

Jerzy Peńsko, Kalina Mamont, Tadeusz Wardaszk

Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, Warszawa

POMIARY PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO W NIEKTÓRYCH BUDYNKACH MIESZKALNYCH W POLSCE

Skonstruowano przenośny dawkomierz z ciśnieniową komorą jonizacyjną do pomiaru mocy dawek na poziomie tła naturalnego. Wykonano pomiary mocy dawek od promieniowania tła naturalnego oraz koncentracji radonu w 97 lokalach mieszkalnych nowego budownictwa. Były to mieszkania w Doświadczalnym Osiedlu na Służewcu w Warszawie, w trzech osiedlach w Łodzi oraz w pięciu osiedlach na terenie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego.

W osiedlach tych stosowano typowe dla nowego budownictwa materiały budowlane, wytwarzane z ubocznych produktów przemysłu hutniczego (żużel kotłowy i paleniskowy) oraz z pyłów dymnicowych z elektrociepłowni.

Zmierzono moce dawek tła promieniowania gamma w budynkach są na poziomie wartości mocy dawek poza budynkiem. Wartości stężenia radonu w powietrzu w lokalach są kilkakrotnie wyższe niż poza budynkiem.

Wstęp

Naturalne promieniowanie jonizujące, obecne w środowisku otaczającym człowieka, pochodzi od śladowych ilości naturalnych substancji promieniotwórczych, szeroko rozproszonych w glebie, skałach i w materiałach budowlanych, oraz od promieniowania dochodzącego do naszej planety z przestrzeni kosmicznej.

Nauka nie odpowiedziała jeszcze dotychczas na pytanie, czy naturalne tło promieniowania odgrywa szkodliwą rolę dla zdrowia człowieka, czy też jest czynnikiem sprzyjającym jego rozwojowi. Być może, że życie w ogóle nie rozwinęłoby się na Ziemi, gdyby nie istniało na niej promieniowanie jonizujące. Jest również możliwe, że pewna ilość chorób nowotworowych powstaje pod wpływem naturalnego promieniowania jonizującego.

Niezależnie od tła naturalnego wybuchy jądrowe na Ziemi w ostatnim 20-leciu oraz związane z tymi wybuchami ogólnoświatowy opad promieniotwórczy stał się dodatkowym źródłem napromienienia organizmu człowieka, obejmującym swoim zasięgiem większą część populacji ludzkiej naszego globu.

Fakt ten i związana z tym konieczność oceny sytuacji z punktu widzenia narażenia człowieka na dodatkowe, ponad tło naturalne, dawki promieniowania jonizującego wzbudził również zainteresowanie badaczy naturalnym tłem promieniowania, które w tym wypadku służy jako porównawczy poziom odniesienia.

Wartość dawek ekspozycyjnych, zmiany tych wartości uwarunkowane ważniejszymi czynnikami meteorologicznymi, hydrologicznymi i geologicznymi oraz natura samego tła promieniowania gamma zostały zbadane już dostatecznie w wielu krajach, w tym również i w Polsce [1, 2, 3, 4]. Zostały również opracowane metody pomiarowe potrzebne do tych badań [5, 6, 7].

Źródłem jednej ze składowych naturalnego tła promieniowania są naturalne substancje promieniotwórcze, zawarte w materiałach budowlanych. Są to izotopy promieniotwórcze szeregu uranowo-radowego, torowego i potas-40. Oddziaływanie ich na organizm człowieka odbywa się na dwóch drogach: poprzez ekspozycję zewnętrzną całego ciała przenikliwym promieniowaniem gamma, emitowanym przez te izotopy, oraz na skutek wydzielania gazów promieniotwórczych radonu-222 i toronu-220, które przedostając się do ustroju są, wraz z produktami swojego rozpadu, źródłem dawek pochłanianych przez poszczególne narządy.

Od kilku lat wprowadza się do budownictwa mieszkaniowego nowe rodzaje materiałów budowlanych, które wytwarza się z produktów ubocznych przemysłu hutniczego. Jako składnik tych materiałów stosuje się również popioły dymnicowe, wytwarzane w elektrocieplowniach opalanych pyłem węglowym. W związku z tym powstało pytanie, jakie jest narażenie mieszkańców tego typu nowych domów, wynikające z podwyższenia promieniowania tła naturalnego, w stosunku do budownictwa klasycznego.

Badania przeprowadzone w wielu krajach [8, 9, 10] jak i poprzednie polskie prace [11, 12], dotyczące radioaktywności niektórych materiałów powszechnie stosowanych w budownictwie, wykazują ich znaczne zróżnicowanie pod względem zawartości substancji promieniotwórczych.

W tej pracy opisano pomiary mocy dawek promieniowania gamma oraz pomiary stężeń radonu w powietrzu domów, należących do kilku typów budownictwa mieszkaniowego spotykanego na terenie Polski. W wyborze budynków korzystaliśmy z konsultacji branżowych Instytutu Budownictwa Mieszkaniowego w Warszawie.

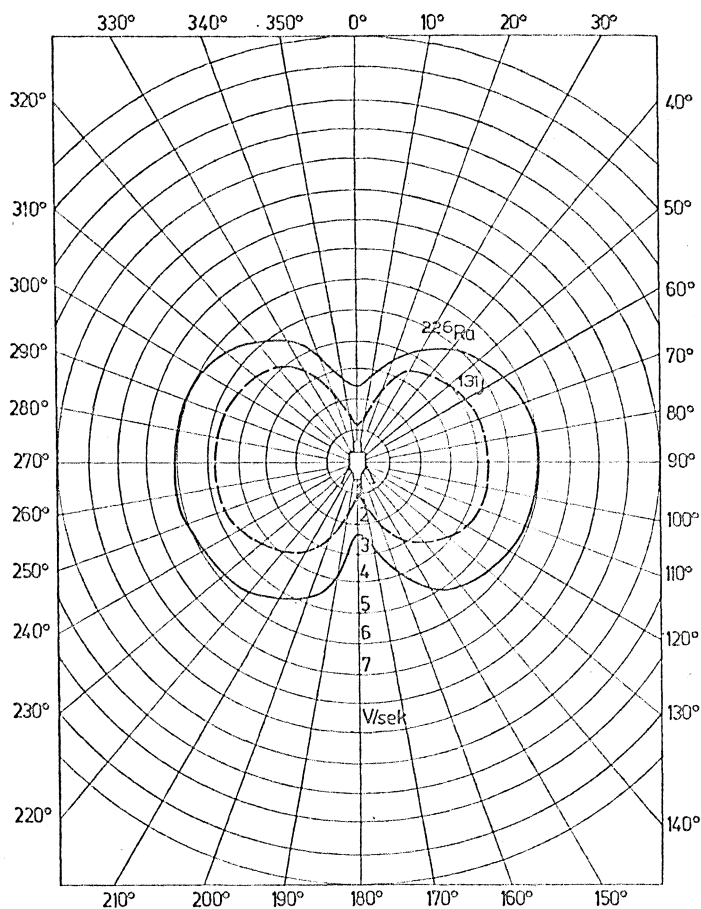
Metody pomiarowe i aparatura

Stężenie radonu w powietrzu mierzono techniką rejestracji przez fotopowielacz i układ elektroniczny błysków świetlnych, wywołanych przez cząstki alfa emitowane przez produkty rozpadu ^{222}Rn , a mianowicie ^{218}Po (RaA) i ^{214}Po (RaC), zawarte w kolbach szklanych o wewnętrznych ściankach pokrytych ZnS. W celu zwiększenia ilości mierzonych impulsów w stosunku do szumów stosowano wzbogacenie mierzonej próbki powietrza w radon za pomocą filtrów węglowych. W temperaturze pokojowej przepuszczano 108 l powietrza przez filtr przy przepływie 30 ml/sek. Następnie filtr grzany był w piecu muflowym w temperaturze 220° uwalniając radon, który zbierano w kolbie scyntylacyjnej [13].

Do pomiaru mocy dawki skonstruowano w CLOR przenośny dawkomierz z ciśnieniową komorą jonizacyjną typu prądowego. Komora jest wykonana z wysokociśnieniowej butli stalowej o objętości 5 l i grubości ścianek 2,5 mm stali w osłonie aluminiowej grubości 1,5 mm. Dzięki zastosowaniu osłony uzyskano możliwość uziemienia obudowy komory i elektrometru oraz uzyskano zmniejszenie wpływu zakłóceń na pracę komory. Do wypełnienia komory zastosowano argon pod ciśnieniem 30 atm. W celu maksymalnego zmniej-

szczenia prądu upływu izolator główny wykonano z teflonu oraz zastosowano pierścień ochronny. Ostatecznie uzyskano prąd upływu rzędu 10^{-17} A, gdy prąd odpowiadający mocy dawki na poziomie tła naturalnego jest rzędu 10^{-13} A. Do pomiaru prądu użyto elektrometru dynamicznego firmy Vakutronik, zasilanego z akumulatora lub z sieci.

Ciśnieniowa komora jonizacyjna w tym układzie może współpracować z rejestratorem, umożliwiającym ciągły pomiar tła promieniowania gamma w długich okresach czasu.



Rys. 1. Kierunkowa charakterystyka czułości wysokociśnieniowej komory jonizacyjnej

Cechowanie przyrządu w $\mu\text{R/h}$ wykonano za pomocą źródeł wzorcowych ^{226}Ra i ^{131}I o aktywności podanej z błędem całkowitym nie większym niż $\pm 5\%$; stosowano procedurę analogiczną do opisanej poprzednio [5] dla licznika scyntylacyjnego. Uwzględniono osłabienie promieniowania gamma, wynikające z prawa kwadratu odległości i z pochłaniania w warstwie powietrza, oraz kierunkową anizotropię czułości komory jonizacyjnej, przedstawioną na rys. 1. Tak wyznaczony współczynnik kalibracji wynosi $2,77 \pm 0,19 \frac{\mu\text{R/h}}{\text{mV/sek}}$.

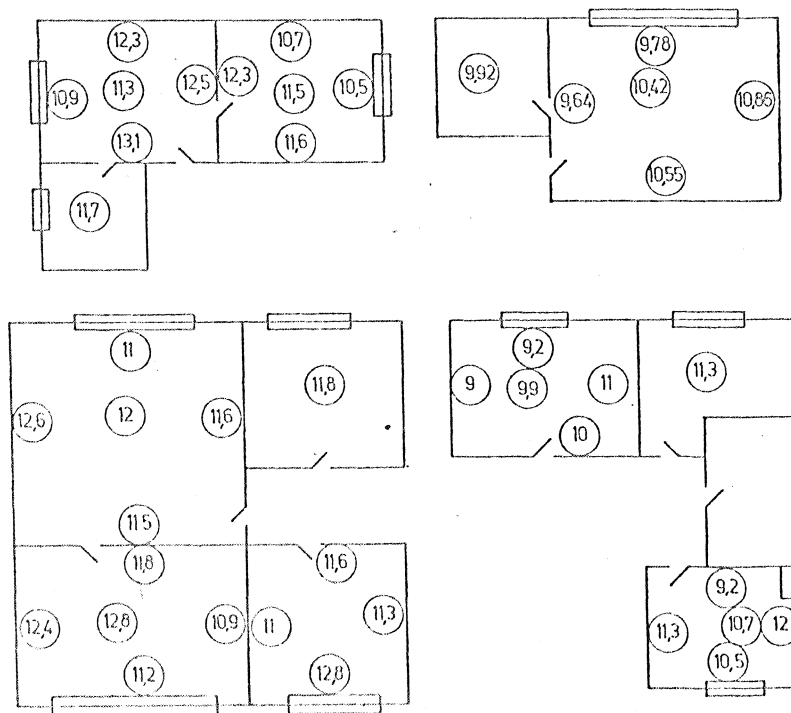
Wskazania dawkomierza własnej konstrukcji porównano w tych samych warunkach środowiskowych ze wskazaniami dawkomierza wykonanego przez angielską firmę D. A. Pit-

man Ltd., którego wzorcowanie wykonano w Katedrze Fizyki Medycznej Uniwersytetu w Leeds. Porównanie to wykazało dobrą zgodność wskazań. Dawkomierz angielski dawał średnio wskazania większe o około 12%. Tego rodzaju systematyczna różnica wskazań może wynikać z niedokładności w wyznaczeniu poprawki na jonizację od promieniowania kosmicznego dla obu komór.

Wydajność komory na promieniowanie kosmiczne wraz z jej biegiem własnym określaliśmy wykonując pomiary na Jeziorze Zegrzyńskim (wysokość 110 m n.p.m.) w miejscu o głębokości 10 m, w odległości 200 m od brzegu. Otrzymano wynik 1,75 mV/sek, co odpowiadałoby wartości 4,8 μ R/h (41 mrad/rok), gdyby się przyjęło za możliwe zastosowanie dla promieniowania kosmicznego współczynnika kalibracji źródłem radowym.

Pomiary

Program pomiarów ustalano w porozumieniu z Instytutem Budownictwa Mieszkaniowego w Warszawie. Pomiarami objęto te osiedla, w których oczekiwano podwyższonych wartości mocy dawek. Były to: Doświadczalne Osiedle na Służewcu w Warszawie (37 lokali), Teofilów, Dąbrowa i Wielkopolska w Łodzi (20 lokali) oraz 5 osiedli na terenie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego (36 lokali), a mianowicie osiedla w Mysłowicach, Świętochłowicach, Zagórz, budynki w Osiedlu im. Marchlewskiego i w Osiedlu Tysiąclecia w Katowicach.



Rys. 2. Szkice mieszkań z zaznaczonymi punktami pomiarowymi. Liczby w kółkach wyrażają moc dawki w μ R/h.

Na Śłużewcu pomiary wykonywane były w 7 budynkach, w lokalach wybranych metodą liczb losowych. Część lokali była już zamieszкана. W pozostałych osiedlach wykonywano pomiary tylko w jednym budynku, jeszcze nie zamieszkanym, ale całkowicie lub prawie całkowicie wykończonym. W budynku takim wybierano przypadkowo na różnych kondygnacjach lokale w ilości od 7 do 10.

W wybranym lokalu wykonywano pomiary według następującego planu: w każdym pokoju 5 pomiarów — 4 przy ścianach i jeden w środku oraz jeden pomiar w środku kuchni. Punkty pomiarowe nanoszono każdorazowo na szkic mieszkania. Przykładowo wybrane szkice paru mieszkań z naniesionymi punktami pomiarowymi przedstawia rys. 2. Mierzono również moc dawki w jednoznacznie określonym punkcie na klatce schodowej na wszystkich kondygnacjach. Ponadto wykonano kilka pomiarów poza budynkami na otwartym terenie.

Udział promieniowania kosmicznego w wynikach pomiarów mocy dawki przeprowadzonych w budynkach był trudny do ustalenia, ponieważ zależał on od wysokości kondygnacji oraz od grubości materiałów stropowych. Z tego względu postanowiono nie uwzględniać poprawki na promieniowanie kosmiczne i dlatego wyniki obliczeń mocy dawki podane w tablicy 1 otrzymano na podstawie pomiarów całkowitej jonizacji wywołanej w komorze terestrialnym promieniowaniem gamma i promieniowaniem kosmicznym.

W każdym wybranym do pomiaru mieszkaniu wykonywano jedno oznaczenie stężenia ^{222}Rn w powietrzu atmosferycznym. Próby powietrza starano się pobierać w warunkach określonego w przybliżeniu stopnia wymiany powietrza w danym pomieszczeniu. W związku z tym starano się pobierać próby w pomieszczeniach, które były zamknięte przez okres czasu ponad 12 godzin i w których wymiana powietrza następowała głównie w wyniku działania wentylacji grawitacyjnej.

Warunek ten był często możliwy do zrealizowania w lokalach nie zamieszkanym, gdzie próby pobierano w godzinach rannych, po całonocnym zamknięciu wszystkich otworów. Natomiast lokale zamieszkanym, mimo analogicznego terminu pobierania prób, nie zawsze spełniały ten warunek, gdyż wymiana powietrza uzależniona była od indywidualnych przyzwyczajeń mieszkańców.

Wyniki i dyskusja

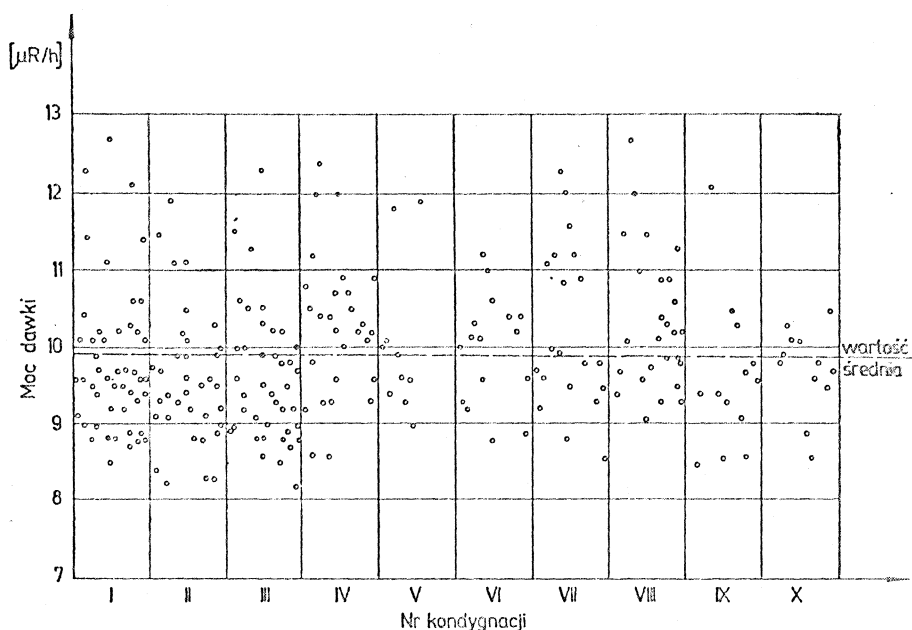
Zestawienie wyników pomiarów mocy dawki oraz koncentracji ^{222}Rn w powietrzu przedstawia tabela. Znaczną ilość pomiarów w różnych budynkach wykonano w Warszawie w dzielnicy Śłużewiec, a to z tego względu, aby stwierdzić, czy istnieje wartość reprezentatywna dla danego osiedla, wykonanego z jednakowego zestawu materiałów budowlanych.

Badania rozkładu mocy dawki w zależności od kondygnacji, których wyniki przedstawia rys. 3, nie wykazują żadnego określonego trendu, co wskazuje na to, że prawdopodobnie zachodzi kompensacja pomiędzy jonizacją w komorze pochodzącą od wzrastającego natężenia promieniowania kosmicznego w miarę wzrostu kondygnacji i pochodzącą od malejącej mocy dawki od terestrialnego tła promieniowania gamma, którego źródło znajduje się zewnątrz budynku.

Ze względu na to, że średnie wartości mocy dawek zmierzonych w poszczególnych

Moc dawek i stężenia radonu-222.

Miasto	Osiedle lub osiedla	Budynek	Materiał budowlany	Pomiary w budynkach						Pomiary poza budynkami		
				Moc dawki			Stężenie ^{222}Rn			Liczba pomiarów	Średnia moc dawki $\mu\text{rad/rok}$	Średnia koncentracja ^{222}Rn pCi/m^3
				Ilość zbadanych mieszkań	Ilość pomiarów	Średnia moc dawki $\mu\text{rad/rok}$	Ilość zbadanych lokali		Stężenie ^{222}Rn pCi/m^3			
							wielokom. kalnych	wielokom. mieszkalnych				
Warszawa	Śródmieście	WPP-33	Beton					2	1100	4	100	100
		WPP-32		7	77	87		2	550			
		WPP-41		10	94	85	2		540			
		WPP-40		8	90	82						
		WPP-44		4	84	85	1		350			
		WPP-46		4	81	84	1		340			
		WPP-4		3	19	85						
		WPP-17		1	10	81						
		WPP-45					1		220			
							84					
Łódź	Teofilów		Żużlobeton /żużel kotłowy z fabryki „Anilina”/	8	64	106		2	180 280	3	91	60
	Dąbrowa	blok 549	Żużlobeton /z Zakładów Produkcji Betonów „Dąbrowa”/	6	68	99		5	300 290 380 380 380	3	95	120
	Wielkopolska	blok 63	Pianogazosilikat /z pyłów dynamicznych z Elektrociepłowni/. Żużlobeton /żużel paleniskowy z cementowni/.	6	65	105		5	320 250 370 440 430	9	87	110
Katowice	Osiedle Marchlewskie-go	blok 145	Żwirbeton /żwir ze żwiru Olza i Lubomia/, gazobeton, cegła, gips.	7	53	79		5	580 830 550 2140 680	10	89	
	Osiedle 1000-lecia	blok C-10	- " - - " -	7	61	92		2	200 140	3	96	110
Świętochłowice	Osiedle Młodych	blok 4	Kruszywo aglomeracyjne, pumeks z hut „Pokój” i „Lenina”, pospółka z Wielmierzowic, pianogazosilikat.	9	100	102		7	260 1100 350 530 370 350 190	9	91	90
Mysłowice	Osiedle	blok 71	Kruszywo aglomeracyjne z Bytomia, elementy żwiru na bazie pospółki z Wielmierzowic	6	66	97		1	270	3	89	60
Zagórze	Metz	blok 20	Cegły: pełna, silikatowa, dziurawka.					6	170 370 60 130 170 190			



Rys. 3. Wyniki pomiarów mocy dawki na różnych kondygnacjach

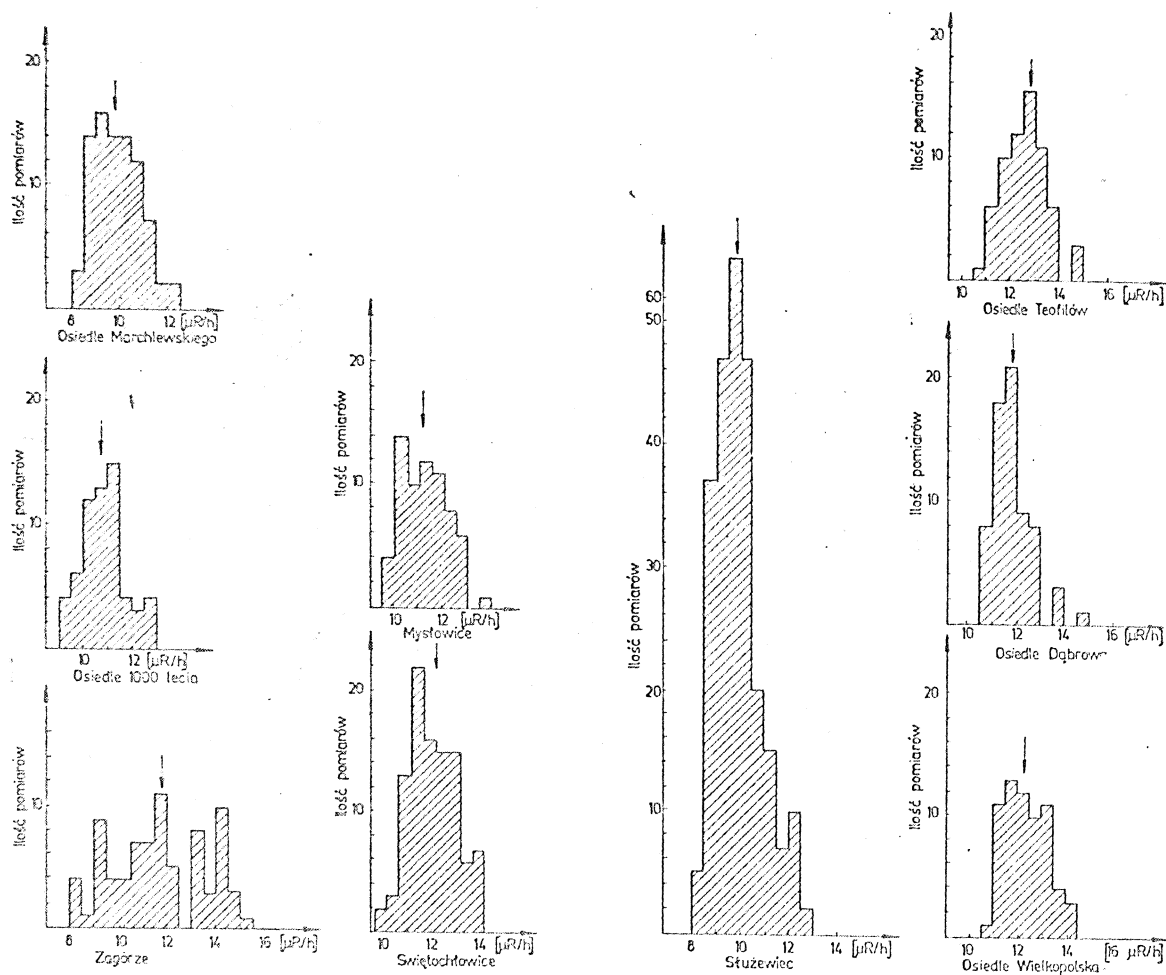
budynkach w osiedlu „Służewiec” nie wykazują znacznych rozrzutów, uznano, że wartość średniej arytmetycznej można przyjąć jako reprezentatywną dla badanego osiedla. Wniosek ten wykorzystano przy opracowywaniu wyników dla pozostałych badanych osiedli.

Na rys. 4 przedstawiono histogramy mocy dawek zmierzonych w mieszkaniach wszystkich badanych osiedli oraz zaznaczono na nich wartości średniej arytmetycznej.

Porównanie średnich wartości mocy dawek zmierzonych w budynkach oraz na otwartej przestrzeni poza budynkami nie wykazuje występowania istotnych różnic. Wartości te dla budynków mieszczą się w granicach $79 \div 106$ mrad/rok oraz dla otwartej przestrzeni w granicach $60 \div 160$ mrad/rok.

Znaczne rozrzuty wykazują wyniki pomiarów stężeń ^{222}Rn w powietrzu, otrzymane dla poszczególnych mieszkań tego samego osiedla oraz dla różnych osiedli. Jest to związane przede wszystkim z różnym stopniem przewietrzania mieszkania w okresie poprzedzającym pobór prób oraz z różną zawartością ^{226}Ra w materiałach budowlanych. Wartości stężeń ^{222}Rn w powietrzu zmierzone w budynkach mieściły się w granicach $140 \div 2140$ pCi/m³ i były zawsze większe od wartości otrzymanych poza budynkami. Te ostatnie mieściły się w granicach $60 \div 160$ pCi/m³. Wyróżniały się przy tym trzy szczególnie wysokie wartości, a mianowicie 1100 pCi/m³ w budynku z betonu na Służewcu, 1100 pCi/m³ w budynku z kruszywa agloporytowego z pumeksem z hut „Pokój” i „Lenin” w Świętochłowicach oraz 2140 pCi/m³ w budynku z żużlobetonu Osiedla im. Marchlewskiego w Katowicach. Ta ostatnia wartość stężenia stanowi około 21% największej dopuszczalnej wartości [14].

Stosując zależności Hultqvista [15] można obliczyć moc dawki działającą na całe ciało



Rys. 4. Histogramy wartości mocy dawek dla badanych osiedli (strzałki wskazują wartość średnią)

w wyniku napromieniania zewnętrznego promieniowaniem gamma, pochodzącym od produktów rozpadu ^{222}Rn . Wartość ta wynosi dla mieszkania w Osiedlu im. Marchlewskiego w Katowicach około 30 mrad/rok.

Podziękowanie

Autorzy składają serdeczne podziękowanie Panu mgr inż. J. Borowskiemu, Kierownikowi Zakładu Elementów Budowlanych Instytutu Budownictwa Mieszkaniowego, oraz Pani inż. arch. M. Grąbczewskiej, adiunktowi tego Zakładu, za pomoc przy programowaniu przeprowadzonych badań i organizowaniu dostępu do lokali mieszkalnych.

Ауорзы дзёкуауу рёвнёуу теснїком СЛОУ — Тересї Олкоскїей, Мїтославуу Вїлкосу оуау Радлауу Остроскїему за труд влоуоуу пры пресуовадзанїу помяруу тереносу.

Рёкопис отрууано 17 стусуна 1969

ЛІТЕРАТУРА

1. J. PEŃSKO: Environmental Radiation Measurements in Poland by Means of Scintillation Methods, International Congress on the Environmental Radiation Protection Connected with the Development of the Pacific Use of Nuclear Energy, Toulouse, 1967.
2. J. PEŃSKO: Dosimetry of Environmental Gamma-radiation in Poland by Means of Gamma-ray Spectra in the Field, *Nukleonika* 12, 965-975 (1967).
3. J. PEŃSKO: Variations of the Gamma-ray Background Dose Rates and Atmospheric Radon Concentration in Warsaw, *Atompraxis*, 13, 310-312 (1967).
4. J. PEŃSKO, T. WARDASZKO, M. WOCHNA: Natural Atmospheric Radioactivity and its Dependence on Some Geophysical Factors, *Atompraxis* 14, 255-258 (1968).
5. J. PEŃSKO: Absolute Method of the Gamma-ray Background Determination by Means of NaI(Tl) Scintillation Counter, *Nukleonika* 12, 319-331 (1967).
6. J. PEŃSKO: Тло промїенїованїа гамма в Polsce, *PTJ* 45, 388 (1968).
7. J. PEŃSKO, M. WOCHNA: Semiconductor Detection System for ^{222}Rn Determination in Atmospheric Air, International Symposium on Nuclear Electronics and Radioprotection, Toulouse, March 4-8, 1968.
8. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Supplement No. 17 A(3838), New York 1958.
9. M. BARBER: Radioactivity Induced in Building Materials, CERN, 67-25 (1967).
10. Л. А. ПЕРЦОВ: Некоуорые радїацїонно-генетїескїе асескты мїкроклїматас строснїей, Атом-їздат, Москва 1967.
11. M. DAKOWSKI, J. KOWNACKI, H. LANCMAN, Z. WILHELM: Баданїе радїоактувносї зузлї стососуных до продукеїї матерїалёуу сїенных. IBJ, Raport No. 269 (I-A) 1961.
12. J. PEŃSKO, M. BYSIEK: The Gamma-Radioactivity of Building Materials for the Construction of Low Background Laboratories. Report No. CLOR-20.
13. T. WARDASZKO, J. PEŃSKO, R. SZEPEK: A Scintillation Method for Rn-222 Determinations. Report No. CLOR-28.
14. Basic Safety Standards for Radiation Protection, IAEA, Vienna 1962.
15. B. HULTQVIST: Studies on Naturally Occurring Ionizing Radiations, Kgl. Svenska Vetenskapsakademїens Handlingar, Vol. 6, Ser. 4, No. 3.

Е. Пёуско, Т. Вардаско, К. Мамоуи

ІЗМЕРЕНІА ІОНІЗІРУЮЩЕГО ІЗЛУЧЕНІА В НЕКОУОРЫХ ЗДАНІАХ В ПОЛШЕ

Резюме

Сконструїроваи переноснїй дозїметр с іонїзацїонной камерой высосого давлеснїа для ізмеренїа мосїносїей доз на уровне натуральносго фона. Ізмерена мосїносїа доз натуральносго фона ізлученїа а таёке конценурацїа радона в 97 кваруїрах новых жїлых домов: в Эксперїментальном Посёлке „Служесец” в Варшаве, в 3 посёлках в г. Лодзь и в 5 посёлках в районе Горно-сїлесосго Промышленносго Округа. В эуїх посёлках бїлї іспользованы тїпїчнїе для новосго

стройства стройматериалы, изготовленные из отходов металлургической промышленности (топочный и котельный шлаки), а также из летучих зол из теплоэлектростанции.

Обнаружено, что мощности доз натурального фона излучения одинаковы как в зданиях так и снаружи зданий, а концентрация радона в воздухе в квартирах выше в несколько раз чем снаружи здания.

J. Peńsko, K. Mamont, T. Wardaszko

MEASUREMENTS OF IONIZING RADIATION IN SOME HOUSES IN POLAND

Summary

A portable background gamma-radiation dosimeter with a high-pressure ionization chamber was designed. The gamma background radiation dose rate and radon concentration in the air of the 97 new flats were measured. The flats were selected in the houses of the experimental settlement in Służewiec (quarter of Warsaw), of three settlements of Łódź, and of five settlements of the Upper Silesian Industrial Area.

For the construction of these settlements building materials typical for new constructions in Poland were used, such as products derived from metallurgical wastes like slag or boiler ash.

The estimated dose rates were similar in the houses to those outdoors, but the radon concentration inside the buildings was several times higher.