

KRZYSZTOF A. PACHOCKI, BOHDAN GORZKOWSKI, ZDZISŁAW RÓŻYCKI,  
ELŻBIETA WILEJCZYK<sup>1</sup>, JACEK SMOTER<sup>1</sup>

## RADON <sup>222</sup>Rn W BUDYNKACH MIESZKALNYCH ŚWIERADOWA ZDROJU I CZERNIAWY ZDROJU

INDOOR RADON <sup>222</sup>Rn OF ŚWIERADÓW ZDRÓJ AND CZERNIAWA ZDRÓJ

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

1) Oddział Ochrony Radiologicznej,  
Oddział Zamiejscowy w Jeleniej Górze  
Wojewódzkiej Stacji Sanitarno-Epidemiologiczna we Wrocławiu  
58-506 Jelenia Góra, ul. Kasprowicza 17,  
Dyrektor: lek. med. Z. Bucki

*Oznaczano ilościowo stężenia radonu <sup>222</sup>Rn w powietrzu w budynkach mieszkalnych miejscowości uzdrowiskowych Świeradowa Zdroju i Czerniawy Zdroju. Radon oznaczano metodą ciekłej scyntytacji cząstek alfa. Oszacowano dawki promieniowania jonizującego otrzymywane przez osoby zamieszkujące te budynki.*

### WSTĘP

Oba uzdrowiska Świeradów Zdrój oraz Czerniawa Zdrój położone są na północnym stoku Gór Izerskich, w dolinie rzeki Kwisy.

Góry Izerskie mają zwartą monolityczną budowę, złożoną głównie z granitognejsów prekambryjskich. Przysłonięte są okrywą granitu karkonoskiego. Skały metamorficzne: granity i gnejsy charakteryzują się podwyższoną koncentracją pierwiastków uranowo-radowego szeregu promieniotwórczego. Radon-222 jest gazem szlachetnym, emitерem cząstek alfa, powstającym w warstwach geologicznych ze swego prekursora radu-226. Na terenie obu uzdrowisk występują źródła radonocenne.

Z licznych badań, przeprowadzonych od początku lat osiemdziesiątych, wynika, iż problem ekspozycji ludzi na radon w pomieszczeniach mieszkalnych ma ścisły związek z geologią podłoża, na którym posadowiony został budynek. Powietrze z radonem obecne w glebach lub skałach wnika do budynku poprzez szczeliny w fundamentach, w ścianach, w spoinach pomiędzy ścianami, przy instalacjach wodociągowych, kanalizacyjnych, elektrycznych, itp. Dalej w obrębie budynku, zwłaszcza w naszych polskich warunkach, radon przemieszcza się łatwo wykorzystując kanały wodno-kanalizacyjne, a w budynkach z wielkiej płyty szczeliny między płytami. Trzeba pamiętać, że wnikanie

radonu do budynku ułatwia różnica ciśnień powietrza pomiędzy budynkiem a podłożem powodując, że wewnątrz budynku działa, zwłaszcza zimą, jak pompa ssąca. Są to tzw. właściwości „kominowe”, spowodowane występującą w budynku różnicą ciśnień, wznoszącą powietrze z kondygnacji niższych na wyższe, a więc wysysającą radon z gruntu do wnętrza domu [7]. Najczęściej na wyższych kondygnacjach stężenie radonu w powietrzu jest niższe niż na kondygnacjach przyziemnych. Należy podkreślić, że szczelna warstwa betonu pod podłogą może być barierą uniemożliwiającą dyfuzję Rn-222 z podłoża do budynku. Stężenie radonu wewnątrz budynków zależy również od rodzaju podpiwniczenia, poziomu kondygnacji, przyzwyczajęń i zachowania się mieszkańców (wietrzenia, palenia tytoniu, itp.). Czynnikiem wpływającym w sposób zasadniczy na stężenie radonu w budynkach jest stopień szczelności pomieszczeń oraz wentylacja pomieszczeń (grawitacyjna lub wymuszona). Również warunki pogodowe: temperatura, szybkość i kierunek wiatru, itp. mają wyraźny wpływ na stężenie radonu w budynkach [2].

Zgodnie z zarządzeniem prezesa Państwowej Agencji Atomistyki z dnia 7 lipca 1995 r. średnie roczne stężenia radonu-222 w pomieszczeniach mieszkalnych przeznaczonych na stały pobyt ludzi nie mogą przekraczać:

- a)  $400 \text{ Bq/m}^3$  – w budynkach istniejących i oddanych do użytku przed 1 stycznia 1998 r.,
- b)  $200 \text{ Bq/m}^3$  – w budynkach oddanych do użytku po 1 stycznia 1998 r.

W Polsce badania stężenia radonu w mieszkaniach dotychczas prowadzone były na bardzo ograniczoną skalę, w sposób wyrwykowy, a przede wszystkim nie objęty programem kompleksowym [4, 8, 12, 17, 19]. Celem naszych badań była ocena narażenia ludności Świeradowa Zdroju oraz Czerniawy Zdroju na radon i jego produkty rozpadu. We wcześniejszej publikacji oceniono obciążenie tej ludności z tytułu spożywania wody zawierającej radon [10]. Niniejsza praca przedstawia wyniki pomiarów stężenia radonu w powietrzu na poszczególnych kondygnacjach budynków mieszkalnych. Przeanalizowano także relacje pomiędzy stężeniem radonu w piwnicy oraz na parterze nad piwnicą. Skutkiem wdychania powietrza zawierającego radon i jego pochodne jest niejednorodne napromieniowanie układu oddechowego [1, 5, 6, 16]. Przyjmując średnie stężenia radonu wewnątrz pomieszczeń mieszkalnych obliczono średnie roczne dawki skuteczne (efektywne) otrzymywane przez osoby przebywające w tych pomieszczeniach.

## MATERIAŁ I METODY

Badania stężenia radonu w powietrzu budynków mieszkalnych wykonano przy użyciu detektorów węglowych *Pico-Rad*. Detektor po otwarciu umieszczany był w kontrolowanym pomieszczeniu na okres od 24 do 96 godzin. Wybór czasu ekspozycji był zależny od poziomu stężenia radonu oraz od wilgotności powietrza. Po zakończeniu ekspozycji detektor zamykano i przekazywano w ciągu jednej doby do laboratorium Zakładu Ochrony Radiologicznej i Radiobiologii PZH. Następnie na dno naczynka *Pico-Rad* odmierzano 10 ml roztworu scyntylacyjnego *Insta-Fluor*. Głównym rozpuszczalnikiem w tym roztworze jest ksylen. Radon w ciągu 8 godzin całkowicie desorbuje z węgla i przechodzi do roztworu scyntylacyjnego. Aktywność radonu mierzono w liczniku *Packard Tri-Carb 1900TR*. Czułość zastosowanej metody pozwala na pomiar stężenia radonu  $^{222}\text{Rn}$  w powietrzu atmosferycznym poniżej  $7,4 \text{ Bq/m}^3$  [3,11]. Pomiary przeprowadzono w 1999 roku, w 183 budynkach mieszkalnych. Po 3–5 oznaczeń stężenia radonu w każdym mieszkaniu: w piwnicy oraz na parterze bezpośrednio nad piwnicą (w pokoju, sypialni, kuchni,

łazience) oraz ewentualnie w pomieszczeniach na wyższych kondygnacjach. W miejscach gdzie najczęściej przebywają domownicy. Zbierano również, w specjalnie opracowanych kwestionariuszach dane o budynku, sposobie jego ogrzewania i wentylacji, a także dane o przebytych chorobach przez domowników.

## WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Przeprowadzono 789 pomiarów radonu wewnątrz budynków mieszkalnych w Świeradowie Zdroju oraz Czerniawie Zdroju. Badaniami objęto typowe budynki tego regionu. W większości przypadków były to domki jednorodzinne pochodzące z okresu przedwojennego. Różniły się one wiekiem, rodzajem użytych materiałów budowlanych (w małym stopniu) oraz sposobem wykończenia ścian. Większość z nich była podpiwniczona. Stosowano ogrzewanie piecowe z wykorzystaniem węgla kamiennego i koksu. Sporadycznie stosowano ogrzewanie centralne (kaloryfery), bardzo rzadko elektryczne.

Wykonanie pomiarów było możliwe dzięki pomocy pracowników Oddziału Ochrony Radiologicznej Stacji Sanitarно-Epidemiologicznej w Jeleniej Górze. Współpracowali oni przy dystrybucji detektorów radonowych, informowali mieszkańców o właściwych warunkach pomiaru oraz pomagali w zbieraniu ankiety zawierającej potrzebne dane. Detektory były ekspozowane na radon w trzech seriach. Pomimo różnych pór roku przy wykonywaniu wszystkich serii pomiarowych panowały zbliżone warunki pogodowe. Niestety, ze względu na liczebność serii pomiarowych i założony cel przeprowadzanych pomiarów: objęcia pomiarami jak największej liczby domów (a nie kilkakrotne powtarzanie pomiaru w tych samych miejscach) i ewentualne wykrycie budynków z podwyższonym poziomem stężenia radonu-222, przeprowadzone pomiary nie pozwalają na dokładne prześledzenie sezonowych zmian stężenia radonu. Z analizy piśmiennictwa dotyczącego tych zagadnień wynika, iż wyniki pomiarów wiosennych i jesiennych są najbliższe średniej rocznej koncentracji radonu  $\text{Rn-222}$  wewnątrz budynku. W tych to porach roku przeprowadzono większość omawianych pomiarów w Świeradowie Zdroju oraz Czerniawie Zdroju.

Zmierzony zakres stężeń radonu zawierał się między  $14,8 \text{ Bq/m}^3$  a  $5\,723,9 \text{ Bq/m}^3$ , ze średnią arytmetyczną wynoszącą  $420,4 \text{ Bq/m}^3$ , średnią geometryczną  $159,7 \text{ Bq/m}^3$  oraz medianą  $144,3 \text{ Bq/m}^3$  dla wszystkich pomieszczeń oraz ze średnią arytmetyczną  $193,5 \text{ Bq/m}^3$  bez uwzględniania piwnic, tj. dla sytuacji najlepiej odzwierciedlającej rzeczywiste ryzyko dla domowników (Tabela I). To, że wartość mediany oraz wartość średniej geometrycznej niewiele się różnią sugeruje, iż pomierzony rozkład stężenia radonu w budynkach można opisywać (przybliżać) rozkładem lognormalnym (Ryc. 2 i 3).

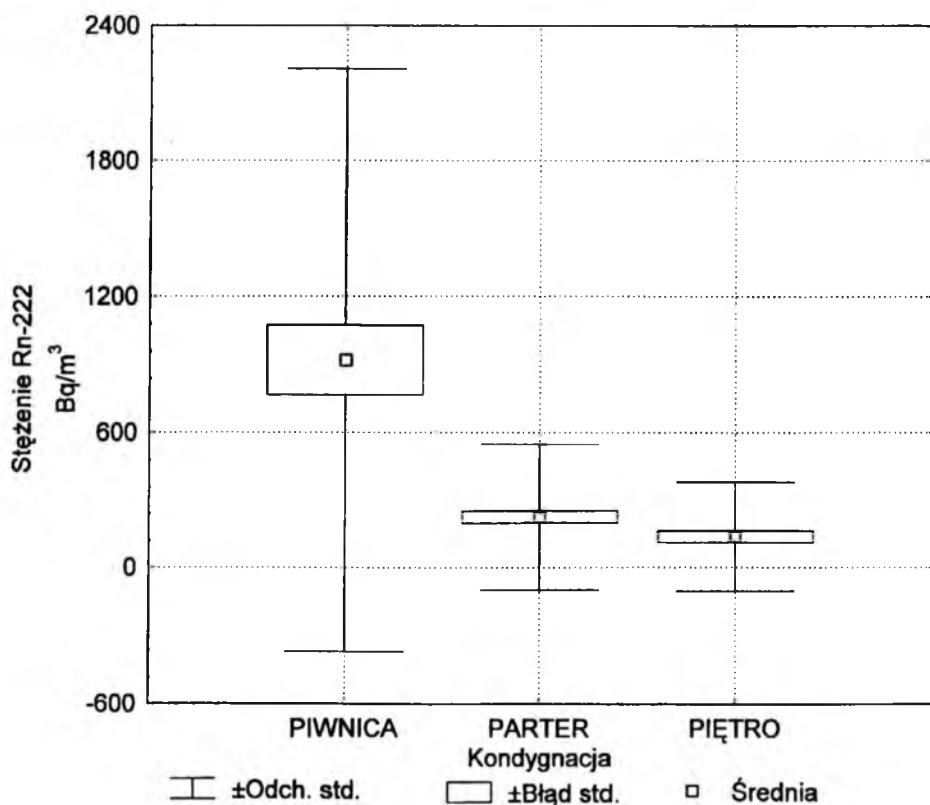
Otrzymano podobne wartości stężenia radonu dla budynków ze Świeradowa Zdroju jak i z Czerniawy Zdroju.

W ok. 23 % pomieszczeń mieszkalnych poziom radonu był wyższy niż przyjęty limit  $400 \text{ Bq/m}^3$ . W 21 piwnicach, tj. w ok. 23,5%, w których zostały wykonane pomiary stwierdzono poziom stężenia radonu powyżej  $1000 \text{ Bq/m}^3$ . Najwyższe stężenia radonu obserwowano w piwnicy – średnia  $919,9 \text{ Bq/m}^3$  ( $103,6 - 5\,723,9 \text{ Bq/m}^3$ ). Niższe wartości zaobserwowano w pomieszczeniach na parterze –  $225,2 \text{ Bq/m}^3$  ( $14,8 - 2837,9 \text{ Bq/m}^3$ ), na pierwszym i na wyższych piętrach –  $137,6 \text{ Bq/m}^3$  ( $18,5 - 777,0 \text{ Bq/m}^3$ ). Stwierdzono więc wyraźny spadek średniego stężenia radonu  $\text{Rn-222}$  (przyjmując za

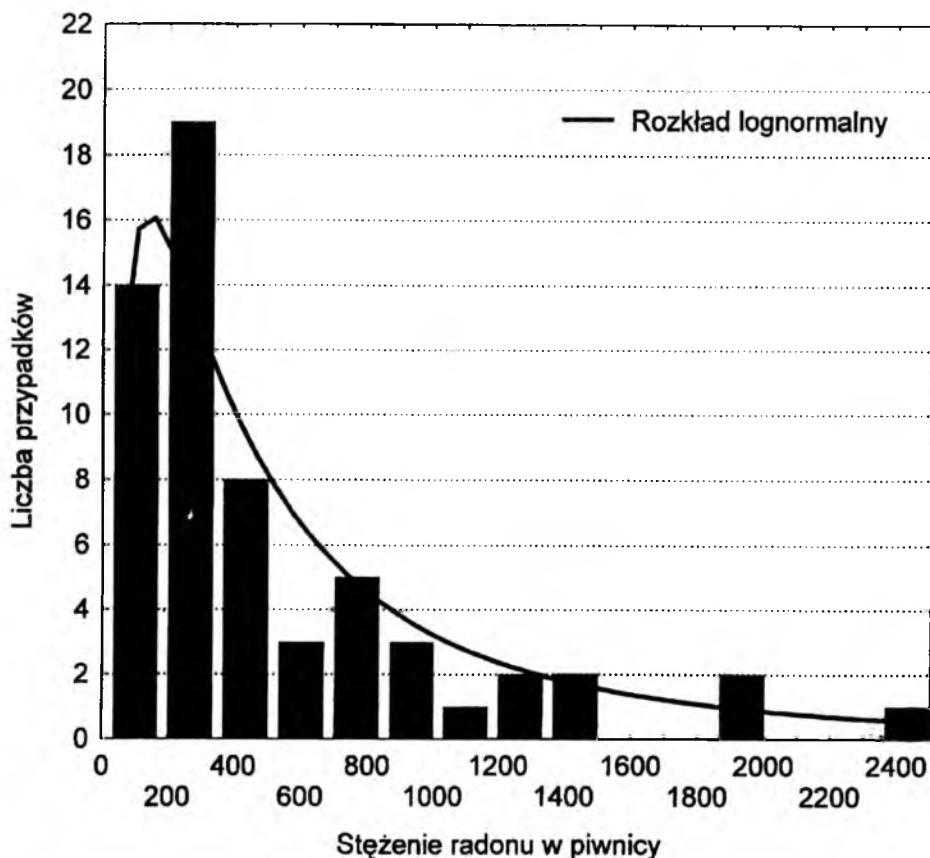
Tabela I. Stężenia radonu-222 w powietrzu pomieszczeń na poszczególnych kondygnacjach budynku [Bq/m<sup>3</sup>]  
The indoor air radon-222 concentrations for different floors [Bq/m<sup>3</sup>]

MIEJSCOWOŚĆ	KONDYGNACJA			
	Piwnica	Parter		I Piętro i wyżej
	(91)*	Pokój (127)*	Kuchnia (57)*	Pomieszczenia (111)*
Świeradów Zdrój średnio	912,9	189,3	353,1	143,1
zakres	103,6–5723,9	22,2–1021,0	14,8–2837,9	14,8–1724,2
Czerniawa Zdrój średnio	981,1	195,2	209,4	65,1
zakres	159,2–2930,4	48,1–525,4	59,2–699,3	40,7–99,9
Razem średnio	919,9	190,6	306,5	137,6
zakres	103,6–5723,9	22,2–1021,0	14,8–2837,9	14,8–1724,2

\* liczba pomieszczeń



Ryc. 1. Średnie wartości stężenia radonu-222 na poszczególnych kondygnacjach budynku  
The mean indoor air radon-222 concentrations for different floors of the building

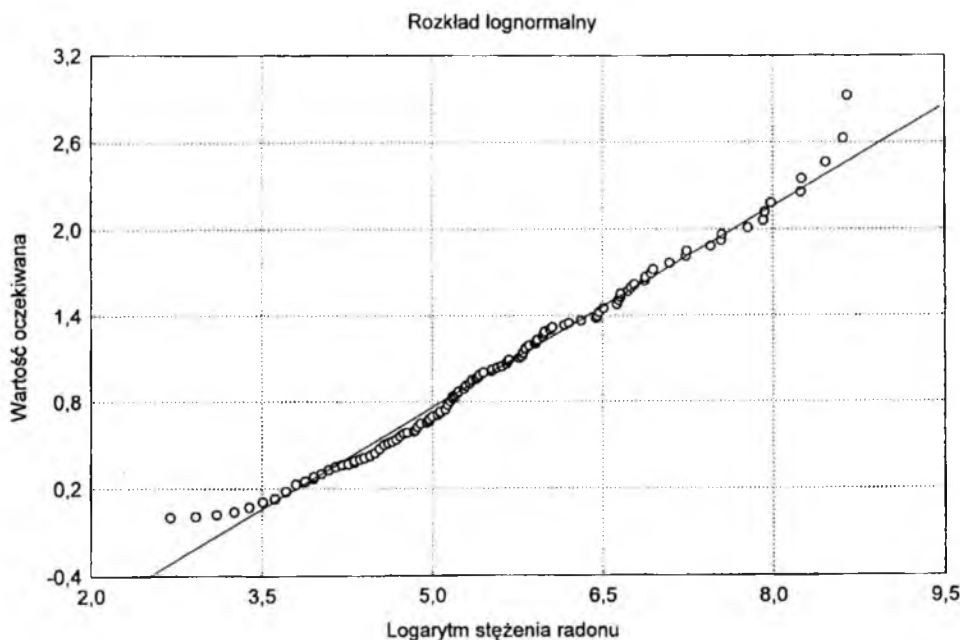


Ryc. 2. Lognormalny rozkład stężenia radonu  $^{222}\text{Rn}$  w pomieszczeniach mieszkalnych  
 Lognormal distribution of indoor air radon  $^{222}\text{Rn}$  concentrations in the rooms

poziom odniesienia średnie stężenie w piwnicy) do 25% na parterze, do 16,1% na pierwszych piętrach, i do 12,3 % na II i wyższych piętrach (Ryc. 1). Otrzymane wyniki potwierdzają, że głównym źródłem radonu w mieszkaniach jest jego emanacja z podłoga. Wskazują również na dość dobrą szczelności stropu nad piwnicą w badanych budynkach. Możliwość przechodzenia Rn-222 z poziomu piwnicy na wyższe kondygnacje charakteryzuje współczynnik przejścia zdefiniowany jako stosunek stężenia radonu na danej kondygnacji do stężenia w piwnicy. Dla pomieszczeń usytuowanych na parterze wyniósł on średnio ok. 0,25. We wcześniejszych badaniach dla budynków wschodniej Polski został on określony na poziomie 0,1, a dla budynków mieszkalnych z byłego województwa białostockiego na poziomie 0,36 [17, 19]. W piśmiennictwie światowym podawana wartość tego współczynnika waha się w granicach od 0,2 do 0,4.

Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic między stężeniami radonu na parterze w kuchni i w pokojach.

Stężenie radu-226 (prekursora radonu-222) w gruncie na terenach podgórzskich (Przedgórze Sudeckie) jest wyższe niż np. w gruncie makroregionu Wschodniego Nizu



Ryc. 3. Rozkład stężenia radonu-222 w piwnicach  
Distribution of indoor air radon-222 concentrations in the basements

Polskiego, co między innymi manifestuje się, obserwowanymi w niniejszych badaniach, także wyższymi stężeniami radonu w powietrzu w budynkach [4].

Roczne narażenie od promieniowania pochodnych radonu dla występującego w mieszkaniu jednostkowego stężenia radonu ( $1 \text{ Bq/m}^3$ ) wynosi  $1,56 \text{ mJ} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3}$ . Natomiast dawka skuteczna (efektywna) od jednostkowego narażenia od radonu i jego pochodnych (współczynnik konwersji) zgodnie z ICRP 65 wynosi:  $1 \text{ mJ} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3} = 1,1 \text{ mSv}$  [5]. Wielkości te zostały przyjęte przy założeniu współczynnika rocznego przebywania w domu na 0,8 oraz przy przyjętym współczynniku równowagi promieniotwórczej radonu i jego pochodnych  $F = 0,4$  [5,16]. Biorąc powyższe pod uwagę, można oszacować, iż średnia roczna dawka skuteczna (efektywna) promieniowania jonizującego otrzymywana przez ludność zamieszkującą w badanych budynkach Świeradowa Zdroju oraz Czerniawy Zdroju z tytułu ekspozycji na radon wynosi ok.  $3,3 \text{ mSv/rok}$ . Przyjmując, ze wcześniejszej publikacji, iż w uzdrowiskach tych oszacowana średnia roczna dawka skuteczna (efektywna) dla dorosłej osoby ze spożycia wody zawierającej radon wynosi ok.  $4,2 \text{ mSv/rok}$  można przyjąć, iż roczne obciążenie radiacyjne ludności Świeradowa Zdroju oraz Czerniawy Zdroju wynikające z naturalnego występowania w środowisku, na tych terenach, radonu wynosi ok.  $7,5 \text{ mSv/rok}$  [10].

#### WNIOSKI

1. W ok. 23% z badanych pomieszczeń stwierdzono przekroczenia aktualnie obowiązujących limitów dla stężenia radonu  $^{222}\text{Rn}$  w mieszkaniach.

2. Koncentracja radonu w pomieszczeniach na parterze była średnio czterokrotnie niższa od stężenia radonu w piwnicach.

3. Oszacowana średnia roczna dawka skuteczna od promieniowania radonu i jego pochodnych w powietrzu otrzymana przez ludzi zamieszkujących w badanych budynkach wynosiła 3,3 mSv/rok.

K.A. Pachocki, B. Gorzkowski, Z. Różycki, E. Wilejczyk, J. Smoter

## INDOOR RADON $^{222}\text{Rn}$ OF ŚWIERADÓW ZDRÓJ AND CZERNIAWA ZDRÓJ

### Summary

Świeradów Zdrój and Czerniawa Zdrój are located in Region Izera Block. A total of 789 radon passive dosimeters were distributed in 183 dwellings in these town Świeradów Zdrój and Czerniawa Zdrój to measure the indoor radon concentration in 1999. Three – five measurements were performed in each dwelling, one in the basement, and the others in the main bedroom, in the kitchen, in the bathroom, since these rooms are the most frequently occupied.

In addition, the occupants of each dwelling were requested to answer a questionnaire in which a number of questions about the building, ventilation habits and other related aspects were formulated.

A charcoal detectors (*Pico-Rad system*) were used in experiment. It is a passive short-term screening method of radon gas concentration measurements. The indoor radon level was found to range from 14,8 Bq/m<sup>3</sup> to 5 723,9 Bq/m<sup>3</sup>. The arithmetic mean overall indoor concentration was 420,4 Bq/m<sup>3</sup> and the geometric mean was 159,7 Bq/m<sup>3</sup>. The average concentration of indoor radon, which reflects the real risk for inhabitants, is 193,5 Bq/m<sup>3</sup>. The results hand a log-normal distribution.

In Poland, an action level of 400 Bq/m<sup>3</sup> was recommended for existing buildings and 200 Bq/m<sup>3</sup> for newly built (after 1.01.1998) buildings. In about 23 % rooms the level of Rn-222 were above the top limit of 400 Bq/m<sup>3</sup>. The highest average concentrations were present in a basement (mean 919,9 Bq/m<sup>3</sup>). A decrease of average activity were observed at the upper levels: at the ground floor (225,2 Bq/m<sup>3</sup>), at the first floor and at the higher floors (137,6 Bq/m<sup>3</sup>).

The above results indicate that radon emission from the ground provides the main contribution to the radon concentration measured in dwellings indoors in Świeradów Zdrój and Czerniawa Zdrój.

The effective dose to the population of the Świeradów Zdrój and Czerniawa Zdrój from indoor radon and its progeny can be derived from this data if we use an equilibrium factor of 0,4 between radon and its progeny and assuming an indoor occupation index of 0,8. Taking into account that a conversion coefficient of 1,1 mSv per mJ h m<sup>-3</sup> is recommended in ICRP 65 for members of public, the measured average annual dose is then about 3,3 mSv per year.

### PIŚMIENICTWO

1. BEIR VI: The Health Effects of Exposure to Indoor Radon. The National Academy of Sciences, Washington D.C., USA, 1998.
2. Fujimoto K., Sanada T.: Dependence of Indoor Radon Concentration on the Year of House Construction. Health Phys. 1999, 77, 410–419.
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 metody ciekłej scyntytacji. Roczn. PZH 1995, 46, 71–80.
4. Gorzkowski B., Pachocki K., Różycki Z., Majle T., Krzeslak A.: Narazenie ludności na radon-222 w budynkach mieszkalnych Olsztyna. Roczn. PZH 1998, 49, 199–206.

5. ICRP Publication 65: Protection Against Radon-222 at Home and Work. Annals of the ICRP 1993, 23, 2.
6. ICRP Publication 66: Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. Annals of the ICRP 1994, 24 (1–3).
7. National Council on Radiation Protection and Measurements. Control of Radon in Houses. NCRP Raport, 1989, 103.
8. *Niewiadomski T.*: Radon, właściwości, ryzyko, przeciwdziałanie. IFJ Kraków, 1994.
9. *Pachocki K.*: Radon w środowisku. Ekologia i Zdrowie. Warszawa, 1995.
10. *Pachocki K., Gorzkowski B., Wilejczyk E., Smoter J.*: Zawartość radonu w wodzie do picia w Świeradowie Zdroju i Czerniawie Zdroju. Roczn. PZH 2000, 51, 43–52.
11. Pico-Rad analysis software. Packard Instrument, 1988.
12. *Pieńkowska H., Turło J.*: Zawartość radonu w wybranych budynkach mieszkalnych na terenie miasta Olsztyna. Radon – występowanie, konsekwencje. XVII Szkoła Jesienna PTBR. Materiały Konferencyjne, Zakopane 1997.
13. *Pinza C., Armas J.H., Poffijn A.*: Radon Concentration in Dwellings of Lanzarote (Canary Islands). Radiat Prot Dosim. 1997, 69, 217–220.
14. *Sandman P.M., Weinstein N.D., Klotz M.L.*: Public Response to the Risk from Geological Radon. J. Communication. 1987, 37, 93–108.
15. *Stidley C.A., Samet J.M.*: A Review of Ecological Studies of Lung Cancer and Indoor Radon. Health Phys. 1993, 65, 234–251.
16. UNSCEAR: Sources and Effects of Ionizing Radiation United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. New York, 1994.
17. *Vaupotic J., Szymula M., Solecki J., Chibowski S., Kobal I.*: Preliminary Indoor Radon Investigations in Lublin Region, Poland. Health Phys. 1993, 64, 420–422.
18. Wang Y., Ju C., Stark A.D., Teresi N.: Radiation Mitigation Survey Among New York State Residents Living in High Radon Homes. Health Phys. 1999, 77, 403–409.
19. *Zalewski M., Karpiński M., Mnich Z., Kapata J.*: Emanacja radonu do budynków mieszkalnych województwa białostockiego. Przegląd Geologiczny 1996, 44, 570–573.

Otrzymano: 1999.11.29