

BOHDAN GORZKOWSKI, KRZYSZTOF PACHOCKI, ZDZISŁAW RÓŻYCKI, TADEUSZ MAJLE, ANNA KRZEŚLAK<sup>1</sup>

## NARAŻENIE LUDNOŚCI NA RADON-222 W BUDYNKACH MIESZKALNYCH OLSZTYNA

### EXPOSURE TO RADON-222 OF INHABITANTS OF BUILDINGS IN OLSZTYN

Zakład Ochrony Radiologicznej i Radiobiologii, Państwowy Zakład Higieny

00-791 Warszawa, ul. Chocimska 24

Kierownik: dr K. Pachocki

<sup>1</sup> Oddział Ochrony Radiologicznej,

Wojewódzka Stacja Sanitarно-Epidemiologiczna

10-561 Olsztyn, ul. Żołnierska 16

Dyrektor: dr S. Szubstarski

*Oznaczono stężenie radonu <sup>222</sup>Rn w powietrzu budynków mieszkalnych oraz w piwnicach miasta Olsztyna. Obliczono efektywne równoważniki dawki dla osób zamieszkujących w domach przedwojennych i powojennych zbudowanych z cegieł oraz w domach z wielkiej płyty.*

Zakład Ochrony Radiologicznej i Radiobiologii Państwowego Zakładu Higieny w Warszawie od szeregu lat zajmuje się między innymi problematyką ocen narażenia ludności w Polsce na promieniowanie radonu i produktów jego rozpadu [2, 6].

Niniejsza praca przedstawia wyniki pomiarów stężenia radonu w powietrzu w pomieszczeniach budynków murowanych w Olsztynie pochodzących z okresu sprzed drugiej wojny światowej oraz budynków powojennych budowanych z cegieł i w budynkach z wielkiej płyty. Pomiary przeprowadzono w październiku 1997 r. 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. Przyjmując średnie stężenia radonu wewnątrz pomieszczeń mieszkalnych w poszczególnych grupach domów obliczono roczne efektywne równoważniki dawki na nabłonek oskrzelowy osób przebywających w tych pomieszczeniach.

### MATERIAŁ I METODY

Badania koncentracji radonu wykonywano przy użyciu detektora Pico-Rad w postaci plastikowego cylindrycznego naczynka o wysokości 60 mm, średnicy 26 mm i pojemności 20 ml, zamkniętego od góry szczelną nakrętką. Wewnątrz, na wysokości 30 mm od dna, jest umocowany porowaty pojemnik zawierający 3 g mieszaniny węgla aktywnego do wychwytywania radonu oraz silizelu do pochłaniania obecnej w powietrzu pary wodnej. Detektor po otwarciu umieszcza się w kontrolowanym pomieszczeniu na wysokości od 0,6 do 1,8 m nad powierzchnią podłogi.

Zalecany czas ekspozycji wynosi od 24 do 96 godzin. Wybór czasu ekspozycji zależy od stężenia radonu i od wilgotności powietrza. Latem, przy większej wilgotności zalecany jest krótszy czas ekspozycji.

Po zakończonej ekspozycji detektor zamykano i przesyłano w ciągu jednej doby do laboratorium PZH. Następnie na dno naczynka Pico-Rad odmierzano 10 ml roztworu scyntylacyjnego Insta-Fluor. Głównym rozpuszczalnikiem w tym roztworze jest ksylen. Radon wykazuje większe powinowactwo do par ksylenu niż do węgla aktywowanego. W związku z tym po 3 godzinach około 80% radonu ulega desorpcji, a całkowita desorpcja następuje po 8 godzinach [2]. Aktywność radonu oznaczano w liczniku Packard Tri-Carb 1900 TR po upływie 6–8 godzin od chwili wiania do detektora roztworu scyntylacyjnego.

Analizę radioaktywności przeprowadzano przy wykorzystaniu programu komputerowego przeliczającego częstość zliczeń impulsów od cząstek alfa promieniotwórczych w danej próbce (detektorze) na stężenie radonu w badanym pomieszczeniu w jednostkach pCi/l (Pico-Rad Radon Analysis Program, Nitron Inc. ver. 3.11) [8]. Danymi sterującymi dla tego programu są (niezależnie od bezpośrednich danych pomiarowych takich, jak ilość zliczeń i czas pomiaru), okres połowicznego zaniku radonu, stała adsorpcji radonu na węglu aktywowanym, stała desorpcji radonu przy działaniu par rozpuszczalników aromatycznych obecnych w roztworze scyntylacyjnym Insta-Fluor oraz współczynnik kalibracji przeliczający częstość zliczeń (CPM) na stężenie radonu. Do programu każdorazowo wprowadzano również dokładną datę i godzinę początku i końca ekspozycji detektora, dokładną datę i godzinę dodania scyntylatora oraz numer detektora i miejsce ekspozycji. Czułość detektorów Pico-Rad w systemie Packard pozwala na pomiar stężeń  $^{222}\text{Rn}$  w powietrzu atmosferycznym powyżej  $11 \text{ Bq/m}^3$  z błędem  $\pm 5\%$ .

## WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Najniższe stężenie radonu w powietrzu budynków mieszkalnych Olsztyna stwierdzono w domach spółdzielczych zbudowanych w technologii tzw. „wielkiej płyty”. Ten rodzaj budynków wielokondygnacyjnych jest dominujący w Olsztynie od lat siedemdziesiątych do chwili obecnej. Wykonano 42 pomiary. Średnie stężenie radonu w pomieszczeniach mieszkalnych wynosiło  $15,5 \text{ Bq/m}^3$ . Zakres stężeń zawierał się między  $7,4 \text{ Bq/m}^3$  –  $55,5 \text{ Bq/m}^3$ . W piwnicach tych budynków średnie stężenie radonu wynosiło  $33,3 \text{ Bq/m}^3$  przy zakresie stężeń  $22,2 \text{ Bq/m}^3$  –  $62,9 \text{ Bq/m}^3$  (tabela I).

Tabela I. Koncentracja radonu  $^{222}\text{Rn}$  w powietrzu w budynkach mieszkalnych w Olsztynie.  
The indoor air radon  $^{222}\text{Rn}$  concentrations in buildings in Olsztyn.

Rodzaj budownictwa (okres)	Liczba pomiarów	Pomieszczenia mieszkalne $\text{Bq/m}^3 \pm \text{SD}$ (zakresy stężeń $^{222}\text{Rn}$ )	Piwnice $\text{Bq/m}^3 \pm \text{SD}$ (zakresy stężeń $^{222}\text{Rn}$ )
wielka płyta (od lat 70-tych)	42	$15,5 \pm 1,1$ (7,4 – 55,5)	$33,3 \pm 2,7$ (22,2 – 62,9)
budownictwo po 1945 roku (cegła, suporeks)	53	$42,4 \pm 3,3$ (14,8 – 114,7)	$84,9 \pm 6,5$ (37,0 – 288,6)
budownictwo przed rokiem 1939 (cegła, stropy z drewna)	103	$33,2 \pm 2,6$ (11,1 – 77,7)	$96,6 \pm 7,8$ (25,9 – 321,9)

Oprócz materiałów budowlanych użytych do konstrukcji budynków na poziom stężenia radonu wewnątrz pomieszczeń ma wpływ przede wszystkim podłoże geologiczne, na którym usytuowany jest budynek. W regionie mazurskim, w glebie oraz w warstwach gruntu nie występuje podniesione stężenie  $^{226}\text{Ra}$ , pierwiastka macierzystego dla radonu. Dlatego w materiałach budowlanych pochodzących z tego regionu zawartości  $^{222}\text{Ra}$  są stosunkowo niskie. Ponadto, w wielkiej płycie ze względu na możliwość osłabienia wytrzymałości betonu na ściskanie nie stosowano żuźla jako dodatku do betonu.

Niski poziom stężenia radonu w powietrzu tych budynków można także wytłumaczyć wprowadzeniem już w roku 1980 przepisów ustalających dopuszczalną zawartość naturalnych radionuklidów, w tym radu  $^{226}\text{Ra}$ , w materiałach i surowcach budowlanych. Decyzją Nr 16 Ministra Budownictwa i Przemysłu Materiałów Budowlanych z dnia 5.06.1980 r. „w sprawie badań kontrolnych surowców stosowanych w produkcji materiałów budowlanych” został ustalony obowiązek przeprowadzania pomiarów kontrolnych stężeń naturalnych radionuklidów w surowcach przeznaczonych do produkcji materiałów budowlanych oraz zostało zabronione produkowanie materiałów budowlanych z surowców, w których maksymalnie dopuszczalne stężenia radionuklidów zostały przekroczone. Decyzja MBiPMB dotyczyła tylko jednostek organizacyjnych resortu budownictwa i materiałów budowlanych, ale zgodnie z rozporządzeniem MBiPMB z 29 kwietnia 1975 r. każdy nowy materiał budowlany musi uzyskać „orzeczenie Państwowego Zakładu Higieny lub właściwej jednostki naukowo-badawczej o nieszkodliwości stosowania materiału, elementu lub konstrukcji budowlanej dla zdrowia ludzkiego lub zwierząt” (Dz. U. Nr 14/75 poz. 82). Warunkiem uzyskania takiego orzeczenia jest między innymi spełnienie przez surowiec lub materiał budowlany wymagań określonych w Instrukcji Nr 234 Instytutu Techniki Budowlanej z 15 sierpnia 1980 r. pt.: „Wytyczne badania promieniotwórczości naturalnej surowców i materiałów budowlanych”, w której określono dopuszczalne stężenia radionuklidów oraz metodykę wykonywania pomiarów kontrolnych. Instrukcję uaktualniono i zastąpiono 7 listopada 1995 r. nową Instrukcją ITB Nr 234/95.

Drugą grupą badanych budynków były domy wybudowane po 1945 r. z cegły i suporeksu. Najczęściej były to budynki 2 i 3 kondygnacyjne. W skład bloczków suporeksu wchodzi popioły i emulsja betonowa. Bloczki suporeksu zawierające popioły czasami wykazują większe stężenia radu  $^{226}\text{Ra}$ . Często w tego rodzaju budownictwie indywidualnym używano do izolacji termicznej stropów żuźla lub gruzu z suporeksu. Wydaje się, że dlatego ten rodzaj budownictwa w naszych badaniach wykazał największą radioaktywność. Wykonano 53 pomiary. Średnie stężenie radonu w pomieszczeniach mieszkalnych wynosiło  $42,4 \text{ Bq/m}^3$ . Zakres stężeń zawierał się między  $14,8 \text{ Bq/m}^3$  a  $114,7 \text{ Bq/m}^3$ . W piwnicach tych budynków średnie stężenie radonu wynosiło  $84,9 \text{ Bq/m}^3$  przy zakresie stężeń od  $37,0 \text{ Bq/m}^3$  do  $288,6 \text{ Bq/m}^3$ .

Trzecią grupę budynków stanowiły domy mieszkalne zbudowane przed rokiem 1939 z cegły. Stropy w tych domach zbudowano z drewna i wypełniono gliną. Sporadycznie używano jako wypełniacza żuźla. Najczęściej były to budynki dwu kondygnacyjne. Mniejszą część stanowiły 3 i 4 kondygnacyjne domy czynszowe. Wykonano 103 pomiary. Średnie stężenie radonu w pomieszczeniach mieszkalnych wynosiło  $33,2 \text{ Bq/m}^3$ . Zakres stężeń zawierał się pomiędzy  $11,1 \text{ Bq/m}^3$  a  $77,7 \text{ Bq/m}^3$ . W piwnicach średnie

stężenie radonu wynosiło  $96,6 \text{ Bq/m}^3$  przy zakresie stężeń  $25,9 \text{ Bq/m}^3 - 321,9 \text{ Bq/m}^3$  (tabela I). W porównaniu z budynkami zbudowanymi z cegły i suporeksu po wojnie – średnie stężenia radonu w budynkach przedwojennych są niższe. Można to tłumaczyć dużym udziałem drewna w stropach i mniej rozpowszechnionym zwyczajem stosowania żużla w tych budynkach.

Rodzaj podłoża geologicznego, na którym posadowiony jest budynek, ma istotny wpływ na poziom stężenia radonu, szczególnie w budynkach niskich. Atomy radonu, które wydostają się z kryształów mineralnych gleby lub skał migrują przez powierzchniowe warstwy gruntu do atmosfery. Średnia zawartość radu w skałach jest rzędu  $10^{-6} \text{ g Ra}$  na 1 tonę skał. W skałach wulkanicznych kwaśnych jest go trzy razy więcej. W przyrodzie jest znacznie mniej radonu niż radu. Stosunek jego masy do masy radu znajdującego się z radonem w stanie równowagi promieniotwórczej wynosi  $6,5 \cdot 10^{-6} \text{ gRn/1gRa}$ . Taka sytuacja panuje tylko w litosferze zwartej, nie przepuszczającej gazów. Izotop radonu  $^{222}\text{Rn}$  o półokresie trwania 3,8 doby posiada największe prawdopodobieństwo ucieczki z minerałów. Pozostałe izotopy radonu  $^{219}\text{Rn}$  i  $^{220}\text{Rn}$  mają półokresy trwania odpowiednio 3,9 i 55 sekund, a co zatem idzie występują w znikomych ilościach. Większość drobnoziarnistych materiałów odznacza się mocą emacyjną radonu rzędu 1% lub nieco mniejszą. Radon  $^{222}\text{Rn}$  przedostaje się w warstwach gruntu na znaczne odległości, jeżeli na jego drodze nie zalegają nieprzepuszczalne masy skalne.

W budynkach zbudowanych po roku 1945 z cegły porównano koncentrację radonu w powietrzu pomieszczeń mieszkalnych położonych bezpośrednio nad piwnicą (na parterze) z koncentracją radonu  $^{222}\text{Rn}$  w piwnicy. Wartości koncentracji radonu w układzie piwnica/pokój nad piwnicą porównano dla każdego domu indywidualnie. Zakres stężeń radonu w pokojach zawierał się od  $22,2 \text{ Bq/m}^3$  do  $85,1 \text{ Bq/m}^3$ . W piwnicach zakres stężeń  $^{222}\text{Rn}$  wynosił od  $37,0 \text{ Bq/m}^3$  do  $288,6 \text{ Bq/m}^3$ . Średnia aktywność radonu w pokojach nad piwnicą była prawie dwukrotnie mniejsza niż w piwnicy. Świadczy to o głównym kierunku wnikania radonu do budynku oraz o dość dobrej szczelności stropu nad piwnicą (Tabela II).

W budynkach wybudowanych przed rokiem 1939 dokonano takich samych porównań koncentracji radonu w powietrzu pomieszczeń mieszkalnych (parter) położonych bezpośrednio nad piwnicą i w piwnicach. Zakres stężeń radonu w powietrzu w pokojach zawierał się pomiędzy  $14,8 \text{ Bq/m}^3$  a  $74,0 \text{ Bq/m}^3$ . W piwnicach zakres stężeń radonu zawierał się pomiędzy  $25,9 \text{ Bq/m}^3$  a  $321,9 \text{ Bq/m}^3$ . Średnia aktywność radonu w pokojach nad piwnicą spadała do 53,9% wartości stężenia w piwnicach (Tabela III).

Porównano koncentrację radonu w budynkach jednorodzinnych wybudowanych po 1945 r. z cegły do budynków, w których oprócz cegły stosowano bloczki suporeksu lub do wypełniania stropów używano żużla albo gruzu z suporeksu. Wykazano uchwytne różnice w stężeniu radonu w powietrzu porównywanych budynków. Różnice te nie były duże i w żadnym przypadku nie wykazano przekroczenia stężenia  $100 \text{ Bq/m}^3$  w pomieszczeniach mieszkalnych (Tabela IV).

W Polsce badania stężenia radonu w mieszkaniach dotychczas prowadzone były na bardzo ograniczoną skalę, w sposób wrywkowy, a przede wszystkim nie objęty programem kompleksowym [5, 11, 12]. Badania takie dotyczyły także mieszkań w Olsztynie [9].

Tabela II. Porównanie koncentracji radonu  $^{222}\text{Rn}$  w powietrzu pomieszczeń mieszkalnych (parter) położonych nad piwnicą do koncentracji radonu w piwnicy. Budynki zbudowane po 1945 roku  
 Comparison of the indoor air radon  $^{222}\text{Rn}$  concentrations in the basement and the ground floor. Building constructed after 1945 year

Koncentracja radonu $^{222}\text{Rn}$ [Bq/m <sup>3</sup> ] ± S.E. [%]		Stosunek stężenia radonu w pokoju do stężenia w piwnicy [%]
piwnica	pokój nad piwnicą	
59,2 ± 7,6	33,3 ± 8,8	56,3
55,5 ± 6,6	51,8 ± 5,9	93,3
44,4 ± 7,5	29,6 ± 7,3	66,7
62,9 ± 8,4	22,2 ± 9,1	35,3
40,7 ± 7,8	25,9 ± 8,0	63,6
125,8 ± 4,8	33,3 ± 7,1	26,5
37,0 ± 7,0	29,6 ± 7,4	80,0
140,6 ± 4,9	29,6 ± 7,5	21,1
66,6 ± 5,4	33,3 ± 6,9	50,0
70,3 ± 5,3	33,3 ± 6,9	47,4
51,8 ± 6,3	40,7 ± 6,7	78,6
136,9 ± 5,0	62,9 ± 5,7	45,9
122,1 ± 5,0	85,1 ± 5,2	69,7
288,6 ± 4,9	74,0 ± 5,8	25,6
Średnia		54,3%

Należy podkreślić, iż 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 Bq/m<sup>3</sup> – w budynkach istniejących i oddanych do użytku przed 1 stycznia 1998 r.  
 b) 200 Bq/m<sup>3</sup> – w budynkach oddanych do użytku po 1 stycznia 1998 r.

W żadnym przypadku w badanych pomieszczeniach mieszkalnych w Olsztynie nie stwierdzono przekroczeń obecnie obowiązujących limitów, jak i zaostrzonych, przewidzianych od roku 1998. W piwnicach badanych domów stężenie radonu w żadnym przypadku nie przekraczało 400 Bq/m<sup>3</sup>. Stężenie radu-226 (prekursora radonu-222) w gruncie makroregionu wschodniego Niżu Polskiego jest niższe, niż np. na Dolnym Śląsku, Skandynawii lub podgórskich rejonach Szwajcarii co między innymi, manifestuje się wyższymi stężeniami radonu występującymi w powietrzu atmosferycznym na tych terenach i w budynkach [6, 7].

Roczne narażenie od promieniowania pochodnych radonu dla występującego w mieszkaniu jednostkowego stężenia radonu (1 Bq/m<sup>3</sup>) wynosi 1,56 10<sup>-2</sup> mJ · h · m<sup>-3</sup>. Natomiast dawka skuteczna od jednostkowego narażenia od pochodnych radonu

Tabela III. Porównanie koncentracji radonu  $^{222}\text{Rn}$  w powietrzu pomieszczeń mieszkalnych (parter) położonych nad piwnicą do koncentracji radonu w piwnicy. Budynek zbudowany przed rokiem 1939

Comparison of the indoor air radon  $^{222}\text{Rn}$  concentrations in the basement and the ground floor. Building constructed before 1939 year

Koncentracja radonu $^{222}\text{Rn}$ [Bq/m <sup>3</sup> ] ± S.E. [%]		Stosunek stężenia radonu w pokoju do stężenia w piwnicy [%]
piwnica	pokój nad piwnicą	
321,0 ± 4,9	62,9 ± 5,3	19,5
	66,6 ± 7,3	20,7
51,8 ± 5,3	25,9 ± 6,4	50,0
81,4 ± 6,4	40,7 ± 7,7	50,0
	55,5 ± 7,2	68,2
66,6 ± 4,9	37,0 ± 5,9	55,6
	40,7 ± 5,7	61,1
247,9 ± 8,1	14,8 ± 8,8	6,0
51,8 ± 8,3	25,9 ± 9,2	50,0
25,9 ± 9,2	14,8 ± 9,1	57,1
	18,5 ± 6,9	71,4
40,7 ± 8,2	25,9 ± 6,3	63,6
55,5 ± 9,2	25,9 ± 8,1	46,7
151,7 ± 7,3	37,0 ± 9,3	24,4
77,7 ± 6,8	48,1 ± 7,4	61,9
37,0 ± 7,6	37,0 ± 6,4	100,0
55,5 ± 7,3	37,0 ± 8,1	66,7
48,1 ± 6,9	44,4 ± 8,3	92,3
29,6 ± 8,6	25,9 ± 7,9	87,5
259,0 ± 4,9	33,3 ± 8,9	12,9
151,7 ± 8,2	14,8 ± 9,3	9,8
81,4 ± 6,5	33,3 ± 5,8	40,9
59,2 ± 7,7	55,5 ± 6,4	93,7
62,9 ± 9,4	37,0 ± 6,4	58,8
29,6 ± 7,2	25,9 ± 7,6	87,5
62,9 ± 5,8	29,6 ± 7,6	47,1
166,5 ± 4,8	74,0 ± 6,6	44,4
29,6 ± 7,7	25,9 ± 7,8	87,5
44,4 ± 6,8	25,9 ± 8,0	58,3
118,4 ± 5,7	29,6 ± 7,9	25,0
	Srednia	53,9%

Tabela IV. Porównanie koncentracji radonu  $^{222}\text{Rn}$  w powietrzu w budynkach zbudowanych z cegły do budynków z cegły i z udziałem suporeksu lub żużla. Budynki jednorodzinne zbudowane po roku 1945  
 Comparison of the indoor air radon  $^{222}\text{Rn}$  concentrations in the buildings constructed with bricks and in bricks, suporex or slags. Houses (one-family) constructed after 1945 year

Rodzaj materiałów	Liczba pomiarów	Średnia koncentracja radonu $^{222}\text{Rn}$ [ $\text{Bq}/\text{m}^3 \pm \text{SD}$ ]		
		piwnica	parter	I piętro
cegła oraz suporeks lub żużel	20	$109,9 \pm 7,9$	$55,5 \pm 4,3$	$48,8 \pm 3,9$
cegła	20	$76,1 \pm 5,6$	$29,1 \pm 2,1$	$22,2 \pm 1,6$

(współczynnik konwersji) wynosi:  $1 \text{ mJ} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^{-3} = 1,1 \text{ mSv}$ . Wielkości te zostały przyjęte przy założeniu rocznych okresów przebywania w domu 7000 godzin i w pracy 2000 godzin oraz przy współczynniku równowagi promieniotwórczej radonu i jego pochodnych  $F = 0,4$  [4, 10].

Biorąc pod uwagę, że wartości pomierzonego stężenia radonu w mieszkaniach z Olsztyna zawierają się w granicach  $15,5 \text{ Bq}/\text{m}^3 - 42,4 \text{ Bq}/\text{m}^3$ , można oszacować, iż roczna dawka skuteczna otrzymywana przez ludność z tego tytułu wynosi  $0,3 \text{ mSv} - 0,7 \text{ mSv}$ , a związane z nią ryzyko zaindukowania nowotworu płuc odpowiednio wynosi  $1,9 \cdot 10^{-5} - 5,3 \cdot 10^{-5}$ .

#### WNIOSKI

1. W żadnym z badanych pomieszczeń nie wykazano przekroczenia aktualnie obowiązujących w mieszkaniach limitów dla stężenia radonu  $^{222}\text{Rn}$ .
2. Najniższe stężenie radonu stwierdzono w powietrzu pomieszczeń mieszkalnych domów zbudowanych z wielkiej płyty (od  $7,4 \text{ Bq}/\text{m}^3$  do  $55 \text{ Bq}/\text{m}^3$ ; średnio  $15,5 \text{ Bq}/\text{m}^3$ ).
3. Najwyższe stężenie radonu stwierdzono w powietrzu pomieszczeń mieszkalnych domów powojennych zbudowanych z cegły i suporeksu (od  $14,8 \text{ Bq}/\text{m}^3$  do  $114,7 \text{ Bq}/\text{m}^3$ ; średnio  $42,4 \text{ Bq}/\text{m}^3$ ).
4. Koncentracja radonu w pomieszczeniach na parterze była niższa od koncentracji radonu w piwnicach średnio o połowę i mieściła się w przedziale od 25,6% do 85,1%.
5. Oszacowana roczna dawka skuteczna od promieniowania radonu i jego pochodnych otrzymywana przez ludzi zamieszkujących w badanych budynkach zawiera się w przedziale od  $0,3 \text{ mSv}$  do  $0,7 \text{ mSv}$ .

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

#### EXPOSURE TO RADON-222 OF INHABITANTS OF BUILDINGS IN OLSZTYN

#### Summary

The concentrations of radon-222 in the air of some buildings in Olsztyn were measured. The main source of radon in buildings is in general the ground under building and the materials

used for building structure. In this work the results of radon-222 concentration measurements in the air of some buildings constructed before the 1939 year, in the buildings constructed after 1945 year with the traditional use of the bricks and in the buildings constructed with the use of great prefabricated plates are presented. The relations between radon-222 concentrations in the basements and in the first floor flats situated above the basement were evaluated. Based on the mean radon concentrations in the air of the various types of buildings investigated the effective doses for the inhabitants of each type of buildings were estimated.

## 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. *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, 1, 71–80.
3. ICRP Publication 66: Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. Annals of the ICRP 24 (1–3), 1994, Pergamon Press. Oxford.
4. ICRP Publication 65: Protection Against Radon-222 at Home and Work. Annals of the ICRP, 23, 2, 1993.
5. *Niewiadomski T.*: Radon. Właściwości, Ryzyko, Przeciwdziałanie. IFJ Kraków 1994.
6. *Pachocki K.*: Radon w środowisku. Ekologia i Zdrowie, Warszawa 1995.
7. *Peńsko J.*: Application of passive and active methods parallel to the measurements of local climatic parameters for the assessment of Rn-222 behavior in selected Swiss dwellings. Post. Fiz. Med., 1988, 23, 4, 271–284.
8. Pico-Rad radon analysis software. Packard Instrument, 1988.
9. *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.
10. UNSCEAR: Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 1994 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. United Nations, New York.
11. *Vaupotic J., Szymula M., Solecki J., Chibowski S., Kobal I.*: Preliminary indoor radon investigations in Lublin Region, Poland. Health Phys. 1993, 64, 4, 420–422.
12. *Zalewski M., Karpińska M., Mnich Z., Kapala J.*: Emanacja radonu do budynków mieszkalnych województwa białostockiego. Przegląd Geologiczny, 1996, 44, 6, 570–573.

Otrzymano: 1997.11.28