	5	10	11	13	6
łomżyńskie	7	23	19	55	6
olsztyńskie	9	32	17	140	5.5
ostrołęckie	8	13	11.5	20	6.5
suwalskie	22	32	15.5	320	4.5

Koncentrację radonu stwierdzoną w przedszkolach i żłobkach północno-wschodniej Polski trzeba ocenić jako korzystną. Średnie stężenie ($24,5 \text{ Bq/m}^3$) jest niższe od wartości $37,7 \text{ Bq/m}^3$ oszacowanej dla Polski [2]. Jest równocześnie niższe od wartości $36,3 \text{ Bq/m}^3$ będącej średnią arytmetyczną uzyskaną ze 139 pomiarów w typowych budynkach mieszkalnych z województwa białostockiego [19]. Te średnie poziomy radonu są niższe od wartości 40 Bq/m^3 oszacowanej w Raporcie ONZ jako średnia ważona dla świata [16]. Tylko pięć wyników uzyskanych w badanych przedszkolach przekracza tą wartość.

Wyniki niniejszych badań nie pozwalają na dokładne oszacowanie narażenia radiologicznego dzieci przebywających w przedszkolach z powodu małej liczby przebadanych budynków oraz dwudniowej ekspozycji nie odzwierciedlającej dobrze średniego rocznego narażenia. Pozwala jednak wstępnie oszacować poziomy radonu w tak ważnych budynkach użyteczności publicznej, ocenić je korzystnie w stosunku do innych budynków mieszkalnych oraz stwierdzić, że w żadnym przypadku nie nastąpiło przekroczenie aktualnie obowiązujących norm.

WNIOSKI

1. Średnie stężenie radonu ^{222}Rn w 58 budynkach przedszkoli i żłobków wynosiło $24,5 \text{ Bq/m}^3$.
2. W żadnym z badanych budynków nie stwierdzono przekroczenia aktualnie obowiązujących wartości granicznych stężenia radonu.

M. Zalewski, M. Karpińska, Z. Mnich, J. Kapała

THE MEASUREMENTS OF RADON CONCENTRATION IN BUILDINGS OF KINDERGARTENS AND INFANTS' NURSERY IN THE EAST-NORTH POLAND

Summary

The measurements of radon concentration in 58 buildings of day nursery schools and kindergartens were performed in the six province of the East North Poland. The measurements of indoor radon were performed by means of a charcoal canister (Pico-Rad). The concentration ranged from $4,5$ to 320 Bq/m^3 and have arithmetic average $24,5 \text{ Bq/m}^3$, geometric average $15,7 \text{ Bq/m}^3$, median 15 Bq/m^3 . The highest average values were observed in Suwałki Province and Olsztyn Province. The results of all these measurements do not exceed the limit of the Polish law.

PIŚMIENNICTWO

1. Arvela H., Winqvist K.: A model for indoor radon variations. *Environ. Int.* 1989, 15, 239.
2. Biernacka M., Henschke J., Koczyński A., Mamont-Cieśla K.: Preliminary measurements of the natural ionization radiation in three types of buildings in Poland. *Pos. Fiz. Med.* 1991, 26(1-2), 55.
3. Gorzkowski 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 ciekłej scyntylacji. *Roczn. PZH* 1995, 46(1).
4. Gunby J.A., Darby S.C., Miles J.C.H., Green B.R. and Cox D.R.: Factors affecting indoor radon concentrations in the United Kingdom. *Health Phys.* 1993, 64(1), 2.

5. International Commission for Radiation Protection. Recommendation of the Internal Commission on Radiological Protection. Oxford: Pergamon Press; ICRP Publication 26, 1977.
6. *Lively R.S., Ney E.P.*: Surface radioactivity resulting from the deposition of Rn222 daughter products. *Health Phys.* 1987, 52(4), 411.
7. *Mamont-Cieśla K., Chatupnik S., Krawczyk M., Pachocki K., Zalewski M.*: Intercomparisons of radon measurement systems based on charcoal detectors and liquid scintillation counters used in Polish laboratories. Biannual Report 1994-95 CLOR Warsaw 1996.
8. *Monitor Polski* 35, 1995.
9. National Council on Radiation Protection and Measurements. Control of radon in houses. NCRP. Raport Nr 103, 1989.
10. *Niewiadomski T., Waliński M.*: Radon jako społeczny problem zdrowotny. *Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna* 1995, 23, 3.
11. PICO-RAD. Radon Analysis PROGRAM Version 5.9 Copyright (C) NITON Fnc. 1993.
12. *Reimer G.M., Gunderson L.C.S.*: A direct correlation among indoor Rn, soil pas Rn and geology in the Reading Prong near Boyertown. Pennsylvania, *Health Phys.* 1989, 57(1), 115.
13. *Roelofs L.M.M., Scholten L.C.*: The effect of aging, humidity, and fly-ash additive on the radon exhalation from concrete. *Health Phys.* 1994, 67(3), 266.
14. United Nations Scientific Committee on the Effects on Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation. New York. United Nations. 1993.
15. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. New York. United Nations UNSCEAR Publication E.88.IX.5, 1988.
16. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation. New York. United Nations, 1993.
17. *Vaupotic J., Szymula M., Solecki J., Chibowski S., Kobal J.*: Preliminary Indoor Radon Investigations in Lublin Region, Poland *Health Phys.* 64(4), 420, 1993.
18. *Wilkening M., Wicke A.*: Seasonal variation of indoor Rn at a location in the southwestern United States. *Health Phys.* 1986, 51, 427.
19. *Zalewski M., Karpińska M., Mnich Z., Kapala J.*: Emanacje radonu do budynków mieszkalnych województwa białostockiego. *Prz. Geol.* 1996, 44(6), 570.

Otrzymano: 1997.11.28