

TADEUSZ MAJLE, ZDZISŁAW RÓŻYCKI

PROMIENIOTWÓRCZOŚĆ MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH

Z Zakładu Ochrony Radiologicznej i Radiobiologii Państwowego Zakładu Higieny
w Warszawie

Kierownik Zakładu: doc. dr hab. med. T. Majle

Badania radioaktywności materiałów budowlanych stanowią fragment badań poziomego tła promieniotwórczego środowiska człowieka. Obecność radionuklidów w materiałach budowlanych wpływa również na kształtowanie się innych elementów mikroklimatu w pomieszczeniach mieszkalnych. Zagadnienia te budzą zainteresowanie w wielu krajach, szczególnie obecnie, kiedy poszukuje się możliwości zagospodarowania ogromnych ilości przemysłowych żużli i pyłów właśnie jako surowców do produkcji materiałów budowlanych. W pracy przedstawiono wyniki ważniejszych badań wykonanych w Polsce i w innych krajach.

WSTĘP

Naturalne promieniowanie jonizujące pochodzi od śladowych ilości substancji promieniotwórczych w glebie, w skałach, w powietrzu, w materiałach budowlanych itp. oraz od promieniowania kosmicznego [9, 13]. Przyjmuje się, że dla przeciętnych obszarów na kuli ziemskiej roczna dawka na gonady od promieniowania naturalnego gamma wynosi 126 mremów. Z tego 50 mremów jest dawką od promieniowania kosmicznego, 50 mremów od promieniowania skorupy ziemskiej a 26 mremów pochodzi od promieniowania wewnętrznego radionuklidów wchłanianych do organizmu [14].

Pomiary wykonane przez Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej w latach 1962—1965 wykazały, że średnia moc dawki promieniowania gamma na terenach otwartych w Polsce wynosi około 6 μ R/h czyli około 53 mR/rok [9].

Źródłem promieniowania otrzymywanego z materiałów budowlanych są izotopy promieniotwórcze szeregu uranowo-radowego, torowego oraz potas ^{40}K . Oddziaływanie tych izotopów na organizm człowieka odbywa się poprzez ekspozycję zewnętrzną promieniowaniem gamma i beta oraz na drodze uwalniania do powietrza radionuklidów gazowych: radonu ^{222}Rn i toronu ^{220}Th , które przedostając się do wnętrza ustroju wraz z produktami swojego rozpadu, napromieniają cząstkami alfa, beta i fotonami gamma narządy wewnętrzne.

Międzynarodowe Stowarzyszenie Budowlanych (CIB) doceniając problemy zdrowotne, opracowało w 1961 r. projekt normy „Podstawowe badania materiałów budowlanych” i wprowadziło w nim punkt polecający przeprowadzanie normowych badań promieniotwórczości tych materiałów. Norma Polska PN/B-492 z 1949 r. dla nowowprowadzanych ma-

teriałów budowlanych zaleca szczegółowe badania ich właściwości zdrowotnych.

Radzieckie przepisy i normy budowlane i sanitarne [1] ograniczają w materiałach budowlanych maksymalną zawartość uranu i toru pozostających w równowadze promieniotwórczej z pochodnymi do 0,002% lub do maksymalnej aktywności 2×10^{-11} Ci/g dla sumy ważniejszych radionuklidów tych szeregów promieniotwórczych.

Na przestrzeni ostatnich lat ukazało się kilka publikacji dotyczących radioaktywności materiałów stosowanych w budownictwie, stwierdzających ich znaczne zróżnicowanie pod względem zawartości substancji promieniotwórczych.

W Polsce badaniem promieniotwórczości materiałów budowlanych zajmował się głównie *Peńsko* w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej oraz *Lipowski* w Katedrze Chemii i Technologii Materiałów Budowlanych na Politechnice Warszawskiej.

BADANIA RADIOAKTYWNOŚCI MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH

W 1961 r. ukazał się raport Instytutu Badań Jądrowych [2], w którym stwierdzono, że radioaktywność żużli stosowanych do produkcji materiałów budowlanych nie stanowi zagrożenia dla mieszkańców z uwagi na bardzo małe dawki promieniowania.

W roku 1963 *Peńsko* i wsp. opublikował pracę porównującą promieniotwórczość materiałów budowlanych pod kątem ich przydatności do budowy laboratoriów pomiarowych o niskim tle [10]. Pomierzone przez niego radioaktywności gamma skał, kruszyw, popiołów, żużli i gotowych materiałów budowlanych przedstawiono w tabeli I.

Tabela I

Średnia radioaktywność gamma surowców i gotowych materiałów używanych w budownictwie wyrażona w ilości fotonów na minutę i na gram masy według [10]

Żużel paleniskowy	35,13	Żwir	10,62
Granit	35,05	Cement zwykły	8,20
Popiół lotny	34,71	Pospółka	7,16
Żużel wielkopiecowy	30,10	Piaskowiec	6,80
Cegła czerwona	20,72	Piasek	5,44
Gлина ceglarska	19,87	Wapień	3,69
Porfir	17,72	Gips	3,14
Cement hutniczy	17,74	Kreda	3,11
Dolomit	14,10	Wapno palone	1,94
Bazalt	13,08	Anhydryt	0,75

W roku 1967 *Lipowski* dokonał pomiarów aktywności beta i gamma 35 próbek popiołów lotnych i żużli hutniczych z różnych rejonów Polski [5]. Stwierdził on, że aktywność beta próbek żużlu hutniczego zamyka się w przedziale 37,2 do 444,0 pCi/g i wynosi średnio 242,0 pCi/g. Aktywność beta próbek popiołów lotnych wynosi 27,9 do 313 pCi/g przy wartości średniej 191,0 pCi/g. Aktywności gamma próbek popiołów lotnych wynosiły odpowiednio 4,98 do 28,50 pCi/g, a próbek żużlu hutnicze-

go 6,69 do 18,20 pCi/g — średnio 12,2 pCi/g. Zasięg maksymalny cząstek beta wynosił średnio około 200 mg/cm², a energia maksymalna 6,60 MeV. Analiza widma wykazała obecność pierwiastków szeregu uranowego i torowego oraz potasu ⁴⁰K.

Pomiary wykonane w Instytucie Fizyki Politechniki Śląskiej wykazały, że rozpiętość aktywności pomiędzy próbkami popiołów pochodzących z trzech elektrowni różniły się do 26 razy dla promieniowania gamma i do 30 razy dla promieniowania alfa [3].

Aktywność cementu hutniczego z cementowni „Nowiny” wynosiła 300%, betonu komórkowego z popiołów z Łazisk — 750% a betonu z popiołów z elektrowni Łagisza — 900% aktywności wapna budowlanego z Góraźdzy.

Hamilton po zbadaniu w roku 1970 radioaktywności materiałów budowlanych używanych w W. Brytanii [4] podkreślił, że jest ona w dużym stopniu zależna od lokalnego środowiska i od geofizycznych właściwości surowca (Tabela II). Wśród tradycyjnych materiałów budowlanych (cegły z gliny, cegły silikatowe, cegły z agregatów krzemianowych, gipsu ze skał osadowych itp.) radioaktywność różniła się do 12 razy, a wśród nich cegła z gliny, będąca najbardziej popularnym materiałem budowlanym miała radioaktywność największą (3,8 pCi/g).

T a b e l a II

Średnia radioaktywność gamma materiałów budowlanych w Anglii wyrażona w pCi/g równoważnika radu według [9]

Gips ze skał magmowych z Południowej Afryki	17,0
Cegły z kamienia granitowego	6,9
Cegły z gliny	3,8
Cegły z agregatów skalnych (granit łupki, doleryt)	1,6
Gips (anhydryt) ze skał osadowych	1,2
Cegły wapniowo-silikatowe (wapno, granit, krzemień, żwir)	0,8

Bloki prefabrykatów z popiołu lotnego i cementu różniły się bardzo pomiędzy sobą koncentracją uranu, radu, toru i potasu z tym, że średnie wartości tych koncentracji były bliskie koncentracjom w ceglach granitowych, a największe co najwyżej dwukrotnie wyższe.

Badania wykonane w ZSRR [15] doniosły o dużej radioaktywności gliny (100—180 imp/min), większej aniżeli granitu (25—136 imp/min) oraz żużlu (58—125 imp/min). Potwierdziły dużą rozpiętość radioaktywności tych samych materiałów budowlanych i zależności od miejsca ich pochodzenia.

DAWKI PROMIENIOWANIA WEWNĄTRZ BUDYNKÓW

Dawka promieniowania wewnątrz budynku zależy od jego otoczenia, od rodzaju materiału budowlanego, jego gęstości i efektywnej liczby atomowej, od kondygnacji i wielkości pomieszczenia, grubości ścian i ich wykończenia, wentylacji, sposobu urządzenia wnętrza i wreszcie od miejsca pomiaru w samym pomieszczeniu. Powyższe czynniki wpływają na składową dawkę pochodzącą od promieniowania ziemi, od promieniowania kosmicznego, od materiałów budowlanych i wreszcie wpływają na koncentrację radionuklidów gazowych i ich pochodnych.

Peńsko i wsp. [10] oszacował oczekiwane wielkości dawek w różnych budynkach. Dla budynku z betonu lub z piaskowca otrzymał po 37 mrad/rok, a dla budynku z granitu lub z żużlu paleniskowego po 74 mrad/rok — wobec przyjętej z piśmiennictwa pomierzonej dawki 56 mrad/rok dla budynku z czerwonej cegły. Podkreślił przy tym, że różnica 18 mrad/rok dla budynku z żużlu i cegły jest porównywalna z dawkami genetycznymi otrzymywanymi przez populację ludzką w wyniku stosowania radiologii diagnostycznej. Jednocześnie eksplozje atomowe do listopada 1958 spowodowały wzrost średniej dawki rocznej tylko o 1,2 mrada.

Lipowski, na podstawie otrzymanych pomiarów aktywności i energii emitowanych kwantów gamma oraz założonej technologii budowlanej obliczył teoretyczną wielkość mocy dawki promieniowania gamma w izbie mieszkalnej z betonu żużlowego otrzymując $P_{\max} = 27,55 \times 10^{-3}$ mR/h i $P_{\text{sr}} = 19,59 \times 10^{-3}$ mR/h [5]. Następnie wyliczył, że człowiek przebywający w takim pomieszczeniu w ciągu 12 godzin na dobę może otrzymać w ciągu roku 86 mR przy średniej aktywności i 120 mR przy aktywności maksymalnej (bez uwzględniania promieniowania ze skorupy ziemskiej i kosmicznego). Autor zauważył, że dawka ta może ulec zwiększeniu, jeżeli ze ścian wydostaje się twarde promieniowanie beta. Nie analizował przy tym dawki od ^{222}Rn i ^{220}Th i ich pochodnych znajdujących się w powietrzu.

Peńsko i wsp. w r. 1968 przeprowadzili pomiary mocy dawek promieniowania gamma oraz pomiary stężeń radonu w domach należących do kilku typów budownictwa mieszkaniowego [11].

Program badań, który ustalono w porozumieniu z Instytutem Budownictwa Mieszkaniowego w Warszawie obejmował pomiary w kilku osiedlach w różnych rejonach Polski. Porównanie średniej wartości mocy dawek zmierzonych w budynkach oraz na otwartej przestrzeni nie wykazało występowania istotnych różnic.

Wartości te dla budynków mieściły się w granicach 79 do 106 mrad/rok a poza budynkami w granicach 60 do 160 mrad/rok) są to wartości dawek promieniowania gamma docierającego do punktu pomiarowego ze wszystkich źródeł). Nie stwierdzono zależności pomiędzy mocą dawki a wysokością kondygnacji, co sugeruje, że prawdopodobnie zachodzi kompensacja pomiędzy wzrostem natężenia promieniowania kosmicznego w miarę wzrostu wysokości a maleniem promieniowania ziemskiego.

Wyniki pomiarów zespołu *Peńsko* [11] wskazują na to, że obliczenia *Lipowskiego* [5] stwierdzające podwojenie mocy dawki tła naturalnego wewnątrz budynku są nieco zawyżone. Należy przy tym zauważyć, że *Lipowski* posłużył się technologią budowy z betonu żużlowego, która nie musiała być całkowicie spełniona przez budownictwowych w żadnym z osiedli kontrolowanych przez *Peńsko*. Szkoda, że autorzy ci [11] nie spróbowali powiązać pomierzonych mocy dawek w budynkach mieszkalnych z wynikami wcześniejszej pracy [10], stwierdzającymi wyraźne zróżnicowanie radioaktywności materiałów budowlanych.

Pomiary wykonane w W. Brytanii [6] wykazały, że dawki promieniowania ziemskiego (łącznie z dawką od materiałów budowlanych) wynosiły 40—60 mR/rok w budynkach z cegieł, 40—70 mR/rok w budynkach z kamieni, a w przypadku kamieni granitowych powyżej 80 mR/rok wobec 50 mR/rok przyjętych jako średnia dawka promieniowania gamma ziemskiego na terenie otwartym. Nie uwzględniono przy tym promieniowania beta oraz promieniowania izotopów radonu i ich pochodnych, któ-

re mogą gromadzić się w powietrzu niewentylowanego pomieszczenia. W piśmiennictwie nie znaleziono danych dotyczących budynków z betonów żuźlowych i z popiołów.

Badania radzieckie [15] doniosły, że największe moce dawek promieniowania gamma są w budynkach z betonu 18—21 $\mu\text{R/h}$ następnie z cegieł 12—20 $\mu\text{R/h}$ i z drewna 11—12 $\mu\text{R/h}$ na przestrzeni otwartej. Stwierdzono przy tym, że moce dawek na luźno zabudowanych przedmiotach są o około 10—20% niższe aniżeli wewnątrz miasta.

Doniesienia innych autorów [12] utrzymują, że moc dawki w budynkach drewnianych wynosi około 0,75 mocy dawki mierzonej poza budynkiem.

Koncentracja ^{222}Rn w budynkach mieszkalnych

Stężenie izotopów radonu w powietrzu jest rzędu 0,1 pCi/l dochodząc do 1,0 pCi/l na obszarach o dużej radioaktywności. W budynkach stężenie jest naogół większe. Pomiary wykonane w Szwecji, ZSRR, Bułgarii i na Węgrzech [7, 15, 16] wykazały, że średnie koncentracje radioaktywnych substancji wyrażone ekwiwalentnie w aktywności ^{222}Rn w budynkach wzniesionych z cegieł i nie wentylowanych przez kilka godzin wynosiły odpowiednio 1,28; 1,30; 1,53; 1,66 pCi/l wobec aktywności około 0,2 pCi/l na otwartym terenie.

Prace radzieckie, bułgarska i węgierska [1, 7, 15, 16] podkreślają olbrzymią rolę przewietrzania mieszkania i otoczenia całego budynku. Zwracają uwagę, że o ilości ^{222}Rn świadczy nie tylko radioaktywność użytych materiałów budowlanych, ale również konstrukcja budynku, technologia i wykończenie ścian.

Brak piwnicy, lub piwnica bez wentylacji powodują przenikanie ^{222}Rn z ziemi do pomieszczeń mieszkalnych. Strop drewniany przepuszcza więcej powietrza niż betonowy. Farba olejna utrudnia emanację gazów ze ścian itp. Powyższe czynniki tłumaczą to, że w Leningradzie najwyższą radioaktywność stwierdzono w budynkach drewnianych, następnie z cegły i z betonu [15].

W mieszkaniach koncentracja radonu maleje ze wzrostem kondygnacji. Podobnie jest na klatkach schodowych w domach drewnianych, ale odwrotnie na klatkach schodowych w domach o konstrukcji betonowej [15].

Ograniczenie dopuszczalnej zawartości izotopów promieniotwórczych w materiałach budowlanych wpływa na ograniczenie mocy dawki promieniowania gamma w budynku oraz na potencjalną ilość wydzielanych ze ścian izotopów radonu. Nie decyduje jednak o faktycznej koncentracji tych izotopów.

W pracy [1] w 13 z pośród 65 zbadanych pomieszczeń koncentracja ^{222}Rn przewyższała 3 pCi/l, a w trzech przypadkach przewyższała 100 pCi/l. Pomieszczenia były nie wentylowane przynajmniej przez 3 godziny. Tło promieniowania gamma wynosiło 12 do 15 $\mu\text{R/h}$ wobec 13—17 $\mu\text{R/h}$ na ulicy, co świadczyło o niewielkiej koncentracji radionuklidów w użytych materiałach budowlanych.

Należy tu podkreślić, że na wzrost koncentracji radonu wpływa również obecność radu w gazie świetlnym, szczególnie jeżeli pochodzi on z łupków bitumicznych (spaliny rzadko są natychmiast odprowadzane do kanałów kominowych). Podobnie zresztą tło promieniowania gamma wzrasta w pobliżu popielników pieców domowych [15].

Tóth obliczył, że populacja węgierska otrzymuje od promieniowania alfa pochodnych radonu znajdujących się w budynkach mieszkalnych dawkę roczną 800 mradów na nabłonek oskrzelowy i 120 mradów na całe płuca [16].

W cytowanej już pracy Peńsko [11] przedstawiono wyniki pomiarów stężenia radonu ^{222}Rn w powietrzu mieszkań. Stężenia te wynosiły 140—2140 pCi/m³ wobec 60—160 pCi/m³ na zewnątrz budynków. Rozrzut spowodowany był różną emanacją radonu z użytych materiałów budowlanych oraz różnym stopniem przewietrzania mieszkania w okresie poprzedzającym pomiar (próby starano się pobierać po 12-godzinny zamknięciu pomieszczeń). Największe stężenie 1100 pCi/m³ otrzymano w betonowym budynku na Służewcu w Warszawie i w budynku z kruszywa agloporytowego z pumeksem z hut „Pokój” i „Lenin” w Świętochłowicach 2149 pCi/m³ w budynku żużlobetonowym na osiedlu im *Marchlewskiego* w Katowicach. Dla tego ostatniego budynku obliczono moc dawki działającą na całe ciało w wyniku napromieniania zewnętrznym promieniowaniem gamma pochodzącym od produktów rozpadu ^{222}Rn . Wynosi ona aż 30 mrad/rok.

W roku 1970 wydane zostało zarządzenie Ministerstwa Zdrowia i Opieki Społecznej [17] oparte na zaleceniach ICRP, w którym określono maksymalną dopuszczalną koncentrację ^{222}Rn w powietrzu dla ogółu ludności równą 1000 pCi/m³. Koncentracje radonu pomierzone przez zespół *Peńsko* stały się więc wielkościami powyżej dopuszczalnych. Pamiętać jednak należy, że rzadko zdarza się, aby mieszkanie było całkowicie zamknięte dłużej niż przez 12 godzin.

Promieniotwórczość materiałów budowlanych w aspekcie mikroklimatu pomieszczenia

Właściwości materiałów budowlanych decydują o mikroklimacie pomieszczenia. Przy czym mikroklimat to nie tylko temperatura, wilgotność, nasłonecznienie, oświetlenie, akustyka itp. tradycyjnie rozumiane parametry, ale również natężenie i rodzaj pola elektrycznego, natężenie promieniowania jonizującego, skład chemiczny i koncentracja gazów, aerozoli i pyłów w powietrzu, ruch powietrza, mikroflora itp.

Obecność radionuklidów stanowi zatem nie tylko źródło obciążenia mieszkańców pewną dawką promieniowania, ale wpływa również na ich stan zdrowia, za pośrednictwem elektroklimate, który zależy od stanu jonizacji powietrza.

Zespół pracowników Instytutu Techniki Budowlanej w Warszawie podjął w 1969 roku badania nad opracowaniem parametru „wartości użytkowej” dla oceny rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych budynków mieszkalnych [3]. W ramach badań pilotowych w I.T.B. przy współpracy z AM w Poznaniu zbadano wpływ mikrośrodowiska na organizm zwierząt hodowanych w klatkach wykonanych z 10-ciu różnych materiałów. Stwierdzono brak odstępstw od normy u zwierząt umieszczonych w klatkach z drewna, z cegieł ceramicznych i sylikatowych, z betonu kruszowego, gipsowego i keramzytowego. Odchylenia wykazały zwierzęta hodowane zwłaszcza w klatkach z żużlobetonu, betonu komórkowego na popiołach lotnych i z polichlorku winylu. W tych klatkach stwierdzono odmienny niż w pozostałych klatkach stan jonizacji powietrza.

Pomiary radioaktywności wykazały, że w klatkach z żużlobetonu i z betonu komórkowego na popiołach lotnych — tło wzrastało do około 130% wartości tła otoczenia klatek (wobec 90% dla klatek z drewna i z monolitu gipsowego). Zespół I.T.B. przygotowuje się do podobnych badań statystycznych dla ludzi zamieszkujących wybrane osiedla.

To samo doniesienie [8] sygnalizuje, że w kilku instytucjach prowadzony jest szereg prac badawczych nad właściwościami popiołów lotnych i możliwościami ich gospodarczego zastosowania. Prace te są koordynowane w jednym problemie resortowym. Jednak przy pozycji „klasyfikacja popiołów lotnych według promieniowania” brak jest nazwy jednostki wykonującej badanie, co sugeruje, że temat ten nie jest prowadzony.

PODSUMOWANIE

Opierając się na cytowanych pracach i doniesieniach można stwierdzić, że pewne materiały budowlane w połączeniu z określoną technologią budowlaną mogą powodować wzrost mocy dawek promieniowania gamma w stosunku do promieniowania na terenie otwartym. Wzrost ten dochodzi do 100%. Natężenie promieniowania od materiałów budowlanych traktowane jest obecnie w Polsce na równi z innymi naturalnymi źródłami promieniowania i brak jest przepisów normalizujących dopuszczalną koncentrację radionuklidów w tych materiałach.

Tendencję Międzynarodowej Komisji Ochrony Radiologicznej (ICRP) do jaknajdalej idącego zmniejszania narażenia ludności na promieniowanie należałoby rozszerzyć i na ograniczenie zastosowania materiałów budowlanych o największej radioaktywności. W Polsce materiałami tymi są: betony zawierające żużle hutnicze i popioły lotne.

Ponadto przeprowadzone i kontynuowane badania wykazują negatywny wpływ betonów zawierających popioły lotne i żużle wielkopieczowe na ogólny mikroklimat pomieszczeń.

Nie należy wznosić z tych materiałów budynków przeznaczonych dla dzieci i młodzieży oraz unikania wznoszenia budynków dla długotrwałego przebywania w nich ludzi.

Konieczne jest zapewnienie sprawnej, niezależnej od pory roku wentylacji pomieszczeń w budynkach z żużli hutniczych i popiołów lotnych, aby zmniejszyć koncentrację gazowych radionuklidów i ich pochodnych.

Т. Майле, З. Ружицки

РАДИОАКТИВНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Резюме

Работа является обзором отечественной литературы и важнейших иностранных публикаций относящихся к радиоактивности строительных материалов. Представленные данные свидетельствующие о неодинаковой концентрации радиоактивных веществ в различных материалах, о влиянии этих радионуклидов на фон гамма радиации и на концентрацию изотопов радона и его производ-

ных в жилых помещениях. В заключении авторы рекомендуют ограничить пользование наиболее радиоактивными строительными материалами и подчеркивают необходимость обеспечения жилых помещений бесперебойной вентиляцией.

T. Majle, Z. Różycki

RADIOACTIVITY OF BUILDING MATERIALS

Summary

The authors review the Polish publications and more important foreign papers on the problem of radionuclides presence in building materials. Data are presented indicating differences in the content of radionuclides in various materials and the influence of radionuclides on background gamma radiation and on the concentration of radon isotopes and its daughters in flats. The authors postulate finally certain restrictions in the use of most radioactive building materials and stress the necessity of efficient ventilation of dwelling houses.

PIŚMIENNICTWO

1. *Afanasiev M. K., Krisyuk E. M.*: K woprosu o normirovanii soderzhanija jestiestwiennych radioaktywnych wieszczestw w stroitielnych materialach. *Gig. i Sanit.* 1967, nr 12, 32, 64. — 2. *Dakowski M., Wilhelmi Z.*: Badanie radioaktywności żużli stosowanych do produkcji materiałów budowlanych. *Rap. IBJ* nr 269 (J-A) 1961. — 3. *Grabowska M.*: Wpływ nowych rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych budynków mieszkalnych na zdrowie mieszkańców. *Biul. Inf. I.T.B.*, 1973 nr 3 (7), 59. — 4. *Hamilton E. T.*: The Relative Radioactivity of Building Materials. *Am. Ind. Hyg. Ass. J.* 1971, 32, 398. — 5. *Lipowski L.*: Zagadnienia radiologiczne materiałów budowlanych. *Praca nauk. P. W. Budownictwo* Nr 3, 1968. — 6. *Menzel R. G.*: Uranium, Radium and Thorium content in phosphate Rocks and their Possible Radiation Hazard. *J. Agric. Food Chem.*, 1968, 16, 231. — 7. *Michajłow M. T., Jotow M., Pietkow T., Janackova M.*: Isledowanije zamyrsenocitta na wyzducha ot dyszczernite produkti na radona w żiliszczni pomieszczenija w rajon z powiszen jestestwien radioaktiwien fon. *Rengien i Radioł.*, 1967, 6, 112. — 8. *Paprocki A.*: Popiół lotny jako surowiec do przetwarzania na materiały budowlane. *Biul. Inf. C.O.J.B. Mat. Bud.*, 1974, 1, 3. — 9. *Peńsko J.*: Tło promieniowania gamma w Polsce. *PTJ*, 45 (388), 1968. — 10. *Peńsko J., Byrek M.*: The gamma radioactivity of building materials for the construction of low background laboratories. *Rap. CLOR* Nr 20, W-wa, 1963.

11. *Peńsko J., Mamot K., Wardaszko T.*: Pomiarы promieniowania jonizującego w niektórych budynkach mieszkalnych w Polsce. *Nukleonika* 1969, 24, 415. — 12. *Peńsko J.*: Sposób oceny dawki populacyjnej od naturalnego tła promieniowania dla kontroli narażenia okolicy obiektów jądrowych. *Nukleonika*, 1974, 19, 47. — 13. *Polański W.*: Geochemia izotopów. *Wyd. Geol.* 1961. — 14. *Repprt of UNSCEAR, Supplement Nr 16 (A) 5216.* New York, United Nations, 1962. — 15. *Szafir A. I.*: Żiliszcze kak obiekt radiacjonno-gigieniczeskich isledowanij. *Gig. i Sanit.* 1961, nr 6, 26, 14. — 16. *Tóth Á.*: Determining the respiratory dosage from RaA, RaB and RaC inhaled by the population in Hungary. *Health Physics* 1972, 23, 281. — 17. Zarządzenie Min. Zdr. i Op. Społ. oraz Pełn. Rz. d/s Wyk. En. Jądr. z dn. 15.XII.1969 w sprawie największych dopuszczalnych dawek promieniowania jonizującego. *Monitor Polski* nr 1 z dn. 13.I.1971.

Dn. 15.VIII.1974.

00-791 Warszawa, ul. Chocimska 24.