

Włodzimierz Mościcki, Henryk Orwat
Krystyna Skrodzka

POMIAR AKTYWNOŚCI MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH

Streszczenie. Stosując konwencjonalne metody detekcji kwantów gamma, cząstek alfa i beta, wysyłanych przez źródła promieniowania, zawarte w wyjściowych materiałach budowlanych w subekstremalnie niskich ilościach, określono orientacyjne aktywności właściwe badanych materiałów. W celu wyliczenia aktywności substancji promieniotwórczych w poszczególnych próbkach, zastosowano wzorce promieniowania wykonane na bazie naturalnych pierwiastków promieniotwórczych szeregu torowego.

1. Wstęp

Obeonność promieniowania jonizującego w wyjściowych materiałach budowlanych jest spowodowane przede wszystkim istnieniem w skorupie ziemskiej pierwiastków promieniotwórczych szeregu uranowo-radowego i torowego oraz potasu-40. Lokalnymi źródłami promieniowania mogą być również sztucznie wytworzone przez człowieka nuklidy promieniotwórcze. Powoduje to rozszerzenie się zasięgu wpływu źródeł promieniowania jonizującego na organizm człowieka, co zaczyna budzić niepokój wielu genetyków. W obecnym stanie wiedzy trudno z całą pewnością określić graniczne wartości dawki, nie powodującej zmian somatycznych lub genetycznych w organizmie człowieka.

Stosowane obecnie w szerokim zakresie materiały budowlane są w większości wypadków oparte na surowcach wyjściowych typu żużli i popiołów. Stwierdzenie obecności radionuklidów w tych materiałach i określenie ich aktywności stanowiło przedmiot badań prowadzonych przez Zespół Fizyki Jądrowej Instytutu Fizyki Politechniki Śląskiej, zaś celem publikacji jest przekazanie informacji o przyjętej metodzie pomiaru oraz wyników uzyskanych w trakcie tych badań. Prace w tym zakresie prowadzone były między innymi w Wielkiej Brytanii [1] a to ze względu na przypadki częstych zachorowań na białaczkę w niektórych rejonach Anglii. Z pracy P.R. Bursaha [2] wynika, że promieniowanie jonizujące stwierdza się nie tylko wewnątrz budynków ale i na zewnątrz, spowodowane radioaktywnością ścian i nawierzchni ulic. Wyniki tych badań zostały wielokrotnie potwierdzone w USA, Australii, Francji oraz Szwecji. Wartości wyliczonych dawek promieniowania na zewnątrz budynków zmieniają się od 50 mrad/rok na powierzchniach gleb o podłożu skał osadowych, do 200 mrad/rok w stosunku do podłoża ze skał

granitowych. Według F.J. Davisa [3] aktywność na hałdach odpadów z hut cynku daje dawkę promieniowania równą 1100 mrad/rok.

W czasie przygotowania masy betonowej z żużli hutniczych, wykryto [3] w pomieszczeniach, w których te masy przygotowano, aktywność właściwą radonu dochodzącą do $1,5 \cdot 10^{-11}$ Ci/l, tj. 5 razy większą od średniej aktywności właściwej tego pierwiastka w tych pomieszczeniach.

W Polsce badania w zakresie naturalnej promieniotwórczości materiałów budowlanych są prowadzone bardzo sporadycznie [4]. Na uwagę zasługuje praca L. Lipowskiego [5], który stwierdził, że radioaktywność γ wykazuje największą wartość dla żużli paleniskowych i hutniczych oraz dla popiołów lotnych, średnio w granicach od 10,5 pCi/g do 15,8 pCi/g. Natomiast średnia aktywność cegły czerwonej i betonu waha się w granicach 1,5 pCi/g do 7,0 pCi/g. Najniższą aktywność wykazują zwykle cementy portlandzkie i zaprawy wapienne, w granicach od 2,5 pCi/g do 5,0 pCi/g, najniższą zaś aktywność autor stwierdził dla kredy i gipsu.

2. Badania własne

Badania objęły 50 próbek wyjściowych materiałów budowlanych: sproszkowanych żużli i popiołów, gipsu, cegły i materiałów typu PCW. Pomiary promieniowania γ i α wykonano licznikiem scyntylicyjnym, do rejestracji cząstek β zastosowano licznik GM.

2.1. Aparatura

Do oszacowania aktywności właściwej γ próbek użyto licznika scyntylicyjnego z kryształkiem NaJ(Tl) o wymiarach 82 mm x 58 mm Hilgera Watts'a współpracującego z fotopowielaczem FEU-24. Stosowano wzmocnienie sygnału 10^3 razy. Próg dyskryminacji wynosił 10 V, odpowiadał on wartości energii traconych w scyntylicytorze $0,04$ MeV. Liczby impulsów zliczano przelicznikiem PEI-5. W celu określenia aktywności α stosowano licznik scyntylicyjny typu SSU-4 W ze scyntylicytorzem ZnS/Ag osłoniętym folią o grubości 1 mg/cm^2 . Sygnał wzmacniano 20 razy i dyskryminowano poniżej progu 7 V równoważnym energii cząstek α 1 MeV, rejestracji dokonywano przelicznikiem PT-67 a.

Do rejestrowania cząstek β użyto licznika GM typu BOH-42 o okienku grubości $2,9 \text{ mg/cm}^2$ współpracującego z przedwzmacniaczem PW-10. Impulsy wzmacniano 20 razy i rejestrowano przelicznikiem PT-67a. Detektory promieniowania osłonięte były warstwą ołowiu, w szczególności stanowisko pomiarowe detekcji γ obudowano warstwą ołowiu o grubości 100 mm. Dążyło to do zmniejszenia impulsów tła z 5500 c.p.m. do 900 c.p.m. Detektory promieniowania α i β umieszczone były w ołowianych domkach pomiarowych typu DO-1. Wartość tła dla detektora α wynosiła ok. 20 c.p.h, dla detektora β ok. 15 c.p.m.

3. Wzorce aktywności

Z uwagi na orientacyjny charakter przeprowadzonych pomiarów oraz praktyczną niemożliwość określenia rodzaju intarsji promieniowania w badanych materiałach przyjęto a priori, że źródłami aktywności tych materiałów mogą być w pierwszym rzędzie zanieczyszczenia pierwiastkami promieniotwórczymi naturalnych rodzin promieniotwórczych.

Ze względu na konieczność dokonywania pomiarów na skończonych grubościach badanych ciał i efekty strat energii wszystkich rodzajów promieniowania w materiale próbek, wybór rodziny promieniotwórczej jako standardu był rzeczą praktycznie bez znaczenia.

Uwzględniając krótkie okresy półżycia oraz szeroki wachlarz energii wszelkiego rodzaju promieniowania produktów rozpadu szeregu promieniotwórczego toru, jako standard wybrano tor pod postacią naturalnego ThO_2 .

Ponieważ liczby zliczeń w każdym kanale rejestracji przy stałej geometrii pomiaru i wydajności rejestracji użytych detektorów są proporcjonalne do aktywności właściwych, można na podstawie znajomości aktywności właściwej sporządzonego standardu i konkretnej liczby zliczeń ustalić wartość odpowiednich współczynników przeliczeniowych η :

$$\eta = \frac{\alpha}{I_R} , \quad (3.1)$$

gdzie:

α - aktywność właściwa standardu [Ci/kg]

I_R - szybkość zliczeń aparatury rejestrującej.

Ze względu na złożoność procesów rozpraszania promieniowania β i γ w materiale próbki oraz złożoną geometrię pomiaru teoretyczna ocena spodziewanej liczby zliczeń przy z góry zadanej aktywności właściwej próbek nie jest praktycznie możliwa.

Natomiast stosunkowo łatwo jest przeprowadzić takie oszacowanie dla promieniowania α .

3.1. Oszacowanie aktywności α standardu

Ze względu na zjawisko autoabsorpcji w materiale próbek, do ich powierzchni dociera z warstwy znajdującej się w odległości x od powierzchni część K

$$K = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{x}{R} \right) \quad (3.2)$$

liczby cząstek emitowanych z wybranego elementu objętości próbki rodziny cząstek o zasięgu R w badanym materiale.

Jeżeli α_v oznacza aktywność jednostki objętości materiału, a rozważany element objętości ma postać warstwy równoległej do powierzchni próbki o polu powierzchni S i grubości dx , wówczas całkowite natężenie emitowanego promieniowania α dla "nieskończenie grubej" próbki (tj. próbki o grubości większej niż R) wynosi

$$I = \int_0^R K \alpha_v S dx$$

a więc

$$I = \frac{\alpha_v}{4} S R \quad (3.3)$$

3.1.1. Oszacowanie aktywności właściwej α standardu

Dla cząstek α o określonym zasięgu, których źródłami są określone izotopy promieniotwórcze, aktywność właściwa α_v występująca we wzorze (3.3) związana jest z liczbą atomów emitera N w jednostce objętości relacją

$$\alpha_v = \lambda_v N_v, \quad (3.4)$$

gdzie:

λ - stała rozpadu.

Ponieważ emiterami mogą być różne izotopy wchodzące w skład rodziny promieniotwórczej, wzór (3.4) jest słuszny dla każdego izotopu będącego źródłem promieniowania α .

W warunkach równowagi promieniotwórczej iloczyn $\lambda_v N_v$ (indeks " " oznacza dowolny pierwiastek promieniotwórczy danej rodziny) ma wartość stałą. W szczególności dla szeregu torowego

$$\lambda_v N_v = \lambda_{Th} N_{Th}. \quad (3.5)$$

Łączna aktywność naturalnego szeregu promieniotwórczego będącego w równowadze promieniotwórczej, w przypadku gdy przejściu od pierwiastka macierzystego do końcowego trwałego produktu rozpadu towarzyszy emisja n cząstek, wynosi

$$\alpha_v = n \lambda_{Th} N_{Th} \quad (3.6)$$

(n - liczba ogniw emiterów α łańcucha rodziny).

W szeregu torowym przy przejściu od Th-232 do trwałego izotopu ołowiu Pb-208 emitowana jest liczba $n = 6$ cząstek α . Liczba atomów toru w jednostce objętości (1 cm^3) może być obliczona ze wzoru:

$$N = \frac{N_A}{\mu} \rho \text{ ThO}_2, \quad (3.7)$$

gdzie:

$N_A = 6,023 \times 10^{23}$ - stała Avogadro,

μ - masa cząsteczkowa ThO_2 ,

$\rho \text{ ThO}_2$ - gęstość ThO_2 .

Ponieważ zasięgi cząstek α poszczególnych emiterów wchodzących w skład rodziny torowej są różne, liczby cząstek dochodzących do powierzchni standardu muszą być obliczone indywidualnie dla każdego zasięgu według wzoru (3.3). Wobec tego całkowitą aktywność α można przedstawić przy pomocy wzoru:

$$I = n \lambda \frac{N_A}{\mu} \rho \text{ ThO}_2 \frac{S}{4} \sum_1 \gamma^{(i)} R_{\text{ThO}_2}^{(i)}, \quad (3.8)$$

gdzie $\gamma^{(i)}$ jest procentowym udziałem cząstek α o określonym zasięgu $R_{\text{ThO}_2}^{(i)}$ w tlenku toru.

Z literatury [7, 8] znane są energie i zasięgi cząstek emitowanych przez poszczególne pierwiastki wchodzące w skład rodziny promieniotwórczej toru. Przeliczenia zasięgów R w powietrzu na występujące we wzorze (3.8) zasięgi w materiale standardu można dokonać przy pomocy wzoru Bragg-Kleemanna [6].

$$\frac{R \rho}{\sqrt{A_{\text{ef}}}} = \text{const}, \quad (3.9)$$

gdzie A_{ef} jest efektywną liczbą masową atomów wchodzących w skład materiału próbki (standardu) określoną wzorem

$$A_{\text{ef}}^{1/2} = \sum_1 \delta_1 A_1^{1/2} \quad (3.9a)$$

gdzie δ_1 jest udziałem wagowym poszczególnych pierwiastków, A_1 ich liczbą masową.

Uwzględniając to otrzymuje się wzór przeliczeniowy

$$R_{\text{ThO}_2}^{(1)} = \frac{\rho_{\text{pow}}}{\rho_{\text{ThO}_2}} \left(\frac{A_{\text{ThO}_2}}{A_{\text{pow}}} \right)^{1/2} R_{\text{pow}}^{(1)} \quad (3.10)$$

3.1.2. Aktywność próbki ThO_2

Z relacji (3.9a) wynika, że wartość $A_{\text{ef}}^{1/2}$ dla ThO_2 występującej we wzorze (3.9) wynosi 13,85 a dla powietrza 3,81. W związku z tym, przy przeliczeniu zasięgów w powietrzu na zasięgi w ThO_2 jako współczynnik przeliczeniowy we wzorze (3.10) przyjęto $0,484 \times 10^{-3}$.

Tabela I

Lp.	Energia [MeV]	$R_{\text{pow}}^{(1)}$ [cm]	Udział procent. [%]	$R_{\text{ThO}_2} \times 10^4$ [cm]	$\sqrt{\rho_{\text{pow}}^{(1)} R_{\text{pow}}^{(1)}}$	$R_{\text{pow}}^{(1)}$ popr. [cm]
1	2	3	4	5	6	7
1	3,99	2,47	16,7	12,59	41,25	1,37
2	5,34	3,87	4,8	18,14	18,58	2,77
3	5,42	4,0	11,8	19,35	47,20	2,9
4	5,44	4,0	0,8	19,35	3,20	2,9
5	5,60	4,28	0,2	20,71	0,86	3,18
6	5,68	4,28	15,8	20,71	67,62	3,18
7	5,75	4,36	0,1	21,10	0,44	3,26
8	5,76	4,36	0,1	21,10	0,44	3,26
9	6,05	4,77	5,4	23,08	25,76	3,67
10	6,28	5,06	16,6	23,50	84,00	3,96
11	6,775	5,7	16,7	27,56	95,19	4,6
12	8,78	8,62	11,0	42,47	94,82	7,52

Tabela 1 podaje literaturowe [7, 8] wartości energii, zasięgów w powietrzu oraz procentowy udział cząstek α emitowanych przez tor w równowadze promieniotwórczej z produktami rozpadu, wartości zasięgu w ThO_2 oraz iloczyny $\sqrt{\rho_{\text{pow}}^{(1)} R_{\text{pow}}^{(1)}}$.

W kolumnie 7 podano poprawione wartości resztkowych zasięgów cząstek $\alpha R^{(1)}$ w powietrzu po uwzględnieniu strat energii cząstek α w folii aluminiowej osłaniającej detektor oraz w warstewce powietrza o grubości 5 mm

3.2. Uwzględnienie wpływu absorpcji w folii aluminiowej i warstwie powietrza oddzielającej detektor od źródła

Obecność folii aluminiowej pokrywającej scyntylator oraz warstwy powietrza oddzielającej detektor od źródła wpływa na straty energii cząstek α powodując odpowiednio zmiany ich efektywnego zasięgu.

Można przyjąć, że zasięgi występujące we wzorze (3.8) zmniejszone są o efektywne drogi, które przebywają cząstki α w warstwie powietrza d_{pow} oraz (po przeliczeniu na ekwiwalentną drogę w powietrzu) w folii aluminiowej d_{Al} tak, że zasięg efektywny dla cząstek o zasięgu $R_{\text{ThO}_2}^{(1)}$ wynosi

$$R_{\text{ef}}^{(1)} = R_{\text{pow}}^{(1)} - \Delta, \quad (3.11)$$

gdzie $\Delta = d_{\text{Al}} + d_{\text{pow}}$.

Wobec tego we wzorze (3.8) w miejsce $R_{\text{ThO}_2}^{(1)}$ po uwzględnieniu zależności (3.10) należy podstawić $R_{\text{ef}}^{(1)}$ określony wzorem (3.11). Przeliczenia grubości ekwiwalentnej warstwy równoważnej odpowiedniej grubości folii aluminiowej można dokonać przy pomocy wzoru (3.9). W konkretnym przypadku folia aluminiowa miała grubość wyrażoną w gęstości powierzchniowej, której wartość podana przez producenta wynosiła 1 mg/cm^2 .

Przy $A_{\text{Al}} = 5,2$, $A_{\text{pow}} = 3,9$ oraz $\rho_{\text{pow}} = 1,3 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ otrzymuje się $d_{\text{Al}} = 0,6 \text{ cm}$. W kolumnie 7 tabeli 1 podano resztkowe zasięgi poszczególnych cząstek α w powietrzu po uwzględnieniu powyższych poprawek.

Postać wzoru do oceny efektywnej aktywności standardu (nie uwzględniającej poprawki na geometrię - patrz niżej) jest wobec tego następująca:

$$I = n \lambda \frac{N_A S}{\mu} \frac{1}{4} \rho_{\text{pow}} \left(\frac{A_{\text{ThO}_2}}{A_{\text{pow}}} \right)^{1/2} \sum_i \sqrt{(1)} R_{\text{pow}}^{(1)} - \Delta \quad (3.12)$$

Po podstawieniu wartości podanych wyżej oraz przyjmując

$$\lambda = 1,58 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}$$

$$S = 4,5 \text{ cm}^2$$

$$\Delta = 1,1 \text{ cm}$$

otrzymuje się na efektywną aktywność powierzchniową ThO_2 wartość

$$I = 22,6 \times 10^3 \alpha \text{ pm}. \quad (3.13)$$

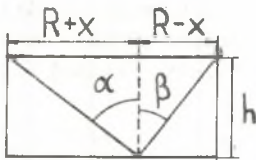
3.3. Poprawka geometryczna

Wartość aktywności powierzchniowej standardu ThO_2 (3.13) odnosi się do cząstek α pojawiających się na powierzchni próbki. Liczba zaliczeń przez detektor o stuprocentowej wydajności odpowiadałoby łącznej efektywności podanej wzorem (3.12) tylko w przypadku, gdyby detektor przylegał bezpośrednio do powierzchni próbki (geometria 2π). W rzeczywistości określony punkt na powierzchni próbki "widzi" detektor pod kątem bryłowym

$$\Omega = 2\pi \left(1 - \cos \frac{\varphi}{2}\right), \quad (3.14)$$

gdzie kąt φ jest wielkością kąta płaskiego, pod którym widziana jest średnica $2R$ kołstego detektora, z punktu próbki z którego obserwuje się detektor.

Wartość kąta φ może być określona z dwóch równań przy pomocy kątów α i β rys. 1 spełniających równanie:



Rys. 1

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{R+x}{h} \quad (3.15)$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{R-x}{h}$$

przy czym $\varphi = \alpha + \beta$ a h jest odległością detektora od próbki.

W równaniach (3.15) x oznacza odległość wybranego punktu na detektorze od środka, a h odległość detektora (o takiej samej średnicy do próbki) od powierzchni próbki.

Dla uwzględnienia poprawki geometrycznej obliczono średnią wartość kąta bryłowego przy zmianach φ od wartości φ_{\max} $\operatorname{tg} \frac{\varphi_{\max}}{2} = \frac{R}{h}$ (punkt znajduje się w środku próbki) do wartości minimalnej φ_{\min} , dla której $\operatorname{tg} \frac{\varphi_{\min}}{2} = \frac{2R}{h}$ (punkt znajduje się na obrzeżeniu próbki).

Uwzględniając geometryczną częstość występowania określonego kąta bryłowego, określono wartość średnią

$$\bar{\Omega} = \frac{1}{\pi R^2} \int_0^R 2\pi r \Omega(r) dr \quad (3.16)$$

Korzystając ze wzorów (3.14) i (3.15) wyrażono kąt φ w funkcji x i wykonano obliczenia dla konkretnych wymiarów detektora i próbki, których promienie wynoszą $R = 1,2$ cm, a odległość detektora od próbki 5 mm.

Obliczenia numeryczne dają wartość średniego kąta bryłowego, pod którym widać detektor ze źródła $\bar{\Omega} = 0,853\pi$, co stanowi 42,5% geometrii idealnej - 2π .

Uwzględnienie poprawki geometrycznej pozwala ocenić liczbę cząstek α dochodzących do scyntylatora na $9,6 \cdot 10^3$ α pm. Według danych producenta wydajność scyntylatora wynosiła 46,8%. Należy więc oczekiwać, że liczba zliczeń czystego preparatu toru będzie wynosiła około $4,5 \cdot 10^3$ opm. Z rzeczywistości zmierzona aktywność preparatu wynosiła:

przy dyskryminacji energii cząstek poniżej 2,9 Me V	- 4030 \pm 65 cpm,
przy dyskryminacji poniżej 1,5 Me V	- 4250 \pm 70 cpm,
przy dyskryminacji poniżej 0,8 Me V	- 4500 \pm 70 cpm.

Zgodność z oczekiwanym na podstawie oszacowań teoretycznych wynikiem $4,5 \cdot 10^3$ cpm, całkowicie potwierdza, istotne dla ilościowych ocen aktywności, założenie dotyczące równowagi promieniotwórczej użytego preparatu.

W dalszych pomiarach stosowano próg dyskryminacji cząstek α o energiach poniżej 1 MeV. Zastosowanie tego progu dyskryminacji pozwala rejestrować cząstki α z wydajnością około 90% maksymalnej wydajności scyntylatora, tj. z bezwzględną wydajnością około 42%.

Bezwzględna aktywność właściwa α użytego preparatu wynosiła $0,216 \cdot 10^8$ α cps/kg, tj. $584 \cdot 10^3$ nCi/kg. Wynika z tego, że zastosowana metoda detekcji promieniowania α odpowiada bezwzględnej aktywności 130×10^3 pCi/kg dowolnej substancji o ρ_{ef} i A_{ef} równych odpowiednio wartościom ThO_2 przypadającej na zarejestrowaną w ciągu minuty cząstkę α .

4. Przebieg pomiarów

Próbki wysuszone i drobno zmielone o jednakowych objętościach ważono i umieszczono w odpowiednich naczyniach pomiarowych. Do pomiaru aktywności γ stosowano pojemniki o objętości 1 dm^3 w kształcie walca, umieszczając je w domku pomiarowym bezpośrednio pod kryształem scyntylacyjnym w odległości 30 mm od niego. Dla określenia aktywności α i β materiał umieszczono w płaskich miseczkach pomiarowych o powierzchni $4,5 \text{ cm}^2$. Czas trwania pomiarów dla kwantów γ wynosił 30 min, dla cząstek α , 1 godz., a dla promieniowania β , 15 min.

Uzyskane wyniki z pomiarów porównano z wartościami otrzymanymi dla standardów. Wyliczone aktywności właściwe α , β , γ dla 10 próbek materiałów budowlanych podano w tabelach II, III, IV.

4.1. Przygotowanie wzorów

Ze względu na gabaryty próbek użytych do pomiaru aktywności i stosunkowo bardzo dużą aktywność czystego ThO_2 w porównaniu z oczekiwanymi aktywnościami próbek materiałów budowlanych przygotowano substandardy dodając do masy badanych próbek około 0,05% wagowo ThO_2 .

Przy ocenie aktywności powierzchniowej α sporządzonych wzorów należy uwzględnić zmienione warunki autoabsorpcji w próbkach budowlanych związane z inną gęstością i efektywną masą atomową poszczególnych próbek w sto-

sunku do ocen zawartych w 3. Ze względu na nieznaną bliżej skład chemiczny próbek zaniechano prób teoretycznej oceny przewidywanej szybkości zliczeń, ograniczając się do eksperymentalnego wyznaczenia współczynników η dla każdego z wzorców według wzoru (3.1). Współczynniki η posłużyły do obliczenia efektywnych aktywności właściwych próbek zamieszczonych w zestawieniu (tabele 2, 3 i 4).

Natomiast aktywność β i γ standardu zgodnie ze wzorem (6) określono znając aktywność α wzorca i wiedząc, że w naturalnym szeregu promieniotwórczym Th-232 w łańcuchu sukcesywnych rozpadów występują 4 rozpady β i 7 rozpady γ , przypadająca na 6 emitowanych cząstek α , a następnie obliczono współczynniki przeliczeniowe η według wzoru (3.1). Wszystkie wartości tych współczynników podane są w odpowiednich kolumnach tabel 2, 3, 4.

Tabela 2

Globalna aktywność gamma materiałów budowlanych

Nr próbeki	Masa próbeki [g]	Gęstość próbeki [g/cm ³]	Srednia liczba zliczeń [cpm]	Współczynnik przeliczeniowy ^{x)} η_{γ} [$\frac{\text{nCi}}{\text{kg opm}}$]	Aktywność wyliczona " $\times 10^2$ pCi/kg	Całkowity błąd pomiaru $\times 10^2$ pCi/kg
1	980	0,98	500	40 \pm 6	199	26
2	843	0,84	480	47 \pm 7	288	30
3	970	0,97	419	43 \pm 7	181	22
4	880	0,88	494	49 \pm 7	241	29
5	640	0,64	51	55 \pm 8	28	7
6	750	0,75	31	52 \pm 7	16	5
7	1160	1,16	448	35 \pm 6	158	19
8	880	0,88	55	47 \pm 7	26	7
9	990	0,99	453	43 \pm 6	197	37
10	380	0,38	-	-	< 5	-

^{x)} Obliczony na podstawie pomiaru aktywności standardu ThO₂.

Tabela 3

Globalna aktywność alfa materiałów budowlanych

Nr próbki	Średnia liczba zliczeń c.p.h	Współczynnik przeliczeniowy ^{x)} $\eta_{\alpha} \left[\frac{nCi}{kg \text{ c.p.h}} \right]$	Aktywność wyliczona w $\times 10^2 pCi/kg$	Całkowity błąd pomiaru $\times 10^2 pCi/kg$
1	27	55 ± 6	250	± 50
2	2,0	92 ± 12	30	± 10
3	12	66 ± 8	130	± 25
4	12	69 ± 10	140	± 30
5			< 40	
6	13	84 ± 12	180	± 40
7	15	20 ± 2	50	± 10
8	13	60 ± 8	140	± 30
9	13	67 ± 8	150	± 30
10			< 10	

Tabela 4

Całkowita aktywność beta materiałów budowlanych

Nr próbki	Średnia liczba zliczeń c.p.m	Współczynnik przeliczeniowy ^{x)} $\eta_{\beta} \left[\frac{nCi}{kg \text{ c.p.m}} \right]$	Aktywność wyliczona w $10^2 pCi/kg$	Całkowity błąd pomiaru $\times 10^2 pCi/kg$
1	5,1	5,8 ± 0,7	290	± 110
2	2,4	6,4 ± 0,8	150	± 100
3	1,8	12,0 ± 2,0	210	± 140
4	1,0	7,7 ± 1,0	77	± 140
5			< 6	
6			< 6	
7	1,7	4,1 ± 0,5	70	± 60
8			< 6	
9	4,2	6,3 ± 0,8	260	± 100
10			< 6	

x) Obliczony na podstawie pomiaru aktywności standardu ThO_2 .

5. Wyniki pomiarów

Tabele 2, 3 i 4 przedstawiają wyniki pomiarów dla 10 wybranych próbek. W kolumnach tabeli 2, określającej globalną aktywność materiałów budowlanych, podano w kolejności: numer próbki, masę, gęstość, średnią liczbę zliczeń wyrażoną w impulsach na minutę. W kolumnie 5 podano współczynnik η przeliczeniowy wyliczony na podstawie pomiaru aktywności substandardu ThO_2 , zaś w kolumnie 6 obliczoną przy pomocy wartości z kolumny 5 aktyw-

ność właściwą γ próbki wyrażoną w p Ci/kg. W ostatniej kolumnie wyliczono całkowity prawdopodobny względny błąd pomiaru

$$\left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 = \left(\frac{\Delta \eta}{\eta}\right)^2 + \left(\frac{\Delta N}{N}\right)^2 \quad (5.1)$$

do wyliczenia błędu ΔA przyjęto:

1. Błędy $\Delta \eta$ wyliczono podobnie jak (5.1) i stabelaryzowano w kolumnie 5 tab. 3.
2. Błędy ΔN

$$N = \sqrt{\frac{\sum \Delta_1^2}{n(n-1)}}, \quad (5.2)$$

gdzie $\Delta_1 = N - N_1$
 n - ilość pomiarów,

3. Wartości η i N wzięto z odpowiednich wierszy kolumny 5 i 6 tab. 2.

Jako granicznie niską jeszcze mierzalną, w warunkach pomiarowych, aktywność przyjęto $5 \cdot 10^2$ p Ci/kg.

W tabeli 3 określającej globalne aktywności α materiałów budowlanych, całkowity błąd pomiaru wyliczono ze związku analogicznego do (3.1), przyjmując:

- błędy $\Delta \eta$ wyliczone jak wyżej i stabelaryzowane w kolumnie 3 tablicy 2
- błędy $\Delta N = 3 \sigma$ gdzie $\sigma = \pm \sqrt{N}$,
- wartości η ; N wzięto z odpowiednich wierszy kolumny 3, 4, tablicy 3.

Jako ekstremalnie niską jeszcze mierzalną aktywność przyjęto 10^3 pCi/kg Tabela 4 reprezentuje globalne aktywności β materiałów budowlanych a oznaczenia poszczególnych kolumn są analogiczne jak w tabelach 2 i 3 zaś całkowity błąd pomiaru wyliczono podobnie jak w tabeli 3.

Jako ekstremalnie niską jeszcze mierzalną aktywność przyjęto $6 \cdot 10^2$ p.Ci/kg.

6. Wnioski

W trakcie prowadzonych badań stwierdzono w niektórych próbkach obecność promieniowania jonizującego o aktywności większej niż w tradycyjnych materiałach przy czym skala aktywności badanych próbek odznacza się dużą rozpiętością. Próbki żużli i popiołów lotnych wykazały większą radioaktywność niż pozostałe próbki, tj. gipsu, cegły mielonej, polichlorku winylu.

Fakt stwierdzający większą aktywność promieniotwórczą niektórych materiałów budowlanych wymaga pewnej ostrożności w ich stosowaniu. Należałoby prowadzić dalsze badania mające na celu stwierdzenie ewentualnego szkodli-

wego wpływu stosowania takich materiałów budowlanych na organizm człowieka, szczególnie zaś należałoby oszacować wielkość ekspozycji jaką otrzymałby osobnik, przebywający w pomieszczeniach wybudowanych z tych materiałów, w dłuższym okresie czasu.

Ze względu na orientacyjny charakter przeprowadzonych pomiarów miarodajne wnioski odnośnie wielkości zagrożeń somatycznych czy genetycznych organizmu ludzkiego, wyciągnąć będzie można po przeprowadzeniu dalszych ilościowych i jakościowych badań.

LITERATURA

- [1] Court-Brown W.M.: Causation of cancer, Brit. Med. Bull. Vol. 14, no 2 (1952).
- [2] Burch P.R.: Proc. Phys. Soc. Sec. A. vol. 24 (1954).
- [3] Darvis F.J.: Nukleonics, Vol. 13 (1954).
- [4] Publikacje Ośrodka Informacji Technicznej i Ekonomicznej w Budownictwie, Warszawa 11 (1963).
- [5] Lipowski L.: Zagadnienia radiologiczne materiałów budowlanych, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Budownictwo, nr 3 (1963).
- [6] Methods of Experimental Physics, Vol. 5, Academic Press, New York and London (1961).
- [7] Prace W.J., Detekcja promieniowania jądrowego, PWT, Warszawa (1960).

ИЗМЕРЕНИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Резюме

Применяя конвенциональные методы детектирования квантов гамма, частиц альфа и бета, эмиттированных источниками излучения, находящиеся в исходных строительных материалах в весьма граничных количествах, определено ориентировочно удельную активность радиоактивных веществ в отдельных образцах. Применено эталоны излучения выполненные на базисе естественных радиоактивных элементов торгового ряда.

THE MEASUREMENT OF THE RADIOACTIVITY OF THE BUILDING MATERIALS

S u m m a r y

Using the conventional methods of detecting γ , α and β radiation, emitted by the radiation sources of extremely small activities in the fundamental building materials, orientational analysis of the activities of these materials were made. The measurement of the activity of samples, a standard of radiation prepared from the natural radioactive elements was applied. To evaluation of the α , β and γ activities of samples the comparison was made with the activities of substandards prepared from samples by addition 0,05% (weight) of ThO_2 .