



**Katarzyna Pach, Małgorzata Hyla, Jacek Filipecki**

*Akademia im. Jana Długosza w Częstochowie*

*al. Armii Krajowej 13/15, 42-200 Częstochowa*

*e-mail: j.filipecki@ajd.czyst.pl*

## WYKORZYSTANIE RADIOMETRU RUM-2 DO ANALIZY PROMIENIOWANIA GAMMA W WYBRANYCH MATERIAŁACH BUDOWLANYCH

**Streszczenie.** Promieniowanie jonizujące to czynnik, który w ważnym stopniu pozwala scharakteryzować środowisko człowieka, a także warunki higieniczno-sanitarne, jakie panują w budynkach przeznaczonych na stały pobyt ludzi. Dla organizmów żywych istotne znaczenie odgrywają dwa czynniki:

- tło promieniowania oddziałujące na organizmy żywe,
- promieniowanie alfa produktów rozpadu radonu oddziałujące na układ oddechowy.

Występowanie radonu i jego pochodnych w pomieszczeniach budynków mieszkalnych może pochodzić przede wszystkim z gruntu, z surowców i materiałów budowlanych. Jeżeli normy promieniowania nie zostały przekroczone, nie ma obawy przed szkodliwym działaniem pierwiastków promieniotwórczych. Ponadto, uważa się iż całkowity brak promieniowania jest niekorzystny, gdyż może spowodować lawinowy rozwój drobnoustrojów.

**Słowa kluczowe:** promieniowanie jonizujące, spektrometria, materiały budowlane.

## USE OF RADIOMETER RUM-2 FOR ANALYSIS OF GAMMA RADIATION IN SOME BUILDING MATERIALS

**Abstract.** Ionizing radiation is a factor which severely allows to characterize the human environment and hygienic conditions – health, prevailing in buildings intended for human residence. For organisms play two important factors:

- background radiation affecting living organisms
- alpha radiation decay products of radon affecting the respiratory system.

The presence of radon and its derivatives in the areas of residential buildings may have come primarily from the soil of raw materials and construction materials. If the radia-

tion standards are not exceeded, there is no fear of the harmful effects of radioactive elements. More than that, it is believed that the total absence of radiation is disadvantageous because it can cause an avalanche microbial growth.

**Keywords:** ionizing radiation, mass spectrometry, building materials.

## Wprowadzenie

Pierwiastki promieniotwórcze występujące w przyrodzie grupuje się w trzy rodziny promieniotwórcze. Każda z nich rodzin rozpoczyna się od jednego z występujących w skorupie ziemskiej pierwiastka o bardzo długim czasie połowicznego rozpadu. Rozpad promieniotwórczy takiego pierwiastka stanowi początek łańcucha promieniotwórczego [1]. Przykładowy schemat rodziny promieniotwórczej uranu został przedstawiony na rysunku 1, na osi odciętych znajdują się numery porządkowe jąder, na osi rzędnych ich liczby masowe.

Rodzina promieniotwórcza rozpoczyna się od ciężkiego izotopu uranu  $^{238}\text{U}$ , który podlega przemianie alfa, przechodząc w izotop toru  $^{234}\text{Th}$ , który podlega przemianie beta, przechodząc w izotop protaktynu  $^{234}\text{Pa}$ . Izotop  $^{234}\text{Th}$  ulega dwóm rodzajom przemian beta, gdzie część jego jąder przechodzi w jądra tzw. Uranu Z, a także izotopu protaktynu, o tej samej liczbie masowej.  $^{234}\text{U}$  i  $^{234}\text{Pa}$  stanowią pierwszy znany przykład tzw. jąder izomerycznych, które posiadają te same liczby masowe i numery porządkowe, lecz różnią się właściwościami promieniotwórczymi [2].

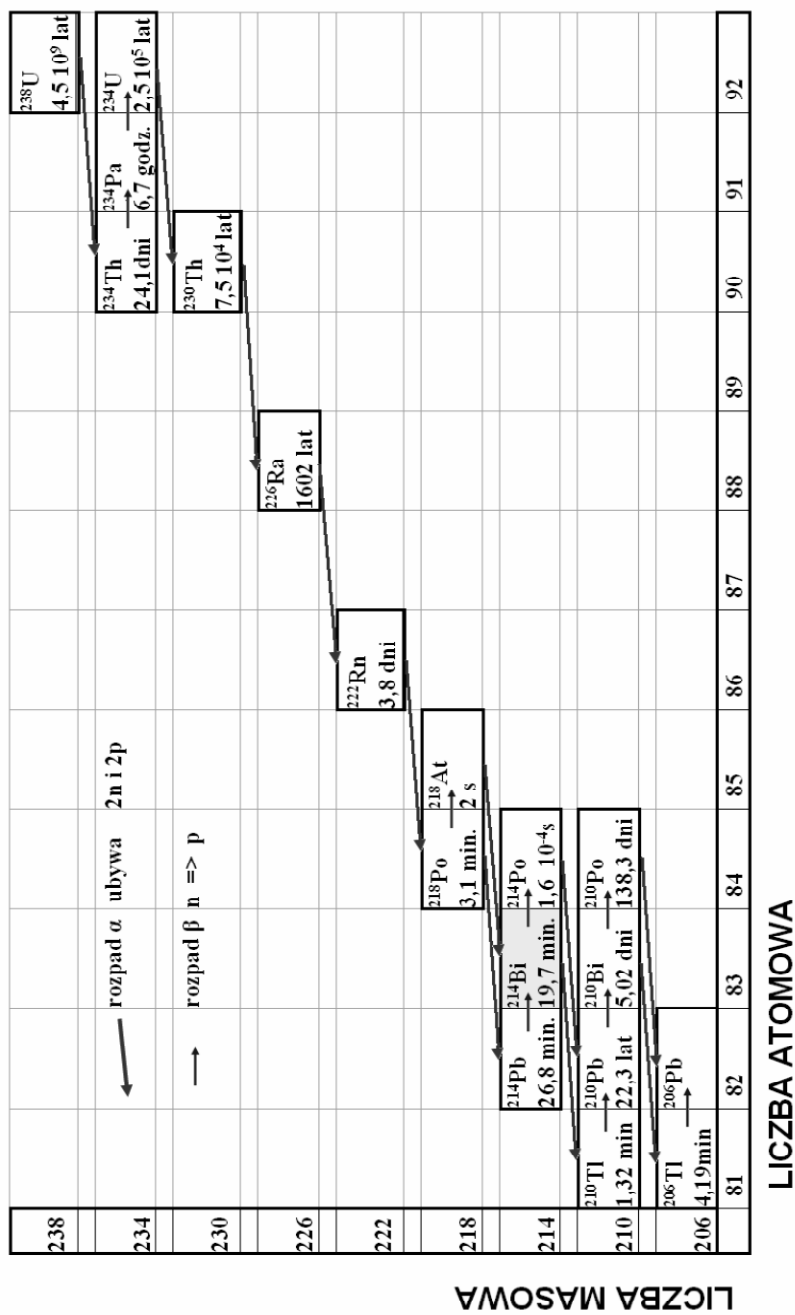
W przyrodzie występuje szereg izotopów promieniotwórczych, które nie zapoczątkowują kolejnych rodzin promieniotwórczych, natomiast przechodzą w izotopy trwałe. Należy w tym miejscu wymienić izotop potasu  $^{40}\text{K}$ , którego czas połowicznego rozpadu wynosi  $1,3 \times 10^9$  lat, oraz promieniotwórczy izotop rubidu  $^{37}\text{Rb}$  [3].

Jądra atomowe niektórych pierwiastków, głównie pierwiastków ciężkich ( $Z > 82$ ), mogą ulegać spontanicznym przemianom promieniotwórczym, podczas których zachodzą m. in. następujące zjawiska:

- rozpady alfa i beta,
- emisja promieniowania gamma.

Rozpad alfa to wyrzucenie z danego jądra ciężkiego – jądra helu złożonego z dwóch protonów i dwóch neutronów. Wskutek takiego rozpadu z jądra pierwotnego X powstają jądro i cząstka  $\alpha$  ( $^4_2\text{He}$ ) o wzajemnie bilansujących się liczbach masowych i atomowych, zgodnie z regułą Soody'ego-Fajansa [4]:





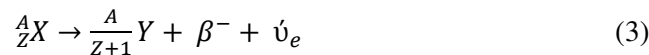
Rys. 1. Schemat rodziny promieniotwórczej uranu [1]

Reguła Soody'ego-Fajansa określa przesunięcie jądra wtórnego Y, w stosunku do jądra pierwotnego X, w układzie okresowym pierwiastków. Jądra wtórne poruszają się w przeciwnych kierunkach, posiadając określone energie kinetyczne oraz właściwe pędy. Energia cząstek alfa emitowanych przez różne izotopy promieniotwórcze zawarta jest w granicach od 4 do 9 MeV, a ich zasięg w powietrzu jest rzędu kilku centymetrów [5].

Drugim rodzajem przemian jądrowych promieniotwórczych jest rozpad beta, w którym wyróżnia się rozpad beta minus i rozpad beta plus. Rozpad beta minus zachodzi wewnątrz jądra i polega na przemianie neutronów (n) w proton (p), elektron ( $e^-$ ) i antyneutrino elektronowe ( $\bar{\nu}_e$ ) i można przedstawić go za pomocą schematu:



Elektrony ( $e^-$ ), które powstały w ten sposób, określić można jako cząstki beta minus ( $\beta^-$ ), natomiast wraz z tworzeniem się elektronu (leptonu) musi pojawić się antyneutrino ( $\bar{\nu}_e$ ). Rozpad beta minus danego jądra można wyrazić wzorem:

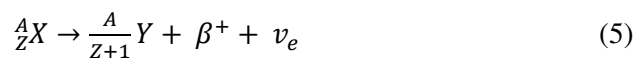


W wyniku przemiany beta minus jądro pierwotne X przekształca się w izobaryczne jądro wtórne Y przesunięte w układzie okresowym pierwiastków o jedno miejsce w kierunku wzrastających liczb atomowych [4].

Rozpad beta plus, zgodnie z definicjami podanymi w literaturze, to zachodzące wewnątrz jądra przemiany protonu (p) w neutron (n), pozyton ( $e^+$ ) i neutrino elektronowe  $\nu_e$ , co można przedstawić wg schematu:



Rozpad beta plus ( $\beta^+$ ) danego jądra  ${}^A_Z X$  można wyrazić wzorem:



Podczas przemiany beta plus ( $\beta^+$ ) jądro pierwotne X przekształca się w jądro izobaryczne Y przesunięte w układzie okresowym o jedno miejsce w kierunku malejących liczb atomowych. Zasięg promieniowania  $\beta$  w powietrzu jest rzędu kilku metrów i zależy od energii elektronów.

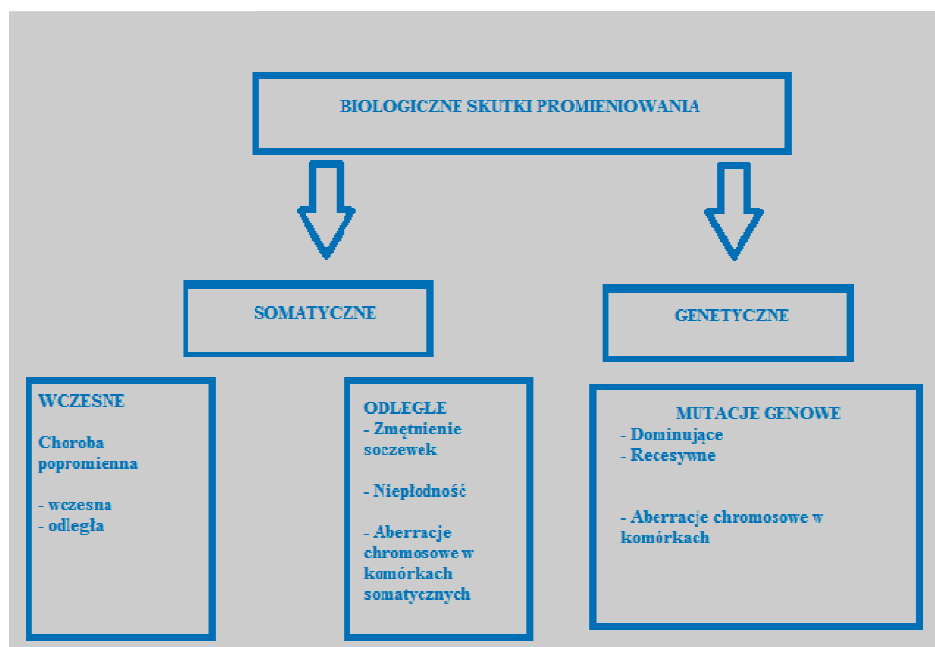
W przypadku rozpadów alfa oraz beta, a także określonych zjawisk jądrowych, np. niesprężystych zderzeń jąder z neutronami prędkimi, reakcjom towarzyszy promieniowanie elektromagnetyczne o częstotliwości  $\nu > 10^9$  Hz. Jeśli w wyniku którejkolwiek z przemian, jądro nie przechodzi do stanu pod-

stawowego, to powstały w nim nadmiar energii może przekształcić się w energię fotonów promieniowania gamma [5].

Wszystkie organizmy żyjące na Ziemi każdego dnia mają do czynienia z promieniowaniem jonizującym. Promieniowanie jonizujące to rodzaj promieniowania, które w czasie przenikania przez materię wywołuje powstawanie jonów-atomów mających ładunek elektryczny. Promieniowanie jonizujące w małych dawkach jest niegroźne dla organizmu; występując w większych dawkach, może mieć kluczowe zastosowanie w medycynie. Jednak w dużych dawkach może być śmiertelnym zagrożeniem dla żywych organizmów. To, jakie będą skutki oddziaływania promieniowania jonizującego, uzależnione jest od jego rodzaju oraz pochłoniętej dawki. Ważnym czynnikiem jest również rodzaj tkanki, a także faza życia, w której znajdują się komórki. Warto wspomnieć, że najbardziej czułe na promieniowanie jonizujące są komórki rozrodcze, tkanka limfatyczna oraz krwiotwórcza. Swoją promienioczułość posiadają także najgłębiej położone warstwy skóry, komórki chrzęstne i kościotwórcze, soczewka oka oraz błona śluzowa jelit [5].

Z tym rodzajem promieniowania można się spotkać w obecności źródła promieniowania, jakim może być izotop promieniotwórczy. Promieniowanie jonizujące można zdefiniować także jako skutek przemian jądrowych, gdzie układ energii ulega zmianie. Takim przemianom ulegają izotopy, które charakteryzują się nieodpowiednią liczbą neutronów w jądrze [6]. Promieniowanie jądrowe, które wnika w materię, może powodować różnego rodzaju efekty, te z kolei mogą powodować określone skutki chemiczne, a w momencie oddziaływania z komórkami żywych organizmów są w stanie wywoływać procesy biologiczne i biochemiczne.

Głównym fizycznym efektem oddziaływania promieniowania jądrowego z materią jest jonizacja atomów oraz molekuł. Należy jednak zwrócić uwagę, iż promieniowanie jądrowe może jonizować pośrednio oraz bezpośrednio [6]. Jonizacja bezpośrednia materii zachodzi poprzez wszystkie naładowane cząstki, np. elektrony, protony, cząstki  $\alpha$ , natomiast jonizacja pośrednia wywoływana zostaje poprzez fotony oraz neutrony z udziałem elektronów wtórnych. Pierwszym ogniwem w łańcuchu przemian, które prowadzą do reakcji biologicznych, jest jonizacja a także wzbudzenie atomów [6]. Intensywność jonizacji materii można określić poprzez wskazanie liczby jonów, które zostały wytworzone w materii, jest to jonizacja właściwa. Na rysunku 2 przedstawione zostały skutki biologiczne wywołane promieniowaniem jonizującym.

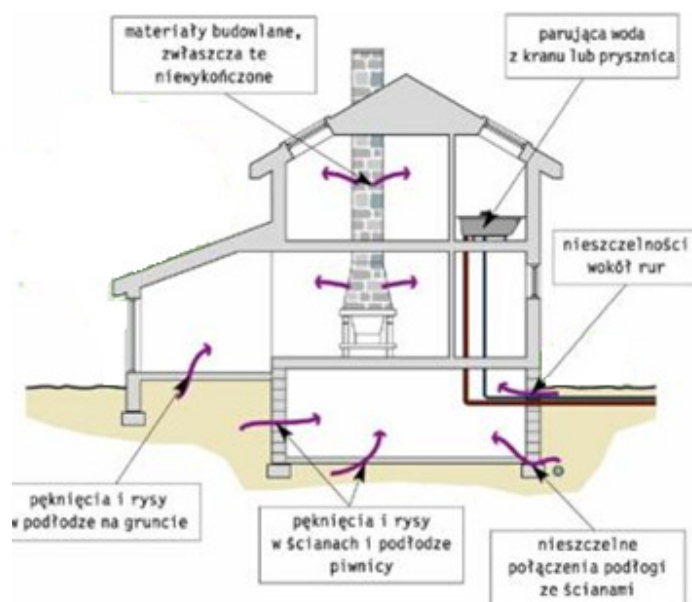


Rys. 2. Rodzaje skutków biologicznych promieniowania jonizującego

## Metody ochrony mieszkańców przed zagrożeniem promieniotwórczym

Problem, jaki stanowi oddziaływanie źródeł promieniotwórczych, będzie istniał jeszcze długo w badaniach naukowców, projektantów, wykonawców, a także zwykłych ludzi. Głównym zadaniem projektantów oraz wykonawców budynków jest to, aby stężenie pierwiastków promieniotwórczych, zwłaszcza radonu, było jak najmniejsze.

Radon przedostaje się do wnętrza budynków różnymi drogami, w pomieszczeniach gromadzi się do bardzo wysokiego poziomu – większego niż na zewnątrz. Mimo tego, iż grunt nie charakteryzuje się wysokim jego stężeniem, poprzez kumulację pierwiastka w budynku stężenie może przekroczyć dopuszczalne normy. Dlatego też, projektując budynek, warto najpierw sprawdzić podłoże, aby w razie ryzyka promieniotwórczego móc wybrać materiały i surowce budowlane, które pozwolą ograniczyć zagrożenie [6]. Rysunek 3 przedstawia schemat przenikania radonu z gruntu.



Rys. 3. Przykład przenikania radonu z gruntu [6]

Ograniczenie ekspozycji mieszkańców na radon oraz jego pochodne we wnętrzu pomieszczeń umożliwiając następujące działania:

- odpowiedni system wentylacji pomieszczeń, pozwalający na usuwanie skażonego powietrza i zamianę go powietrzem z zewnątrz,
- gazoszczelna izolacja podziemna budynku, pozwalająca na redukcję napływu z zewnątrz radonu do budynków,
- wentylatory wyciągowe zlokalizowane na dachu budynków, mające na celu obniżenie ciśnienia powietrza,
- podwyższenie ciśnienia powietrza, które ma bezpośredni kontakt z gruntem.

Budynki zlokalizowane na podłożu o małym stężeniu radonu nie wymagają zastosowania urządzeń czy też dodatkowych skomplikowanych zabezpieczeń. Najczęstszym, a także najprostszym sposobem na obniżenie poziomu stężenia radonu w pomieszczeniach jest częste wietrzenie, dbanie o system naturalnej wentylacji oraz usunięcie uszczelki znajdujących się wokół okien. Zbyt szczelne okna utrudniają naturalną wymianę powietrza, co skutkuje podwyższonym poziomem radonu. Powyższe metody mogą zmniejszyć poziom radioaktywnego gazu nawet o 60%. Jeżeli jednak, mimo stosowanych metod, poziom radonu utrzymuje się, stosowane są dodatkowe działania polegające na uszczelnianiu fundamentów budynków substancjami wodo- i gazoszczelnymi, do których zalicza się [11]:

- folie polimerowe,
- farby epoksydowe wypełniające,
- farby epoksydowe,
- farby lateksowe,
- masy asfaltowo-cementowe,
- silikon.

Do tej pory Polska nie wprowadziła żadnych działań mających na celu redukcję radonu, wyjątkiem są ogólne programy badawcze. Przystąpienie Polski do Unii Europejskiej spowodowało wzrost świadomości społeczeństwa nt. promieniotwórczości w pomieszczeniach budowlanych. Dlatego też narodziła się potrzeba obniżenia ryzyka wynikającego ze stężenia radonu w budynkach użyteczności publicznej oraz w mieszkaniach.

Kryteria oceny dotyczące oddziaływania promieniowania naturalnego w pomieszczeniach budowlanych zawarte zostały m.in. w rozporządzeniu Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej [7]. Zgodnie z wytycznymi zawartymi w tym rozporządzeniu budynki mieszkalne powinny spełniać następujące warunki:

- budynek z pomieszczeniami przeznaczonymi na pobyt ludzi i inwentarza żywego nie może być wykonany z materiałów budowlanych niespełniających wymagań w zakresie dopuszczalnych stężeń naturalnych pierwiastków promieniotwórczych,
- średnie wartości roczne stężeń radonu  $^{222}\text{Rn}$  w pomieszczeniach budynku przeznaczonego na stały pobyt ludzi nie mogą przekraczać: 200 Bq/m<sup>3</sup> w budynku oddanym do użytku po 1 stycznia 1998 roku oraz 400 Bq/m<sup>3</sup> w pozostałych budynkach.

W obowiązujących kryteriach ocen oraz metodach badań uwzględniono dwa rodzaje narażenia organizmów żywych na promieniowanie jonizujące:

- oddziaływanie promieniowania gamma na cały organizm,
- oddziaływanie promieniowania alfa na układ oddechowy.

## **Eksperyment**

Celem eksperymentu była analiza promieniowania gamma dla wybranych materiałów ceramiki budowlanej (tabela 1). Przy wyborze rodzaju próbek wzięto pod uwagę te materiały, które wykorzystywane są zarówno do budowy budynków, w tym przypadku próbki cegły oraz pustaka ceramicznego, jak i renowacji pomieszczeń, tj. próbki płytki ceramicznej.



Tabela 1. Masa przygotowanych próbek wybranych surowców i materiałów budowlanych

<b>Materiał/surowiec budowlany</b>	<b>Masa [kg]</b>
Cegła	0,066
Płytk ceramiczna	0,138
Pustak ceramiczny	0,079

Materiał badawczy należało odpowiednio przygotować do pomiarów. Pierwszym etapem było rozdrobnienie, w celu osiągnięcia odpowiedniej struktury próbek. W dalszej kolejności, zgodnie z Instrukcją Techniki Budowlanej [14], skruszone materiały oraz surowce należało wysuszyć. Próbkę, ze względu na to, iż przed zakupem znajdowały się na hali, gdzie panowała niska temperatura oraz duża wilgotność powietrza, były suszone w temperaturze pokojowej przez 5 dni. Następnie w pracowni dozymetrii promieniowania jonizującego Zakładu Badań Strukturalnych i Fizyki Medycznej Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie próbki zostały zmielone w młynku oraz przesiane przez sito o grubości ziarna 2 mm.

Po etapie obróbki, który miał na celu uzyskanie sypkiej formy badanych materiałów budowlanych, próbki umieszczono w plastikowych, szczelnie zamkniętych pojemnikach. Pojemniki te zostały umieszczone w domku ołowianym spektrometru. Należy pamiętać, iż masa badanych próbek ma istotny wpływ na niepewność określanych stężeń promieniotwórczych. Dlatego też każda z przygotowanych próbek po umieszczeniu w pojemniku została zważona. Dane masowe próbek przedstawione zostały w tabeli 1.

### **Aparatura badawcza**

W celu oceny, czy pierwiastki promieniotwórcze występują w materiałach i surowcach budowlanych, badania mogą zostać wykonane za pomocą różnych metod stosowanych w technice jądrowej. Najczęściej do oceny pierwiastków promieniotwórczych w surowcach i materiałach budowlanych stosowana jest typowa aparatura spektrometryczna z detektorami scyntylacyjnymi [8]. W przypadku prowadzonej analizy promieniowania gamma dla próbek wybranych materiałów budowlanych oraz do oceny pierwiastków promieniotwórczych wykorzystany został spektrometr promieniowania gamma zbudowany na bazie radiometru RUM-2. Radiometr RUM-2 (rys. 4) jest urządzeniem uniwersalnym, który współpracując z komputerem, pozwala na zbieranie danych pomiarowych z sond radiometrycznych produkcji Polon – Alfa SSU-70. Do zakresu zastosowań radiometru należy:

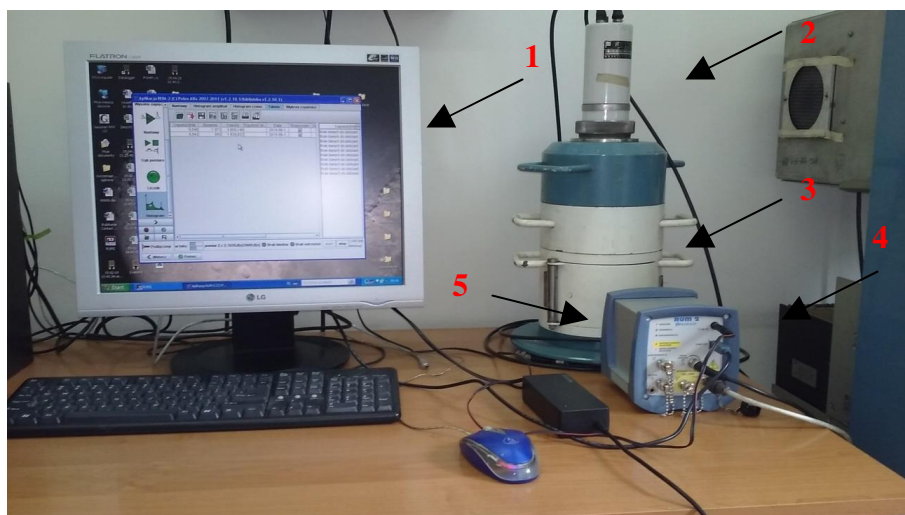
- analiza ilościowa częstości impulsów,
- analiza spektrometryczna rozkładu statystycznego energii impulsów,

- analiza czasowa zdarzeń,
- sterowanie urządzeniami zewnętrznymi.

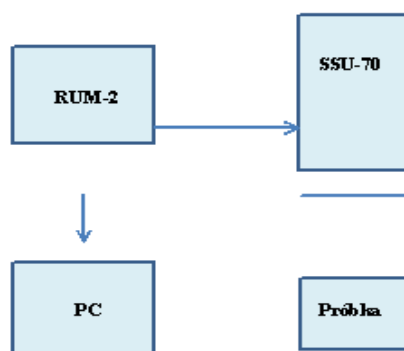
Stanowisko pomiarowe spektrometrii gamma (komputer PC, sonda radiometryczna SSU-70, radiometr RUM-2) zostało przedstawione na rysunku 5. Schemat blokowy stanowiska przedstawia rysunek 6.



Rys. 4. Radiometr RUM-2 [9]



Rys. 5. Spektrometr gamma (1 – komputer PC, 2 – Sonda SSU-70, 3 – domek Pb, 4 – RUM-2, 5 – pojemnik z próbką)



Rys. 6. Schemat blokowy stanowiska pomiarowego

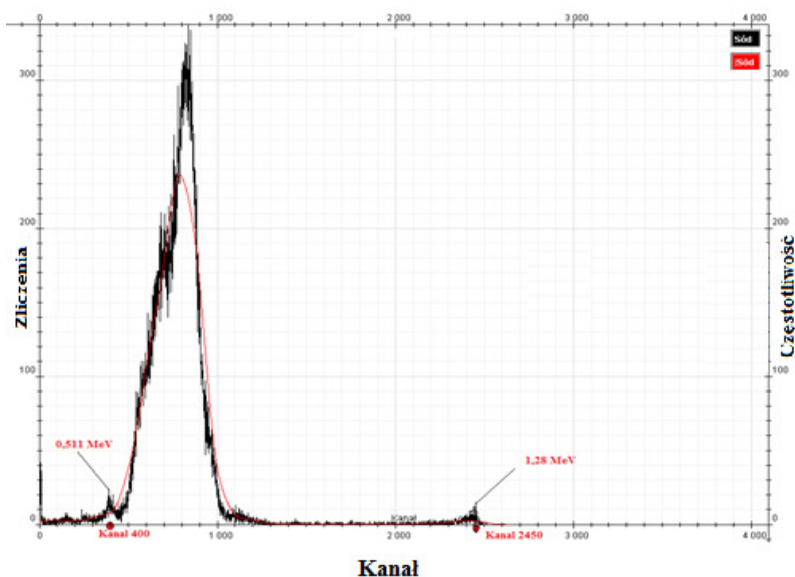
Pomiary promieniowania emitowanego przez badane materiały były sterowane za pomocą komputera typu PC oraz odpowiedniego oprogramowania [9].

Przed przystąpieniem do badania należało wyznaczyć w pierwszej kolejności charakterystykę licznika scyntylicyjnego, która pozwoliła poznać punkt pracy licznika. Wyznaczona charakterystyka licznika pozwoliła na podanie punktu jego pracy przy napięciu równym  $U = 990$  [V].

### Wyniki badań

Po przygotowaniu próbek, wyznaczeniu charakterystyki licznika, podłączeniu urządzenia kolejnym etapem było przeprowadzenie badań promieniotwórczości gamma wybranych materiałów budowlanych. Próbki (tabela 1) odpowiednio były umieszczane w domku ołowianym z licznikiem scyntylicyjnym SSU-70.

Pomiary wykonywano w odpowiednich przedziałach energii promieniowania  $\gamma$ , wybranych w taki sposób, aby w każdym z tych przedziałów występowała linia charakterystyczna dla promieniowania gamma. Intensywność promieniowania gamma określa się na podstawie zliczeń impulsów z detektora promieniowania gamma oraz obliczeniu średniej wartości liczb zliczeń w poszczególnych przedziałach. Kalibracja spektrometru polegała na zliczeniu impulsów pochodzących od źródła wzorcowego  $^{22}\text{Na}$ . Rysunek 7 przedstawia widmo promieniowania  $\gamma$   $^{22}\text{Na}$ .



Rys. 7. Widmo energetyczne liczby zliczeń wzorca promieniotwórczego promieniowania izotopu  $^{22}\text{Na}$

Izotop  $^{22}\text{Na}$  posiada dwa charakterystyczne piki (maksima energetyczne) [10]:

- pierwsze maksimum zlokalizowane w kanale 400, któremu przypisuje się energię kwantu gamma równą 0,511 MeV;
- drugie maksimum odpowiada kanałowi 2450 i energii mu odpowiadającej 1,275 MeV.

Na podstawie widma dla izotopu  $^{22}\text{Na}$  (rys. 7), a także energii i odpowiadającym im kanałom, została obliczona różnica energetyczna pomiędzy kanałem 400 a 2450.

$$\text{Kanał}_2 \text{ 2450} - E_2 = 1,28 \text{ MeV}$$

$$\text{Kanał}_1 \text{ 400} - E_1 = 0,511 \text{ MeV}$$

$$\Delta E = E_2 - E_1 \quad (6)$$

$$\Delta E = 1,28 - 0,511$$

$$\Delta E = 0,76 \text{ [MeV]}$$

Na podstawie otrzymanego wyniku obliczono energię odpowiadającą jednemu kanałowi:

$$\Delta E = 0,76 \text{ [MeV]}$$

Liczba kanałów pomiędzy  $K_2$  a  $K_1 = 2050$

x MeV – energia odpowiadająca jednemu kanałowi

$$2050 K - 0,76 \text{ MeV} \quad (7)$$

$$1 K - x \text{ MeV}$$

$$x = \frac{1K \times 0,76 \text{ MeV}}{2050K}$$

$$x = 0,04 \text{ MeV}$$

Z powyższego równania wynika, iż jednemu kanałowi odpowiada energia równa 0,04 MeV.

Zgodnie z zaleceniami Instrukcji ITB [14], metoda kalibracji spektrometru polega na określeniu tzw. liczby zliczeń fotonów gamma, które emitowane są przez badaną próbkę w kanałach pomiarowych, a także ze wzorca, którym był izotop sodu  $^{22}\text{Na}$ . Do oznaczania pierwiastków promieniotwórczych występujących w przygotowanych próbkach materiałów budowlanych służą właściwe wzorce promieniotwórcze, charakteryzujące się właściwą dla siebie energią promieniowania gamma, co zostało przedstawione w tabeli 2.

Stwierdzenie w badanych próbkach obecności pierwiastków promieniotwórczych możliwe jest w chwili, gdy pierwiastki te emitują promieniowanie gamma, a ich energia odpowiada właściwemu izotopowi. Wynikiem przeprowadzonych badań są widma promieniowania  $\gamma$ , które odpowiadają odpowiednim energiom. Powierzchnia pod pikami odpowiada aktywności badanych pierwiastków.

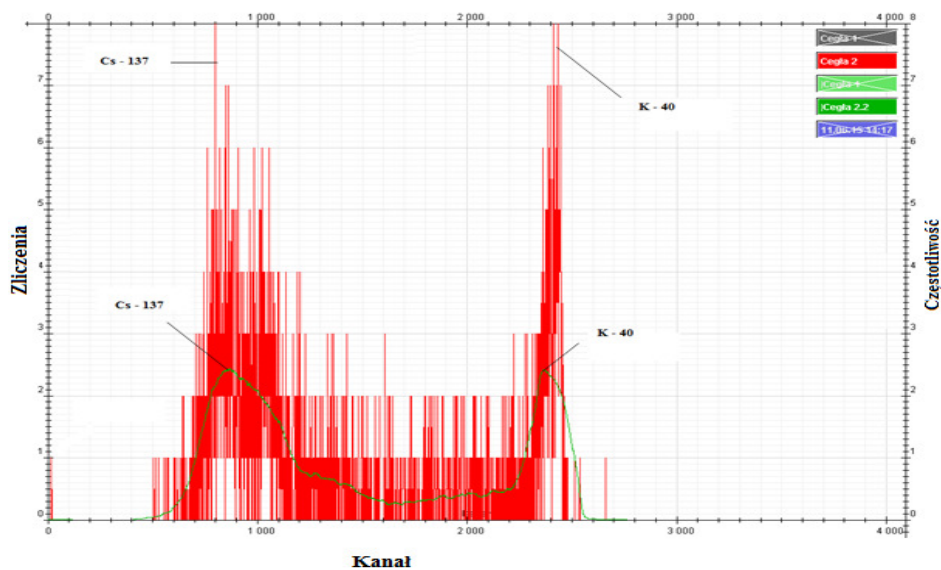
W pracy oznaczone pierwiastki promieniotwórcze to: potas  $^{40}\text{K}$ , rad  $^{226}\text{Ra}$ , tor  $^{228}\text{Th}$ , cez  $^{137}\text{Cs}$ .

Tabela 2. Energia promieniowania gamma dla poszczególnych pierwiastków promieniotwórczych [10]

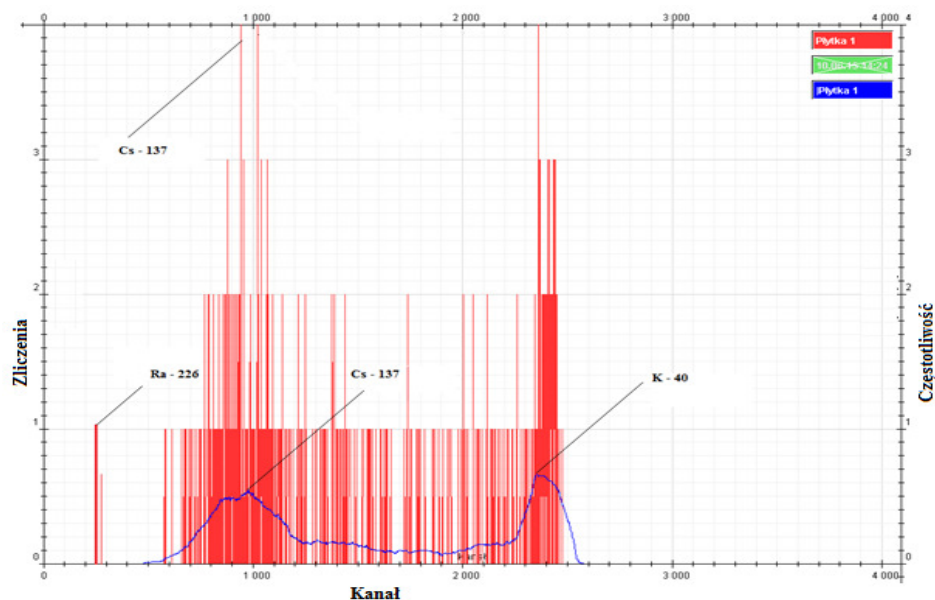
Izotop	Całkowita energia promieniowania gamma [MeV]
Potas $^{40}\text{K}$	1,46
Rad $^{226}\text{Ra}$	0,186
	0,26
	0,42
	0,61
Cez $^{137}\text{Cs}$	0,662
Tor $^{228}\text{Th}$	0,084
	0,132
	0,167
	0,214

Analizując otrzymane widma promieniowania gamma dla badanych próbek, a także krzywą kalibracji energii (rys. 7), określono energię pików o największych maksimach. Energia ta pozwoliła odnieść się do wartości podanych

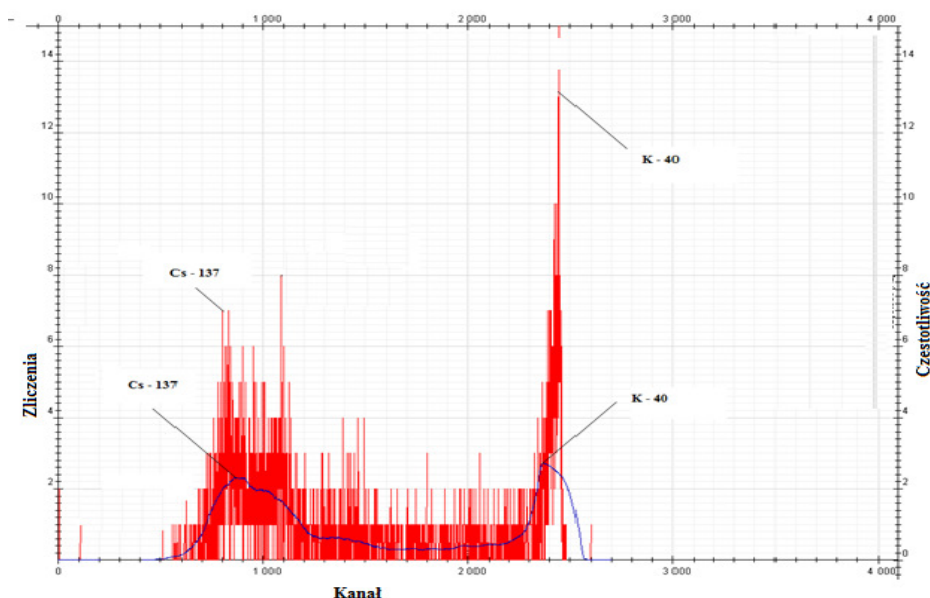
w tabeli 2 i ocenić, czy wymienione pierwiastki promieniotwórcze występują w badanych materiałach budowlanych. Rysunki 8–10 przedstawiają odpowiednio widma dla badanych próbek materiałów budowlanych: cegły, pustaka ceramicznej, płytki ceramicznej.



Rys. 8. Widmo promieniowania uzyskane w próbce cegły



Rys. 9. Widmo promieniowania uzyskane w próbce płytki ceramicznej



Rys. 10. Widmo promieniowania uzyskane w próbce pustaka ceramicznego

W wyniku analizy otrzymanych widm oraz danych przedstawionych w tabeli 2 w badanych próbkach stwierdzono występowanie następujących pierwiastków promieniotwórczych:

1. W próbce cegły została wykryta obecność:
  - sztucznego pierwiastka cezu  $^{137}\text{Cs}$ , któremu odpowiada energia  $E_\gamma = 0,66 \text{ MeV}$ ,
  - naturalnego pierwiastka, jakim jest potas  $^{40}\text{K}$  o energii  $E_\gamma = 1,27 \text{ MeV}$ .
2. W próbce płytki ceramicznej został wykryty:
  - naturalny pierwiastek radu  $^{226}\text{Ra}$ , któremu odpowiada energia fotonów gamma  $E_\gamma = 0,42 \text{ MeV}$ ,
  - naturalny pierwiastek potasu  $^{40}\text{K}$ , o energii  $E_\gamma = 1,27 \text{ MeV}$ ,
  - sztuczny pierwiastek cezu  $^{137}\text{Cs}$  o energii  $E_\gamma = 0,66 \text{ MeV}$ .
3. W próbce płytki ceramicznej został wykryty:
  - naturalny pierwiastek radu  $^{226}\text{Ra}$ , któremu odpowiada energia fotonów gamma  $E_\gamma = 0,42 \text{ MeV}$ ,
  - naturalny pierwiastek potasu  $^{40}\text{K}$ , o energii  $E_\gamma = 1,27 \text{ MeV}$ ,
  - sztuczny pierwiastek cezu  $^{137}\text{Cs}$  o energii  $E_\gamma = 0,66 \text{ MeV}$ .

Analiza otrzymanych wyników podczas przeprowadzonego eksperymentu, a także badań przeprowadzonych w Instytucie Fizyki Jądrowej [12] potwierdza, że ilość wykrytych pierwiastków promieniotwórczych w badanych próbkach nie przekroczyła dopuszczalnych norm zawartych w Rozporządzeniu Rady Ministrów [13].

## Wnioski

Tematem pracy była analiza promieniowania gamma dla pięciu próbek materiałów budowlanych. Opracowanie otrzymanych wyników pozwoliło stwierdzić obecność pierwiastków promieniotwórczych. W badanych próbkach wykryto obecność cezu  $^{137}\text{Cs}$ , potasu  $^{40}\text{K}$  oraz radu  $^{226}\text{Ra}$ . Nie udało się zidentyfikować obecności pierwiastka toru  $^{228}\text{Th}$  w badanych materiałach. Wyniki te (znikome ilości wspomnianych pierwiastków) pozwalają z powodzeniem stwierdzić, iż materiały budowlane mogą być bezpiecznie stosowane w budownictwie. Obecność pierwiastków w próbkach materiałów budowlanych może być wynikiem środków stosowanych podczas ich produkcji, a także wpływem promieniotwórczości wynikającej z otoczenia miejsca, w którym materiały i surowce budowlane były składowane.

Procedura badawcza oraz ocena surowców i materiałów budowlanych odnosi się do Instrukcji Techniki Budowlanej. Według jej wytycznych materiały te, nie mogą przekroczyć pewnych wartości promieniowania, aby były bezpieczne do stosowania w budownictwie, a tym samym bezpieczne dla człowieka. Badania przeprowadzone w niniejszej pracy potwierdzają to założenie, a zatem pozwalają stwierdzić, że obawy przed promieniowaniem gamma w pomieszczeniach przeznaczonych na stały pobyt ludzi nie są umotywowane wynikami badań lecz niewiedzą ludzi na temat promieniotwórczości.

W praktyce budowlanej należy jednak ściśle przestrzegać zasad i zaleceń zawartych w rozporządzeniach Rady Ministrów w sprawie wymagań dotyczących zawartości izotopów promieniotwórczych w surowcach i materiałach w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i inwentarza żywego.

## Literatura

- [1] Niewiadomski T., O promieniowaniu jonizującym popularnie, PZWL, Warszawa 1991.
- [2] Dziunikowski B., O fizyce i energii jądrowej, AGH Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2001.
- [3] Szczeniowski S., Fizyka doświadczalna, PWN, Warszawa 1985.
- [4] Gostkowska B., Skłodowska A., Promieniowanie jonizujące a człowiek, PWN, Warszawa 2001.
- [5] Jaracz P., Promieniowanie jonizujące w środowisku człowieka, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2004.
- [6] Hryniewicz A., Człowiek i promieniowanie jonizujące, PWN Warszawa 2001.



- 
- [7] Rozporządzeniu Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z dn. 22.03.1996 r. (MP nr 19/96 POZ. 231).
  - [8] Strzałkowski A., Wstęp do fizyki jądra atomowego, PWN, Warszawa 1978.
  - [9] Polon-Alfa, Radiometr RUM-2. Instrukcja obsługi, Bydgoszcz 2012.
  - [10] Gostkowska B., Fizyczne podstawy ochrony radiologicznej, Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, Warszawa 1992.
  - [11] Zakrzewski T., Promieniotwórczość naturalna w budownictwie, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005.
  - [12] Bogacz J., Cywicka-Jakiel T., Mazur J., Łoskiewicz J., Swakoń J., Tracz G., Analiza promieniotwórcza niektórych materiałów budowlanych z obszaru Małopolski, Sekcja Wydawnictw Działu Informacji naukowej IFJ, Kraków 1994.
  - [13] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 2 stycznia 2007 r. (Dz.U. 2007, nr 4, poz. 29).
  - [14] Instrukcja nr 234:1995 – Wytyczne badania promieniotwórczości naturalnej surowców i materiałów budowlanych, ITB, Warszawa 1998.