

# BUDUJEMY DOM... - OCENA PROMIENIOTWÓRCZOŚCI NATURALNEJ WYBRANYCH SUROWCÓW I MATERIAŁÓW BUDOWLANÝCH

*We are building a house... evaluation of natural radioactivity of the selected raw and building materials*

Barbara PIOTROWSKA, Krzysztof ISAJENKO, Marian FUJAK,  
Joanna SZYMCZYK, Maria KRAJEWSKA

W Polsce systematyczne badania promieniotwórczości naturalnej w surowcach i materiałach budowlanych prowadzone są od 1980 r. W oparciu o wyniki badań prowadzonych przez Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR) i ponad 30 innych laboratoriów w naszym kraju powstała ogólnopolska baza danych z wynikami promieniotwórczości naturalnej. Baza ta jest nadzorowana przez CLOR i zawiera wyniki badań dla ponad 42 000 analizowanych próbek od 1980 r. do chwili obecnej. W artykule przedstawiono wyniki badań radioaktywności wybranych surowców i materiałów budowlanych, oceniono możliwość zastosowania ich w budownictwie mieszkaniowym oraz oceniono narażenie osób na promieniowanie jonizujące wynikające z zastosowania tych materiałów w budownictwie mieszkaniowym.

The systematic research of the natural radioactivity of raw and building materials has been performed in Poland since 1980. Based on the results of these studies, carried out both by the Central Laboratory for Radiological Protection (CLOR) and more than 30 other research laboratories in our country, the national database of measurements of natural radioactivity has been set up. The database is supervised by the CLOR and contains the results of the measurements for more than 42 000 analysed samples since 1980 up to now. In this paper shows results of studies natural radioactivity of the selected raw and building materials, estimated possibility used them in housing and estimated exposure of people on ionization radiation resulting from use these materials in housing.

**Słowa kluczowe:** materiały budowlane, promieniotwórczość naturalna,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  i  $^{228}\text{Th}$

**Key words:** building materials, natural radioactivity,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{228}\text{Th}$

## WSTĘP

Promieniowanie jonizujące jest naturalnym zjawiskiem, występującym w przyrodzie i towarzyszy gatunkowi ludzkiemu od początku jego istnienia. Naturalne izotopy promieniotwórcze znajdują się w naszym środowisku i oddziałują na nasze organizmy.

Jednym ze źródeł promieniowania naturalnego są radionuklidy w skorupie ziemskiej, które przetrwały tam od czasu powstania planety, a także izotopy, będące produktami ich rozpadów np.  $^{40}\text{K}$ ,  $^{236}\text{Ra}$  oraz  $^{228}\text{Th}$ . Występują one w skałach i minerałach, które używamy w budownictwie. W przypadku zbyt dużego stężenia aktywności tych izotopów w zastosowanych wyrobach budowlanych może to stanowić niepożądane źródło zwiększenia mocy dawki promieniowania jonizującego w pomieszczeniach ponad jej normalny poziom.

Na podstawie wyników badań radioaktywności naturalnej surowców i materiałów budowlanych, prowadzonych przez Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej i po-

nad 30 innych placówek pomiarowo-badawczych w naszym kraju, stworzono ogólnopolską bazę danych wyników tych pomiarów. Zawiera ona rezultaty badań prowadzonych od 1980 r. do chwili obecnej.

## PRZEPISY PRAWNE

Metodyka badań surowców i materiałów budowlanych została dokładnie opisana w Poradniku 455/2010 Instytutu Techniki Budowlanej pt. „Badania promieniotwórczości naturalnej surowców i materiałów budowlanych”.

Przedmiotem tego poradnika są procedury związane z ochroną przed promieniowaniem jonizującym, którego źródłem mogą być naturalne pierwiastki promieniotwórcze występujące w surowcach i w odpadach przemysłowych pochodzenia mineralnego, stosowanych do produkcji materiałów i wyrobów budowlanych. Ponadto, poradnik przedstawia: asortyment kontrolowanych surowców naturalnych i odpadów przemysłowych pochodzenia mineralnego, wykorzysty-

wanych w budownictwie oraz oferowanych materiałów i wyrobów budowlanych, podlegającym badaniom kontrolnym, podstawowe wymagania, metody badania stężeń zawartych w nich naturalnych pierwiastków promieniotwórczych, oraz zasady interpretacji wyników badań i oceny ich zgodności z ustalonymi wymaganiami.

Podstawowym aktem prawnym określającym wymagania stawiane surowcom i materiałom budowlanym stosowanym w różnych rodzajach budownictwa jest Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 2 stycznia 2007 roku w sprawie wymagań dotyczących zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-228 w surowcach i materiałach stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i inwentarza żywego, a także w odpadach przemysłowych stosowanych w budownictwie oraz kontroli zawartości tych izotopów (Dz.U. nr 4/2007 poz. 29).

Rozporządzenie to klasyfikuje możliwość zastosowania różnych surowców i materiałów budowlanych w różnych typach budownictwa poprzez określenie dwóch parametrów:

1.) Wskaźnika aktywności  $f_1$ , określającego zawartość naturalnych izotopów promieniotwórczych (jest to wskaźnik narażenia całego ciała na promieniowanie gamma), zdefiniowanego za pomocą wzoru:

$$f_1 = \frac{S_K}{3000} + \frac{S_{Ra}}{300} + \frac{S_{Th}}{200}$$

gdzie:  $S_K$ ,  $S_{Ra}$ ,  $S_{Th}$  - oznaczają odpowiednio stężenie promieniotwórcze izotopów potasu K-40, radu Ra-226 oraz toru Th-228 wyrażone w [Bq/kg].

2.) Wskaźnika aktywności  $f_2$ , który określa zawartość radu Ra-226 (jest to wskaźnik narażenia nabłonka płuc na promieniowanie alfa emitowane przez produkty rozpadu radonu pobrane wraz z powietrzem przez układ oddechowy człowieka):

$$f_2 = S_{Ra}$$

W zależności od wartości tych dwóch wskaźników, badany materiał może być stosowany w różnych typach budownictwa. I tak, wartości wskaźników  $f_1$  oraz  $f_2$  nie mogą przekraczać o więcej niż 20% wartości:

1.)  $f_1=1$  i  $f_2=200$  [Bq/kg] w odniesieniu do surowców i materiałów budowlanych stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi lub inwentarza żywego;

2.)  $f_1=2$  i  $f_2=400$  [Bq/kg] w odniesieniu do odpadów przemysłowych stosowanych w obiektach budowlanych naziemnych wznoszonych na terenach zabudowanych lub prze-

znaczonych do zabudowy w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego oraz do niwelacji takich terenów;

3.)  $f_1=3,5$  i  $f_2=1000$  [Bq/kg] w odniesieniu do odpadów przemysłowych stosowanych w częściach naziemnych obiektów budowlanych niewymienionych w punkcie 2 oraz do niwelacji terenów niewymienionych w punkcie 2;

4.)  $f_1=7$  i  $f_2=2000$  [Bq/kg] w odniesieniu do odpadów przemysłowych stosowanych w częściach podziemnych obiektów budowlanych, o których mowa w punkcie 3, oraz w budowlach podziemnych, w tym w tunelach kolejowych i drogowych, z wyłączeniem odpadów przemysłowych wykorzystywanych w podziemnych wyrobiskach górniczych.

Dodatkowo przy stosowaniu odpadów przemysłowych do niwelacji terenów, o których mowa w punktach 2 i 3, oraz do budowy dróg, obiektów sportowych i rekreacyjnych zapewnia się, przy zachowaniu wymaganych wartości wskaźników  $f_1$  i  $f_2$ , obniżenie mocy dawki pochłoniętej na wysokości 1 m nad powierzchnią terenu, drogi lub obiektu do wartości nieprzekraczającej 0,3  $\mu$ Gy/h, w szczególności przez położenie dodatkowej warstwy innego materiału.

W niniejszym opracowaniu przeprowadzono analizę możliwości wykorzystania surowców i materiałów budowlanych w budownictwie.

#### WYNIKI BADAŃ RADIOAKTYWNOŚCI NATURALNEJ SUROWCÓW I MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH W LATACH 1980-2013

Wyroby budowlane można podzielić ze względu na sposób ich otrzymywania. Wyróżniamy zatem materiały budowlane pochodzenia naturalnego, np. kamień, piasek oraz pochodzenia przemysłowego, np. cement, beton, cegły, wapno. Również wiele odpadów znalazło zastosowanie w produkcji materiałów budowlanych. Popioły i żużle są stosowane do wykonywania podbudowy dróg i ulic, ale również przy produkcji niektórych cementów czy materiałów ściennych.

W popiołach lotnych i żużlach powstałych w wyniku spalania węgla w elektrowniach następuje kilkukrotne zagęszczenie zawartości radionuklidów, przy czym jego stopień zależy od jakości spalanego węgla, sprawności spalania, rodzaju kotłów i wielu innych czynników.

Wszystkie materiały budowlane pochodzenia mineralnego zawierają naturalne pierwiastki promieniotwórcze, z których największe znaczenie mają  $^{40}\text{K}$ , pierwiastki szeregu uranowo-radowego, w tym  $^{226}\text{Ra}$  oraz szeregu torowego ( $^{228}\text{Th}$ ). W Tabeli 1 przedstawiono zestawienie stężeń tych radionuklidów w różnych materiałach budowlanych.

**Tabela 1.** Stężenia naturalnych izotopów promieniotwórczych: potasu  $^{40}\text{K}$ , radu  $^{226}\text{Ra}$  i toru  $^{228}\text{Th}$  w wybranych surowcach i materiałach budowlanych w latach 1980–2013

**Table 1.** Concentrations of natural radioactive isotopes: potassium  $^{40}\text{K}$ , radium  $^{226}\text{Ra}$  and thorium  $^{228}\text{Th}$  in selected raw and building materials in period 1980-2013

Rodzaj materiału lub surowca budowlanego	Liczba próbek	Stężenie [Bq/kg]					
		$^{40}\text{K}$		$^{226}\text{Ra}$		$^{228}\text{Th}$	
		Średnie	Zakres (min - max)	Średnie	Zakres (min - max)	Średnie	Zakres (min - max)
piasek	158	288,05	0 - 875	23,19	0 - 115,6	19,52	0 - 88,2
żwir	35	552,06	324 - 719,2	23,02	13 - 33	20,18	15 - 43,2
marmur	20	119,41	0 - 1907,3	9,64	0 - 60,3	6,26	0 - 99,9
wapno palone	28	38,16	1 - 118,6	27,89	10 - 204,3	8,65	0 - 85,7

Cd. Tabeli 1

gips	252	44,73	0 - 174	142,95	0 - 641,6	3,92	0 - 44,8
granit	48	1162,49	154 - 1752,6	66,38	4,5 - 251	84,25	1,7 - 382
beton	2956	417,88	48 - 1015	58,87	1,5 - 355,6	45,11	3 - 383,9
cegła	2731	546,41	66 - 1330	35,60	0,1 - 127,8	31,75	0 - 130
cement	1560	405,52	6 - 7149,2	44,91	0 - 119	26,03	6,6 - 78,3
dachówka	49	517,37	332 - 887	42,59	26 - 60	43,47	31 - 57
klinkier	89	185,88	17 - 482	29,54	8,7 - 60,2	17,26	0,5 - 38,3
pustak betonowy	435	458,72	167 - 959	64,44	11 - 656	48,37	10 - 94,9
ceramika	4649	684,41	55 - 1368	51,12	1 - 214	49,25	0 - 142,4
spoiwo cementowe	4	299,03	89 - 430	83,75	31,8 - 181,9	51,23	10,2 - 93,2
popioły	5082	720,93	0 - 8774,7	99,10	0 - 1378	77,23	0 - 194
żuźle	4967	452,63	0 - 4122	119,35	4 - 482	52,81	0,1 - 188
<b>razem</b>	<b>23063</b>	<b>430,85</b>	<b>0 - 8774,7</b>	<b>57,65</b>	<b>0 - 1378</b>	<b>36,58</b>	<b>0 - 383,9</b>

Największe średnie stężenie  $^{40}\text{K}$  zanotowano dla materiałów takich jak: granit, popioły, materiały ceramiczne, cegły oraz żwir. Wśród materiałów o najwyższej zawartości izotopu  $^{226}\text{Ra}$  można wymienić gips, a także popioły i żużel. Natomiast największe stężenie  $^{228}\text{Th}$  występuje w granicie, popiołach oraz żużlach.

Najmniejsze średnie stężenie  $^{40}\text{K}$  występuje w wapnie palonym. Najniższą zawartość  $^{226}\text{Ra}$  obserwujemy w marmurze. Natomiast jeśli chodzi o stężenie  $^{228}\text{Th}$  najmniejsze wartości zanotowano dla gipsu, marmuru i wapna palonego.

#### MOŻLIWOŚĆ ZASTOSOWANIA WYBRANYCH SUROWCÓW I MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH W BUDOWNICTWIE MIESZKANIOWYM

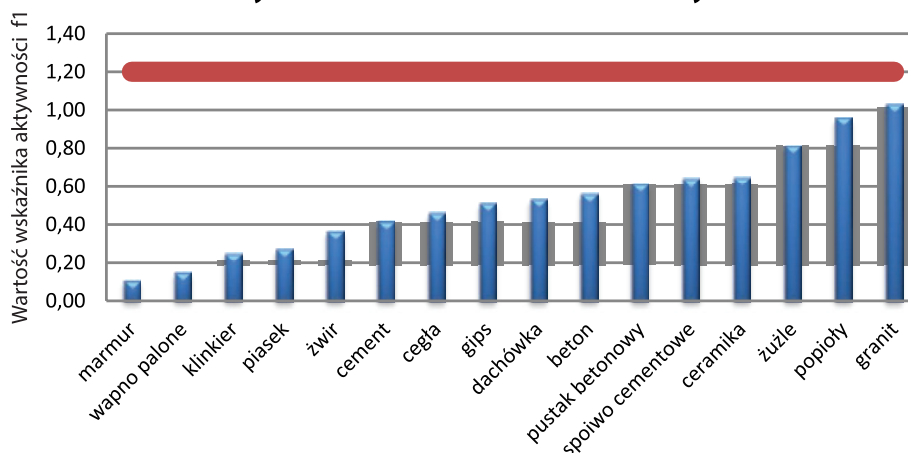
Ludzie spędzają w budynkach większą część swojego życia (około 80%), dlatego regulacja prawna dotycząca para-

metrów przydatności surowców i materiałów budowlanych przeznaczonych dla budownictwa mieszkaniowego pod względem radiologicznym jest w pełni uzasadniona. Do oceny przydatności badanych materiałów korzysta się z obliczanych wskaźników aktywności  $f_1$  i  $f_2$ .

Na podstawie badań radioaktywności naturalnej surowców i materiałów budowlanych przeprowadzonych w latach 1980-2013, na rys. 1 przedstawiono średnie wartości współczynnika  $f_1$  dla różnych surowców i materiałów budowlanych wraz z oznaczeniem za pomocą czerwonej linii dopuszczalnej maksymalnej wartości tego współczynnika dla materiałów stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi.

Jak można zauważyć na rys. 1 wszystkie omawiane materiały i surowce budowlane można wykorzystać w budownictwie mieszkaniowym. Najniższe wskaźniki aktywności otrzymano dla marmuru, wapna palonego, klinkieru i piasku. Natomiast najwyższe dla żużli, popiołów i granitu.

### Wartość współczynnika aktywności $f_1$ dla różnych materiałów budowlanych

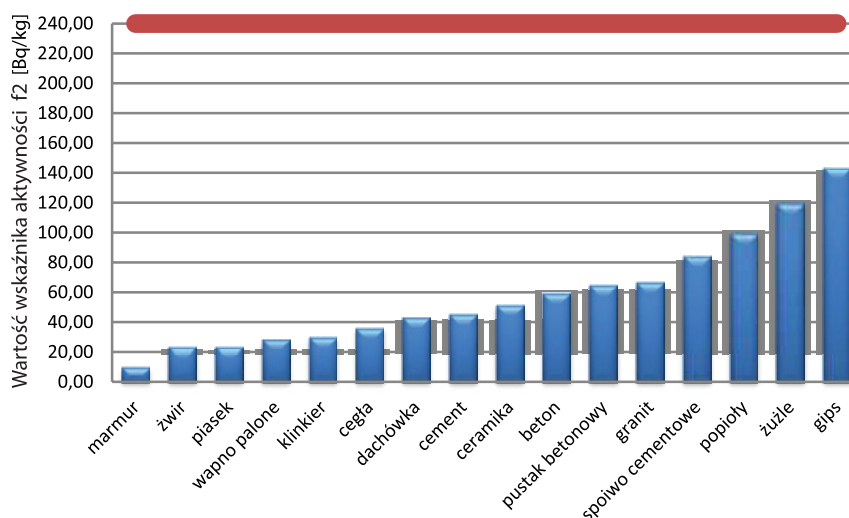


Rys. 1. Wartości wskaźnika aktywności  $f_1$  dla wybranych surowców i materiałów budowlanych, które mogą być zastosowane w budownictwie mieszkaniowym – wskaźniki aktywności nieprzekraczające wartości  $f_1 < 1,2$

Fig. 1. Value of activity index  $f_1$  for selected raw and building materials, which can be used in housing – activity index below value  $f_1 < 1,2$

Na kolejnym rysunku przedstawiono podobną klasyfikację. Tym razem surowce i materiały budowlane uszeregowano według wzrastającego wskaźnika aktywności  $f_2$ , który określa zawartość izotopu  $^{226}\text{Ra}$ .

### Stężenie izotopu Ra-226 w wybranych materiałach budowlanych



**Rys. 2.** Wartości wskaźnika aktywności  $f_2$  dla wybranych surowców i materiałów budowlanych, które mogą być zastosowane w budownictwie mieszkaniowym – wskaźniki aktywności nieprzekraczające wartości  $f_2 < 240$  Bq/kg

**Fig. 2.** Value of activity index  $f_2$  for selected raw and building materials, which can be used in housing – activity index below value  $f_2 < 240$  Bq/kg.

Z rys. 2. możemy odczytać, że podobnie żaden z materiałów nie przekracza maksymalnej dopuszczalnej wartości tj. 240 Bq/kg. Najniższymi wskaźnikami aktywności charakteryzują się: marmur, żwir, piasek, wapno palone, klinkier i cegła. Natomiast najwyższe zarejestrowano dla popiołów, żuźli i gipsu.

**Tabela 2.** Wartości wskaźnika aktywności  $f_1$  dla wybranych surowców i materiałów budowlanych w latach 1980-2013

**Table 2.** Value of activity index  $f_1$  for selected raw and building materials in period 1980-2013

Rodzaj materiału lub surowca budowlanego	Liczba próbek	F1	
		Średnia	Zakres (min - max)
piasek	158	0,27	0,01 - 1,09
żwir	35	0,36	0,25 - 0,55
marmur	20	0,10	0,01 - 1,32
wapno palone	28	0,15	0,04 - 1,15
gips	252	0,51	0 - 2,21
granit	48	1,03	0,10 - 3,02
beton	2956	0,56	0,07 - 3,13
cegła	2731	0,46	0,05 - 1,17
cement	1560	0,42	0,08 - 2,52
dachówka	49	0,53	0,39 - 0,69
klinkier	89	0,25	0,09 - 0,44
pustak betonowy	435	0,61	0,15 - 2,52
ceramika	4649	0,64	0,08 - 1,74
spoiwo cementowe	4	0,64	0,19 - 1,20
popioły	5082	0,96	0 - 5,29
żuźle	4967	0,81	0,04 - 2,53
<b>razem</b>	<b>23063</b>	<b>0,52</b>	<b>0 - 5,29</b>

W Tabeli 2 przedstawiono zarówno średnie wartości wskaźnika  $f_1$  jak i całe zakresy osiągniętych wartości dla poszczególnych materiałów budowlanych. Możemy zaobserwować, że w niektórych przypadkach maksymalne wartości są większe niż dopuszczalna norma, tzn.  $f_1 = 1,2$ . Są to jednak nieliczne przypadki, zazwyczaj wartości te zanotowano jedynie dla pojedynczych próbek, np. marmuru, gipsu, betonu, czy pustaków betonowych. Największy procent przekroczeń wskaźnika  $f_1$  zarejestrowano dla granitu. Wynosi on 27%. Na drugim miejscu plasują się popioły, gdzie próbki, dla których wartość wskaźnika  $f_1$  jest większa niż 1,2 stanowią 12% wszystkich zbadanych próbek.

### OCENA NARAŻENIA OSÓB WYNIKAJĄCA Z ZASTOSOWANIA SUROWCÓW I MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH W BUDOWNICTWIE MIESZKANIOWYM

Poza analizą wskaźników aktywności  $f_1$  i  $f_2$  w celu oceny przydatności materiałów bardzo ważne jest również określenie rocznej dawki efektywnej otrzymanej przez człowieka od danego materiału. W obliczeniach skorzystano ze wzoru:

$$D = 0,000316 S_K + 0,00316 S_{Ra} + 0,0486 S_{Th}$$

gdzie  $S_K$ ,  $S_{Ra}$ ,  $S_{Th}$  to odpowiednio stężenia  $^{40}K$ ,  $^{226}Ra$  i  $^{228}Th$  w Bq/kg.

Uwzględniono, że człowiek spędza w pomieszczeniach średnio 80% czasu życia, czyli około 7000 godzin. Wyniki obliczeń przedstawiono w Tabeli 3.

**Tabela 3.** Moc dawki dla wybranych surowców i materiałów budowlanych w latach 1980–2013

**Table 3.** Dose rate for selected raw and building materials in period 1980-2013

Rodzaj materiału lub surowca budowlanego	Liczba próbek	Roczna dawka efektywna [mSv/rok]	
		Zakres (min - max)	Średnia
piasek	158	0 - 0,86	0,21
żwir	35	0,17 - 0,43	0,28
marmur	20	0,01 - 1,26	0,10
wapno palone	28	0 - 1,02	0,08
gips	252	0 - 1,67	0,39
granit	48	0,06 - 2,56	0,79
beton	2956	0,05 - 2,41	0,42
cegła	2731	0,04 - 0,90	0,35
cement	1560	0,06 - 1,92	0,32
dachówka	49	0,30 - 0,52	0,41
klinkier	89	0,07 - 0,34	0,19
pustak betonowy	435	0,11 - 2,27	0,47
ceramika	4649	0,06 - 1,33	0,49
spoiwo cementowe	4	0,14 - 0,93	0,49
popioły	5082	0 - 4,01	0,70
żuźle	4967	0,03 - 1,93	0,62
<b>razem</b>	<b>23063</b>	0 - 4,01	0,39

Na podstawie otrzymanych wyników można powiedzieć, że najmniejsza średnia dawka promieniowania występuje dla wapna palonego, marmuru oraz klinkieru. Natomiast najwyższe dawki obserwuje się dla granitu, żużli oraz popiołów.

#### PODSUMOWANIE

Z punktu widzenia ochrony radiologicznej prowadzenie kontroli surowców i materiałów budowlanych zapewnia ludziom stosowanie bezpiecznych materiałów. Kontrola jest potrzebna, gdyż zdarzają się przypadki przekroczenia obowiązujących norm, zwłaszcza w przypadku surowców odpadowych. Wtedy bez szkody dla mieszkańców można je mimo wszystko wykorzystać, ale np. w budownictwie drogowym, a nie mieszkaniowym.

Na podstawie omówionych wcześniej wyników można powiedzieć, że ogólnie najniższą promieniotwórczością charakteryzują się materiały takie jak piasek, żwir, marmur, wapno palone, klinkier oraz cegły. Prawie nie obserwuje się dla nich przekroczenia wartości wskaźników  $f_1$  i  $f_2$ . Odpowiadają im także najniższe dawki promieniowania.

Natomiast najwyższe stężenia izotopów promieniotwórczych i zarazem najwyższe dawki efektywne zarejestrowano dla granitu, a także żużli i popiołów. Jest to zgodne z intuicją, ponieważ żuźel i popioły to surowce odpadowe, powstałe w wyniku spalania węgla i następuje w nich zagęszczenie izotopów promieniotwórczych.

*mgr Barbara PIOTROWSKA,  
mgr inż. Krzysztof ISAJENKO,  
mgr inż. Marian FUJAK,  
Zakład Dozymetrii,  
Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej,  
Warszawa  
Joanna SZYMCZYK,  
Maria KRAJEWSKA,  
Uniwersytet Warszawski,  
Wydział Chemii,  
Warszawa*