

Pomiar stężenia radonu i jego pochodnych w powietrzu atmosferycznym

Kalina Mamont-Cieśla¹, Magdalena Piekarz¹, Jan Pluta²

¹ – Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej

² – Wydział Fizyki Politechniki Warszawskiej

Warszawa, 2012

Materiał dydaktyczny dla Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej, opracowany w ramach zadania nr 33: „Modyfikacja kształcenia na Wydziale Fizyki w zakresie wykorzystywania technik i technologii jądrowych w gospodarce narodowej” projektu „Program Rozwojowy Politechniki Warszawskiej” współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego (Program Operacyjny Kapitał Ludzki)



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



PROGRAM ROZWOJOWY
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

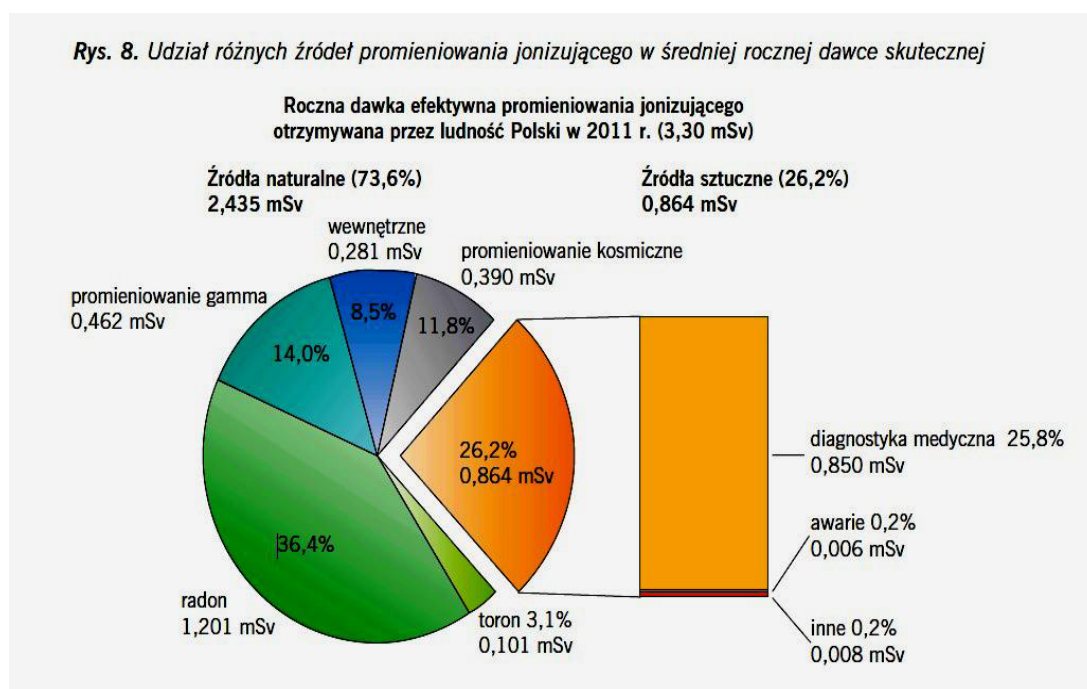
UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Wstęp

Promieniotwórczy gaz radon jest źródłem największego składnika dawki promieniowania jonizującego, jaką otrzymujemy przeciętnie w ciągu roku. Ilustruje to rysunek poniżej, zaczerpnięty z opracowania Państwowej Agencji Atomistyki.



Tak duży wkład dawki od radonu wynika z tego, że zarówno radon jak i jego krótkożyciowe produkty rozpadu emitują cząstki alfa, czyli promieniowanie jonizujące najbardziej szkodliwe dla organizmów żywych i, co więcej, na które narażone są nasze narządy wewnętrzne.

Jest więc ze wszech miar uzasadnione, by starać się zrozumieć naturę emisji tego promieniowania oraz poznać mechanizmy prowadzące do deponowania tak istotnego składnika otrzymywanej dawki. Również ważne jest, aby umieć oszacować ilościowo zawartość radonu w powietrzu oraz zapoznać się z różnymi aspektami związanymi z tym potencjalnym zagrożeniem.

Celem tego ćwiczenia jest wyznaczenie stężenia radonu w otaczającym nas powietrzu poprzez pomiar promieniotwórczych izotopów pochodnych, tworzonych wskutek rozpadów jąder radonu. Celem ogólnym jest uświadomienie mało znanego w społeczeństwie polskim faktu obecności promieniowania jonizującego w środowisku, w którym żyjemy.

Wykonanie ćwiczenia:

Wykonanie ćwiczenia umożliwi zapoznanie się z aparaturą stosowaną do detekcji promieniowania jonizującego oraz z metodami pomiarowymi i obliczeniowymi pozwalającymi na wyznaczenie dawek w oparciu o wykonane pomiary.

1. Przygotowanie merytoryczne:

Materiały niezbędne dla zrozumienia roli radonu w otrzymywanej przez człowieka dawce promieniowania jonizującego oraz zawierające informacje niezbędne do wykonania pomiarów i analizy wyników zawarte są w opracowaniu [1]:

K. Mamont-Cieśla - „Radon - promieniotwórczy gaz w środowisku człowieka”

stanowiącym integralną część dokumentacji tego ćwiczenia.

Z opracowaniem tym należy zapoznać się **przed** rozpoczęciem pomiarów w laboratorium.

2. Pomiary:

2.1 Cel i zasada pomiaru

Celem pomiaru jest wyznaczenie stężenia radonu w powietrzu metodą pośrednią, tj. poprzez pomiar stężenia energii potencjalnej alfa krótkożyciowych produktów rozpadu (pochodnych) radonu. Schemat łańcucha rozpadu radonu ^{222}Rn i jego pochodnych przedstawia tabela poniżej.

liczba masowa, A	liczba atomowa, Z					
	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
222						3,82 dni
218				3,05 min.	1,75 sek.	0,035 sek.
214		26,8 min.	19,7 min.	0,164 ms		
210	1,32 min.	22,3 lat	5,0 dni	138 dni		
206	4,19 min.	izotop trwały				

Najważniejszymi krótkożyciowymi pochodnymi izotopu radonu ^{222}Ra są alfa-promieniotwórcze izotopy:

- polon ^{218}Po ($T_{1/2}=3,05$ minuty),
 - polon ^{214}Po ($1,64 \cdot 10^{-4}$ sekundy)
- oraz beta-promieniotwórcze:
- ołów ^{214}Pb ($T_{1/2}=26,8$ minuty)
 - bizmut ^{214}Bi ($T_{1/2}=19,7$ minuty).

Zasada pomiaru polega na wykorzystaniu istniejącej zależności pomiędzy stężeniem radonu w powietrzu a odpowiadającym mu stężeniem energii potencjalnej alfa produktów rozpadu radonu. Zależność ta wyrażona jest wzorem:

$$C_{Rn} = E_{\alpha} \cdot 0,18/F$$

gdzie:

- C_{Rn} - stężenie radonu w powietrzu [Bq/m^3]
 - E_{α} - stężenie energii potencjalnej alfa krótkożyciowych produktów rozpadu radonu [nJ/m^3]
 - 0,18 - współczynnik przeliczeniowy [Bq/nJ] stężenia energii potencjalnej alfa (E_{α}) na stężenie radonu. Współczynnik ten jest równy stężeniu radonu odpowiadającemu jednostkowemu stężeniu energii potencjalnej alfa w sytuacji pełnej równowagi promieniotwórczej czyli $F=1$
 - F - rzeczywisty współczynnik równowagi w badanym powietrzu.
- (Definicje wymienionych tu wielkości i inne informacje na ten temat znajdują się w podanym wyżej opracowaniu [1].)

Współczynnik równowagi F teoretycznie może się zmieniać w granicach od 0 do 1. Wartość 0 oznacza, że produkty rozpadu radonu są natychmiast w całości usuwane z powietrza. Wartość 1 oznacza, że nie następuje usuwanie pochodnych radonu z badanego układu. Obie wartości graniczne nie występują w naturalnych warunkach przebywania ludzi. Przyjmuje się, że w mieszkaniach, a także innych pomieszczeniach zamkniętych o umiarkowanej wentylacji, współczynnik równowagi F wynosi **0,4**.

Wobec braku w Polsce norm określających dopuszczalne stężenie radonu w pomieszczeniach, w celu oszacowania narażenia można posłużyć się rekomendacją Światowej Organizacji Zdrowia (ang. *World Health Organization - WHO*), która zaleca, by stężenie radonu w budynkach mieszkalnych nie przekraczało $300 Bq/m^3$. Według najnowszych obliczeń ICRP (*International Commission on Radiological Protection*) wartość ta odpowiada w przybliżeniu 10 mSv/rok.

2.2 Aparatura pomiarowa:

W skład aparatury pomiarowej wchodzi następujące elementy:

- Układ do przepompowywania powietrza przez filtr (1), z wykorzystaniem odkurzacza (2) jako pompy zasysającej powietrze i celulozowych serwetek (3), jako filtrów
- Sonda scyntylacyjna SSA-1P do pomiaru promieniowania alfa (4), <http://www.polon-alfa.pl/produkty/aparatura-dozymetryczna/sondy/sonda-scyntylacyjna>
- Miernik uniwersalny RUM-1 (5, oraz Fot.2). Opis miernika znajduje się przy stanowisku pomiarowym.



Fot.2.

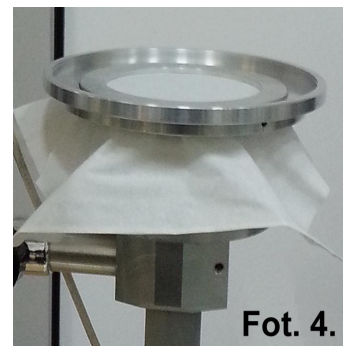


Fot. 1.



Fot. 3.

Układ do przepompowywania powietrza - to niewielki pojemnik (Fot.3.) z siatką drucianą w górnej części. Na siatce układa się filtr, który dociska pierścień (Fot.4.). W dolnej części znajduje się rura podłączona do odkurzacza



Fot. 4.

2.3 Wykonanie pomiarów:

1. **Uruchomienie miernika RUM-1:** postępować zgodnie z załączoną instrukcją obsługi. (Uwaga: sondy nie wolno podłączać ani odłączać przy włączonym mierniku; należy najpierw podłączyć sondę a dopiero potem włączyć miernik). Napięcie zasilania sondy: 804 V.
2. **Pomiar tła:** umieścić filtr pod detektorem (Fot.5.), na mierniku ustawić „pomiar tła” i czas pomiaru 100 sekund lub więcej. Po zakończeniu pomiaru zapisać liczbę zliczeń na sekundę i jej niepewność.
3. **Pomiar stężenia energii potencjalnej alfa produktów rozpadu radonu (E_{α}):** Zainstalować filtr, włączyć pompę i przepuszczać powietrze w ciągu **15 minut**. Po tym czasie umieścić filtr pod sondą scyntylicyjną tak, aby dokładnie przylegał. **Po 30 sekundach** od zakończenia pracy pompy włączyć **100-sekundowy** pomiar sondą scyntylicyjną.
4. **Badanie zależności liczby zliczeń od czasu zbierania pochodnych radonu na filtrze:** powtórzyć pomiar opisany w pkt.3 dla czasu przepływu powietrza równego **10 i 5 minut**, a w miarę możliwości także dla czasów pośrednich, np. **2, 7, 12 minut**. Czas trwania każdego pomiaru, 100 sekund.
5. **Badanie czasu rozpadu pochodnych radonu** dla filtru, przez który przepuszczano powietrze przez 15 minut. Wykonać pomiary po upływie: **10, 20, 30, 40, itd. minut**. Nie muszą to być koniecznie jednakowe odstępy czasu. Należy wykorzystać czas do zakończenia zajęć w laboratorium i zebrać dane dla jak największej liczby punktów pomiarowych.
6. **Pomiar absorpcji promieniowania alfa:** pomiar z kartką papieru, umieszczoną pomiędzy sondą pomiarową i filtrem, dla filtru, przez który przepuszczano powietrze przez 15 minut.
7. **Pomiar stężenia energii potencjalnej alfa produktów rozpadu radonu na zewnątrz budynku oraz na różnych wysokościach nad poziomem ziemi.** (Pomiar opcjonalny, do uzgodnienia z prowadzącym zajęcia.)



3. Analiza wyników pomiarów:

Uwaga: Przed przystąpieniem do analizy wyników należy szczegółowo zapoznać się z rozdziałem 3. *Energia potencjalna krótkożyciowych pochodnych radonu i toronu* oraz z rozdziałem 7. *Dawka od krótkożyciowych pochodnych radonu* w opracowaniu [1]

- Zbadać zależność liczby zliczeń na sekundę od czasu zbierania pochodnych radonu na filtrze. Sprawdzić, czy jest to zależność liniowa. Pamiętać o odjęciu tła.
- Wyznaczyć stężenie energii potencjalnej alfa, E_α krótkożyciowych pochodnych radonu, uwzględniając współczynnik kalibracji dla danego czasu pomiaru. Wartości współczynników zawiera załącznik „*Sprawozdanie z pomiarów kalibracyjnych*”, plik: Radon-kalibracja-PAEC.pdf [2]. Współczynniki te zostały wyznaczone w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej we wzorcowej komorze radonowej (zob. rozdział 4.5 *Kalibracja* w opracowaniu [1]). Dla zadanego stężenia energii potencjalnej alfa w komorze zostały wykonane pomiary dla trzech różnych czasów zbierania na filtrze: (5,10,15) min. Pomiary te zostały powtórzone dla różnych wartości stężeń energii potencjalnej alfa. Do otrzymanych zależności została dopasowana funkcja liniowa, która wyznacza wartość współczynnika wzorcowania umożliwiającego przeliczenie zmierzonej liczby zliczeń dla danego czasu zbierania, na odpowiadającą jej wartość stężenia energii potencjalnej alfa. Jeśli dla danego czasu zbierania brak jest danych kalibracyjnych należy wziąć wartość średnią współczynnika wzorcowania z dwóch najbliższych wartości czasu zbierania.
- Wykonać kontrolny wykres E_α w funkcji czasu zbierania z zaznaczonymi wartościami niepewności pomiarowych. Sprawdzić czy jest to wartość stała w granicach niepewności pomiarowych.
- Obliczyć stężenie radonu w Bq/m^3 odpowiadające wyznaczonej wartości stężenia energii potencjalnej alfa przy współczynniku równowagi $F=0,4$. Wykorzystać podany wyżej wzór przeliczający. Porównać ze wzorem (5) w opracowaniu [1].
- Obliczyć roczną dawkę efektywną, wyrażoną w mSv , odpowiadającą wyznaczonej wartości stężenia energii potencjalnej alfa. Metoda wyznaczenia tej dawki opisana jest w rozdziale 7 opracowania [1]. Przyjąć wartość współczynnika konwersji ekspozycji na dawkę DCF (Dose Conversion Factor) odpowiadający ogólnej populacji. Czy wyznaczona dawka stanowi zagrożenie dla zdrowia?
- Zbadać zależność liczby zliczeń od czasu, który upłynął od zakończenia zbierania produktów radonu na filtrze. Określić charakter tej zależności.
- Porównać liczbę zliczeń uzyskaną dla pomiaru, kiedy pomiędzy sondą pomiarową i filtrem umieszczona była kartka papieru, z liczbą zliczeń dla pomiaru bez tej kartki oraz z liczbą zliczeń uzyskaną dla pomiaru tła. Jaki wniosek z tego wynika?
- Porównać wyniki pomiarów na różnych wysokościach nad poziomem ziemi (jeśli były wykonywane takie pomiary).

4. Opracowanie sprawozdania:

- Opisać właściwości radonu i jego miejsca występowania w środowisku człowieka. Dla ułatwienia kompozycji tego punktu, poniżej podane są zagadnienia z tym tematem związane:
 - radon jako pierwiastek chemiczny oraz własności fizyczne izotopów radonu,
 - występowanie radonu w różnych strefach geograficznych w świecie i w Polsce oraz w różnych pokładach geologicznych,
 - sposoby przenikania radonu do budynków i stężenie radonu w zależności od położenia, konstrukcji i przeznaczenia pomieszczenia,
 - sposoby zapobiegania gromadzeniu się radonu w budynkach, konstrukcja budynków z aktywną eliminacją radonu,
 - metody pomiaru stężenia radonu i jego pochodnych, urządzenia do pomiarów bieżących i długoterminowych, urządzenia dedykowane pomiarom w warunkach specjalnych (kopalniach); konstrukcja instrumentów pomiarowych różnego typu,
 - przepisy prawne dotyczące dopuszczalnego stężenia radonu w budynkach w różnych krajach,
 - instytucje w okręgu warszawskim zajmujące się zagadnieniami pomiarów stężenia radonu w powietrzu, w glebie itp.
- Opisać procedurę wyznaczania stężenia radonu.
- Podać wartości liczbowe i ich niepewności:
 - stężenia radonu w pomieszczeniu laboratorium w Bq/m^3
 - odpowiadającej temu stężeniu rocznej dawki efektywnej w mSv
 - porównać otrzymane wartości z wartościami obowiązujących norm.
- Podać dane liczbowe określające warunki pomiaru:
 - datę i godzinę,
 - temperaturę w pomieszczeniu,
 - ciśnienie atmosferyczne,
 - wilgotność względną w pomieszczeniu,
 - stan pogody (słonecznie, pochmurno, deszcz, śnieg)
- Wykonać wykresy:
 - a) zależności liczby zliczeń na sekundę od czasu zbierania pochodnych radonu na filtrze. (Sprawdzić, czy jest to zależność liniowa.)
 - b) zależności liczby zliczeń od czasu, który upłynął od zakończenia zbierania radonu na filtrze do początku pomiaru. (Określić charakter tej zależności i wyznaczyć parametry.)
 - c) w oparciu o otrzymane wartości parametrów w punkcie b) wyznaczyć efektywny czas połowicznego rozpadu pochodnych radonu i porównać z wartościami tablicowymi.
- Podać wnioski wynikające z wykonanych pomiarów i analizy danych.

Materiały do przygotowania się:

- [1]. Kalina Mamont-Cieśla, *Radon - promieniotwórczy gaz w środowisku człowieka*, plik: Radon-1a.pdf
- [2]. Magdalena Piekarcz, *Sprawozdanie z pomiarów kalibracyjnych*, CLOR, 24.12.2012, plik: Radon-kalibracja-PAEC.pdf
- [3]. WWW: <http://www.if.pw.edu.pl/~pluta/pl/dyd/mtj/zal1.html> punkt: „Promieniowanie jonizujące w środowisku człowieka” oraz „Opracowania wykonane w latach wcześniejszych”; temat 20. „Zawartość radonu w powietrzu...”(4 opracowania)
- [4]. Materiały dostępne w Google pod hasłem „Radon”
- [5]. Materiały dostępne na stronie:
<http://www.if.pw.edu.pl/~pluta/pl/dyd/zajecia-pl.html>
 1. [Radon - promieniotwórczy gaz w środowisku człowieka](#)
 2. [Radon- instrukcja do ćwiczenia](#)
 3. [Radon - kalibracja](#)