



Laboratorium Fizyki i Techniki Jądrowej

Radon 2: Pomiary zawartości radonu Rn-222 w próbkach wody

Opracowanie: mgr inż. Zuzanna Podgórska, podgorska@clor.waw.pl

Miejsce wykonania ćwiczenia: Zakład Kontroli Dawek i Wzorcowania,
Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej,
ul. Konwaliowa 7, 03-194 Warszawa

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodą wyznaczania stężenia radonu Rn-222 w wodzie.

Niniejsza instrukcja zawiera: wstęp teoretyczny dotyczący radonu, pomiarów radonu w wodzie, szacowania niepewności pomiaru, wykaz wyposażenia oraz opis zadań do wykonania w trakcie zajęć i wymagania dotyczące przygotowania sprawozdania.

2. Wstęp

2.1. Radon

Radon jest naturalnie występującym radioaktywnym gazem szlachetnym. Występuje we wszystkich naturalnych komponentach środowiska: w glebie, powietrzu atmosferycznym oraz w wodzie. Izotopy radonu powstają w wyniku rozpadu radu, który jest produktem rozpadu uranu zawartego w skorupie ziemskiej. Najbardziej istotnym z punktu widzenia dozymetrii jest izotop radonu Rn-222, którego czas połowicznego rozpadu wynosi około 3,8 dnia.

W wyniku przemiany promieniotwórczej radonu powstają krótkożyciowe pochodne: ołów, polon i bizmut. Przemianom radonu i jego pochodnych towarzyszy emisja promieniowania jonizującego.

Dozymetria radonu jest szczególnie ważna z uwagi na wpływ tego radionuklidu na zdrowie. Radon jako gaz jest wdychany i oddziałuje na organizm od wewnątrz. Jako gaz rozpuszczalny w wodzie, może oddziaływać również na skutek wchłonięcia drogą pokarmową, dlatego istotna jest też ocena stężeń radonu w wodzie pitnej.

Dnia 13. listopada 2015 r. weszło w życie Rozporządzenie Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Rozporządzenie to reguluje kwestię kontroli zawartości izotopów promieniotwórczych – w tym radonu – w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi oraz określa sposób postępowania w zależności od wyników analizy. Przepisy te odnoszą się do próbek wody przeznaczonych do spożycia przez ludzi, pochodzących z różnych źródeł: studnie głębinowe, ujęcia wody pitnej, sieć wodociągowa, źródła wody mineralnej, jak również woda umieszczana w butelkach lub pojemnikach przeznaczonych do sprzedaży.

2.2. Definicje i oznaczenia

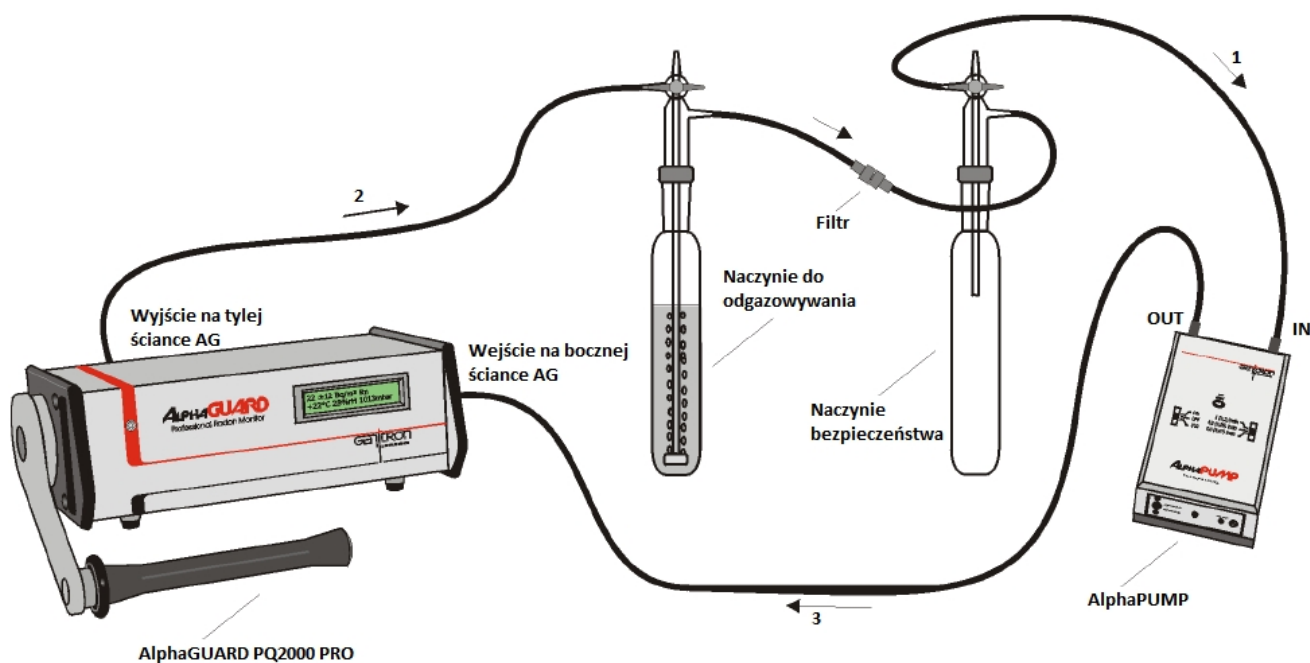
- **Bekereł Bq** – nazwa jednostki aktywności. Jeden bekerel odpowiada jednej przemianie jądrowej na sekundę

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$$

- **Okres połowicznego rozpadu $T_{1/2}$** – okres czasu, po upływie którego połowa początkowych ilości atomów rozpatrywanego radionuklidu ulegnie rozpadowi
- **Współczynnik rozpuszczalności radonu w wodzie k** – zdefiniowany jest jako stosunek stężenia radonu w wodzie do stężenia radonu w powietrzu
- **AG2-** monitor radonowy AlphaGUARD

3. Schemat połączeń układu pomiarowego

Schemat połączeń układu pomiarowego przedstawiono poniżej:



Rysunek 1 Układ pomiarowy - AlphaGUARD + AquaKIT

4. Metoda pomiaru

Do przeprowadzenia pomiaru i wyznaczenia stężenia radonu w próbce wody używany jest zestaw AquaKIT (produkcji Genitron GmbH) w połączeniu z komorą jonizacyjną AlphaGUARD PQ2000 PRO. Oznaczenie stężenia radonu w próbce wody oparte jest na wskazaniach komory jonizacyjnej, która w czasie procesu pomiarowego rejestruje radon odgazowany z próbki.

Bezpośrednio w procesie wyznaczania stężenia izotopu ^{222}Rn wykorzystuje się:

- AlphaGUARD PQ2000 typ EF nr fabryczny 0843
- zestaw AquaKIT (*Rysunek 1*)
- komputer z oprogramowaniem DataEXPERT

5. Pomiar stężenia izotopu ^{222}Rn w wodzie

5.1. Przygotowanie układu

W celu wykonania pomiaru stężenia radonu w próbce wody należy połączyć elementy układu pomiarowego zgodnie z Rysunkiem 1.

Wylot komory jonizacyjnej AG2 ma być zamknięty tarczą używaną do trybu pracy przepływowej.

5.2. Pomiar tła

Przed pomiarami należy zmierzyć tło układu pomiarowego ustawiając AG2 w tryb pracy „1 min FLOW”, włączyć pompkę na 10 minut z prędkością pompowania 0,3 l/min. Zanotować wynik.

5.3. Pomiar próbki wody

Przeprowadzić pomiar stężenia ^{222}Rn w próbce wody zgodnie z instrukcją poniżej:

- ustawić na AG2 „1 min. FLOW”,
- ustawić na pompce AlphaPUMP „off” i flow 0,3 l/min,
- wstrzyknąć strzykawką próbkę wody do naczynia do odgazowywania (nieco powyżej 100 ml) w taki sposób, aby nie pojawiły się turbulencje,
- włączyć pompkę AlphaPUMP (pozycja „on”) na 10 minut w celu odgazowania radonu z próbki wody,
- po 10 minutach wyłączyć pompkę AlphaPUMP (pozycja „off”) i odczekać 20 minut,
- odłączyć dren nr 2 z tylnej ścianki AG2,
- wylać próbkę do menzurki i zmierzyć objętość wody oraz temperaturę,
- wstawić pusty barboter na swoje miejsce i włączyć pompkę AlphaPUMP (pozycja „on”) z przepływem 1 l/min w celu oczyszczenia AG2 z radonu na ok. 10 minut,
- w przypadku wykonywania większej serii pomiarów (zwłaszcza, jeśli stężenia radonu są wysokie) należy użyć filtra z węglem aktywnym do usunięcia radonu pozostałego w układzie pomiarowym. W tym celu, po wykonaniu kilku pomiarów z wietrzeniem AG2 opisanym w punkcie wyżej, należy wpiąć filtr węglowy pomiędzy naczynie do odgazowywania a naczynie bezpieczeństwa w zamkniętym obiegu

(Następnie włączyć pompkę AlphaPUMP (przepływ: 1,0 l/min) i pompować przez kilka minut, aż stężenie radonu w układzie spadnie do poziomu tła.

5.4. Opracowanie wyników

- podłączyć AG2 do komputera,
- otworzyć program DataEXPERT, odszukać odpowiedni plik (po dacie i godzinie pomiaru), wybrać odpowiednie parametry, skopiować wartości do pliku w Excelu.
- obliczyć stężenie radonu ^{222}Rn w wodzie korzystając ze wzoru:

$$C_{\text{water}} = \frac{C_{\text{air}} \cdot \left(\frac{V_{\text{system}} - V_{\text{sample}}}{V_{\text{sample}}} + k \right) - C_0}{1000}$$

gdzie:

C_{water} [Bq/l]- stężenie radonu w badanej próbce wody,

C_{air} [Bq/m³]- średnie stężenie ^{222}Rn zmierzone przez AG2,

C_0 ,- błąd własny układu/tła,

V_{system} [ml]- objętość układu (1102 ml),

V_{sample} [ml]- objętość próbki (100 ml),

k - współczynnik Ostwalda- współczynnik rozpuszczalności radonu w wodzie, zdefiniowany jest jako stosunek stężenia radonu w wodzie do stężenia radonu w powietrzu (Tabela 1).

Współczynnik Ostwalda (k) wyznacza się z równania:

$$k(t) = 0,05843 + 0,31955 \cdot e^{\left(\frac{-t}{16,43427}\right)} + 0,10195 \cdot e^{\left(\frac{-t}{32,45791}\right)} + 0,04478 \cdot e^{\left(\frac{-t}{3,3958 \cdot 10^{110}}\right)}$$

t – temperatura próbki w °C

UWAGA: Przed podaniem ostatecznego wyniku analizy próbki należy uwzględnić w obliczeniach czas jaki minął od pobrania próbki do jej pomiaru z uwagi na stosunkowo krótki czas połowicznego zaniku radonu (3,8 dnia). Zatem końcowa wartość stężenia radonu w próbce C_{Rn} wynosi:

$$C_{\text{Rn}} = C_w \cdot e^{\frac{0,693 \cdot t}{T}}$$

gdzie:

t – czas jaki upłynął od poboru próbki do jej pomiaru [h]

T- czas połowicznego zaniku ^{222}Rn [3,8 dnia = 91,2 h]

5.5. Szacowanie niepewności

Oznaczanie stężenia radonu w próbkach wody opiera się na wskazaniach monitora AG2. Nigdy nie udaje się odgazować całego radonu z próbki, część zostaje w wodzie, a część zostaje rozcieńczona w układzie pomiarowym, dlatego niepewność obliczonego stężenia Cw wynika z następujących czynników:

- niepewności wskazań komory jonizacyjnej AG2– obliczanej wg algorytmów zawartych w oprogramowaniu (AlphaExpert) dostarczonym przez producenta,
- poziomu stężenia Rn w próbce przed rozpoczęciem pomiarów (próg detekcji 10 Bq/m³)
- niepewności pomiaru objętości systemu ($\pm 1\%$) (wg. Instrukcji AG)
- niepewności pomiaru objętości próbki ($\pm 1\%$) (wg. Instrukcji AG)
- niepewność określenia współczynnika k wynosi 2 %.

Całkowitą niepewność oznaczenia stężenia radonu w badanej próbce oblicza się stosując metodę różniczki zupełnej.

6. Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi; <http://dziennikustaw.gov.pl/du/2015/1989>
2. K. Mamont – Cieśla, „Radon – promieniotwórczy gaz w środowisku człowieka”; www.if.pw.edu.pl/~pluta/pl/dyd/mtj/MTJ-W-wa/Radon-1a.pdf

7. Przebieg ćwiczenia

- 7.1. Zadanie 1 – pomiar zawartości Rn-222 w próbkach o nieznanym stężeniu**
- 7.2. Zadanie 2- pomiar zawartości Rn-222 w próbce wody przeznaczonej do spożycia (woda z kranu, woda butelkowana)**

8. Sprawozdanie

Sprawozdanie z wykonanego ćwiczenia powinno zawierać następujące elementy:

- Wstęp teoretyczny
- Opis przebiegu każdego z zadań
- Wyniki pomiarów wraz z niepewnościami
- Omówienie wyników i wnioski

9. Załączniki

Tabela 1 Współczynnik Ostwalda k

Średnia temperatura [C]	Rozdział Fazy k (% który zostaje w wodzie)	Średnia temperatura [C]	Rozdział Fazy k (% który zostaje w wodzie)	Średnia temperatura [C]	Rozdział Fazy k (% który zostaje w wodzie)
0	0,525	43	0,154	86	0,112
1	0,503	44	0,151	87	0,112
2	0,482	45	0,149	88	0,111
3	0,462	46	0,147	89	0,111
4	0,444	47	0,145	90	0,111
5	0,426	48	0,144	91	0,111
6	0,410	49	0,142	92	0,110
7	0,394	50	0,140	93	0,110
8	0,379	51	0,139	94	0,110
9	0,365	52	0,137	95	0,110
10	0,352	53	0,136	96	0,109
11	0,339	54	0,134	97	0,109
12	0,328	55	0,133	98	0,109
13	0,316	56	0,132	99	0,109
14	0,306	57	0,131	100	0,108
15	0,296	58	0,130		
16	0,286	59	0,129		
17	0,277	60	0,127		
18	0,269	61	0,127		
19	0,261	62	0,126		
20	0,253	63	0,125		
21	0,246	64	0,124		
22	0,239	65	0,123		
23	0,232	66	0,122		
24	0,226	67	0,121		
25	0,220	68	0,121		
26	0,215	69	0,120		
27	0,209	70	0,119		
28	0,204	71	0,119		
29	0,200	72	0,118		
30	0,195	73	0,118		
31	0,191	74	0,117		
32	0,187	75	0,117		
33	0,183	76	0,116		
34	0,179	77	0,116		
35	0,176	78	0,115		
36	0,173	79	0,115		
37	0,169	80	0,114		
38	0,166	81	0,114		
39	0,164	82	0,113		
40	0,161	83	0,113		
41	0,158	84	0,113		
42	0,156	85	0,112		