

INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ
im. Henryka Niewodniczańskiego
ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków, Poland.

www.ifj.edu.pl/reports/2003.html
Kraków, marzec 2003

Raport Nr 1920/AP

KALIBRACYJNE KOMORY RADONOWE
w Instytucie Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego

K. Kozak, M. Janik, J. Mazur, E. Kochowska,
J. Bogacz, J. Łoskiewicz, J. Swakoń, T. Zdziarski, R. Haber

Abstract

The laboratory for calibration of radon detectors is presented in this report. The laboratory is equipped with two calibration chambers (volume: 200 and 600 liters), two radon sources (Ra-226 activity: 21,6 kBq and 52,3 kBq), a pump, a flow meter, a manometer, etc. Range of obtained radon concentrations is from 35 kBq/m³ to 244 kBq/m³. The computer software has been elaborated for planning and controlling the calibration procedure.

This work was partly supported by Research Grant No 6 PO4D 026 19

from the Polish Committee for Scientific Research

Streszczenie

W pracy przedstawiono utworzone w Laboratorium Promieniotwórczości Naturalnej, (Zakład Fizyki Środowiska i Transportu Promieniowania NZ6, IFJ) laboratorium „Komory radonowe” do kalibracji detektorów radonu. Laboratorium „Komory radonowe” wyposażone jest w dwie komory kalibracyjne o objętości 200 i 600 litrów, dwa źródła radonu (aktywność Ra-226: 21,6 kBq i 52,3 kBq), pompy, mierniki przepływu, manometry, etc.. Przedstawiono program komputerowy „KOMORY v.1.3”, który jest wykorzystywany do planowania procesu kalibracji i kontroli parametrów pracy komór.

1. Wstęp

Pomiary stężeń radonu w powietrzu przeprowadza się w celu określenia stopnia narażenia radiologicznego pochodzącego od tego izotopu. Do pomiarów stężenia radonu stosowane są dwa typy detektorów – detektory pasywne i aktywne.

Detektory aktywne umożliwiają bezpośredni i ciągły pomiar stężenia radonu, natomiast detektory pasywne dają informację o średnim stężeniu radonu w czasie ekspozycji detektora.

Pomiar z wykorzystaniem detektorów pasywnych przebiega dwu-etapowo. W pierwszym etapie detektor jest ekspozycyjnie przez ściśle określony czas (tzw. okres ekspozycji detektora) w objętości, w której chcemy określić stężenie radonu, a następnie po zakończeniu ekspozycji następuje tzw. „odczyt detektora” – najczęściej przeprowadzany w specjalistycznym laboratorium. W oparciu o wynik uzyskany w trakcie „odczytu detektora” oblicza się średnie stężenie radonu w powietrzu występujące w okresie ekspozycji detektora. Detektory pasywne dzielą się na dwie główne grupy. Pierwsza z nich to detektory śladowe wykorzystujące zjawisko powstawania uszkodzeń radiacyjnych w materiałach (głównie w plastikach) w efekcie pochłonięcia emisji cząstki alfa emitowanej w trakcie rozpadu radonu. Detektor śladów umieszczony jest w obudowie, która umożliwia wnikanie radonu do jej wnętrza oraz zapewnia ochronę materiału rejestrującego. Odczyt detektora polega na odpowiedniej obróbce chemicznej, a następnie na zliczeniu gęstości śladów wytworzonych uszkodzeń proporcjonalnej do wielkości ekspozycji w atmosferze radonu. Jako detektory śladowe wykorzystywane są głównie plastiki typu CR-39, LR115 [1]. Druga grupa detektorów pasywnych wykorzystuje zjawisko adsorpcji radonu i „uwięzienia” jego krótkożyciowych produktów rozpadu. Do adsorpcji radonu stosuje się węgle aktywne, które posiadają bardzo dobre zdolności adsorpcyjne. Tego typu detektory stosuje się w Laboratorium Promieniotwórczości Naturalnej (NZ6, IFJ) do pomiarów stężeń radonu w budynkach oraz ekshalacji radonu z gleby. Węgiel aktywny umieszczony jest

w odpowiednio skonstruowanym pojemniku aluminiowym umożliwiającym swobodną penetrację powietrza. Po zakończeniu ekspozycji pojemnik jest szczelnie zamykany. Etap „odczytu detektora” to spektrometryczna rejestracja kwantów promieniowania gamma emitowanych przez krótkożyciowe produkty rozpadu radonu. Analiza zarejestrowanego energetycznego widma promieniowania gamma pozwala na obliczenie średniego stężenia radonu występującego w czasie ekspozycji detektora [2]. Detektory aktywne, wykorzystywane w Laboratorium Promieniotwórczości Naturalnej (NZ6, IFJ), to komory jonizacyjne rejestrujące bezpośrednio promieniowanie alfa emitowane przez radon w trakcie jego rozpadu (AlphaGUARD PQ 2000 i PQ2000PRO). Detektory te mogą pracować w trybie dyfuzyjnym bądź w trybie przepływowym. W trybie dyfuzyjnym radon przenika do przestrzeni pomiarowej komory jonizacyjnej przez odpowiedni filtr zatrzymujący z wysoką wydajnością produkty rozpadu radonu, zaś w trybie przepływowym radon wraz z powietrzem jest zasysany do wnętrza komory przy pomocy odpowiedniej pompki [3].

Kalibracyjne komory radonowe wraz z wyposażeniem stanowią podstawowe narzędzie służące do kontrolowanej ekspozycji detektorów na radon i ich pochodne. Umożliwiają one rozwijanie nowych technik detekcji radonu i wzorcowanie aparatury dozymetrycznej.

Detektory pasywne wymagają wcześniejszej kalibracji, tzn. ustalenia odpowiedzi detektora po ekspozycji na stanowisku o znanym stężeniu radonu. Służą do tego stanowiska kalibracyjne umożliwiające uzyskiwanie znanych stężeń radonu oraz kontrolę przebiegu zmian stężenia w czasie. Podstawowym wyposażeniem takiego stanowiska jest źródło radonu oraz ekspozycyjna komora radonowa. LPN dysponuje dwoma źródłami radonu (typu RN-1025) firmy PYLON (Kanada), oraz dwiema komorami kalibracyjnymi zaprojektowanymi i wykonanymi w Laboratorium.

2. Kalibracyjna komora radonowa IFJ-KR-200

Widok komory IFJ-KR-200 przedstawiono na Rys. 1. Komora zbudowana jest w formie pionowego walca z blachy stalowej o grubości 1,5 mm. Wysokość komory wynosi 0,83 m, a średnica 0,56 m, objętość wewnętrzna komory IFJ-KR-200 wynosi $211,0 \pm 2.4 \text{ dm}^3$. Uszczelnienie komory zostało wykonane za pomocą lutowania pokrywy i dna komory. Pokrywa komory (uszczelniona silikonem) zamykana jest za pomocą 12 śrub rozmieszczonych na obwodzie pokrywy dokręcanych kluczem dynamometrycznym.



Rys. 1. Kalibracyjna komora radonowa IFJ-KR-200.

Zamontowane króćce, wyposażone w zawory gazowe, umożliwiają przepompowywanie w obiegu zamkniętym powietrza przez źródło radonu do wnętrza komory oraz wietrzenie komory przed i po eksperymencie. Komora posiada zamontowany w pokrywie manometr ciśnieniowy, pozwalający na kontrolę jej szczelności. Podłączenie do tablicy sterującej jest wykonane przewodami z PCV.

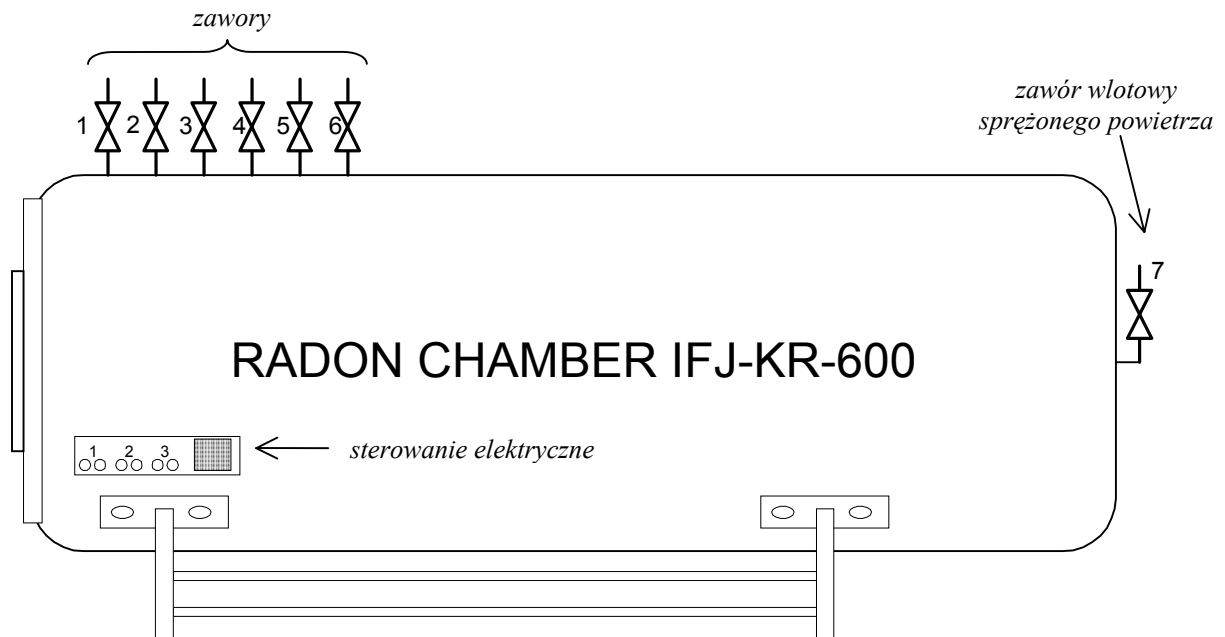
3. Kalibracyjna komora radonowa IFJ-KR-600

Ogólny widok komory IFJ-KR-600 przedstawia Rys. 2



Rys. 2. Kalibracyjna komora radonowa IFJ-KR-600

Komora IFJ-KR-600 posiada objętość $608,0 \pm 2,4 \text{ dm}^3$. Jej wymiary są następujące: długość 2,2 m, średnica 0,6 m. Zbudowana jest z blachy stalowej o grubości 3 mm. Schemat budowy komory przedstawiono na Rys. 3. Zasadniczą część komory stanowi stalowy walec zamykany szczelnie za pomocą dokręcanej 6 śrubami pokrywy. Śruby, dokręcane z użyciem klucza dynamometrycznego, zapewniają szczelne zamknięcie pokrywy. Komora wyposażona jest w 7 zaworów pozwalających na napełnianie komory radonem ze źródeł radonu zamocowanych na tablicy sterującej, na wietrzenie komory przed i po ekspozycji oraz na podłączanie przyrządów pomiarowych (np. AlphaGUARD) w celu kontroli parametrów panujących wewnątrz komory. Komora wyposażona jest w instalację elektryczną (12V i 220V), która umożliwia zasilanie przyrządów umieszczanych wewnątrz komory. Trzy pary zacisków elektrycznych wyprowadzonych na zewnątrz komory (przeloty próżniowe) pozwalają na sterowanie tymi przyrządami. Wewnątrz komory zamontowany jest wentylator, który zapewnia mieszanie powietrza i jednorodny rozkład stężenia radonu w całej przestrzeni komory. Sterowanie (włączanie, wyłączanie i regulacja obrotów) wentylatora odbywa się za pomocą zewnętrznego układu. Komora wyposażona jest w półkę umieszczoną na szynach, co pozwala na wkładanie detektorów lub przyrządów na dowolnej odległości wewnątrz komory. Wnętrze komory może być w razie potrzeby oświetlone. Zawory łączące komorę z tablicą sterującą i zawory dodatkowe do podłączania mierników zewnętrznych umieszczono na górnej części komory, zaś zawór doprowadzający sprężone powietrze (do przewietrzania komory) na tylnej ścianie (zawór 7 - Rys.3). Zawór wylotowy (zawór 1 – Rys. 3) umieszczony jest w przedniej części komory – takie rozmieszczenie zaworów wentylujących komorę zapewnia szybkie i dokładne usunięcie radonu z przestrzeni komory. Sprężone powietrze jest doprowadzane do komory poprzez reduktor ciśnienia zapewniający regulację szybkości wentylacji i wyposażony w ciśnieniowy zawór bezpieczeństwa.



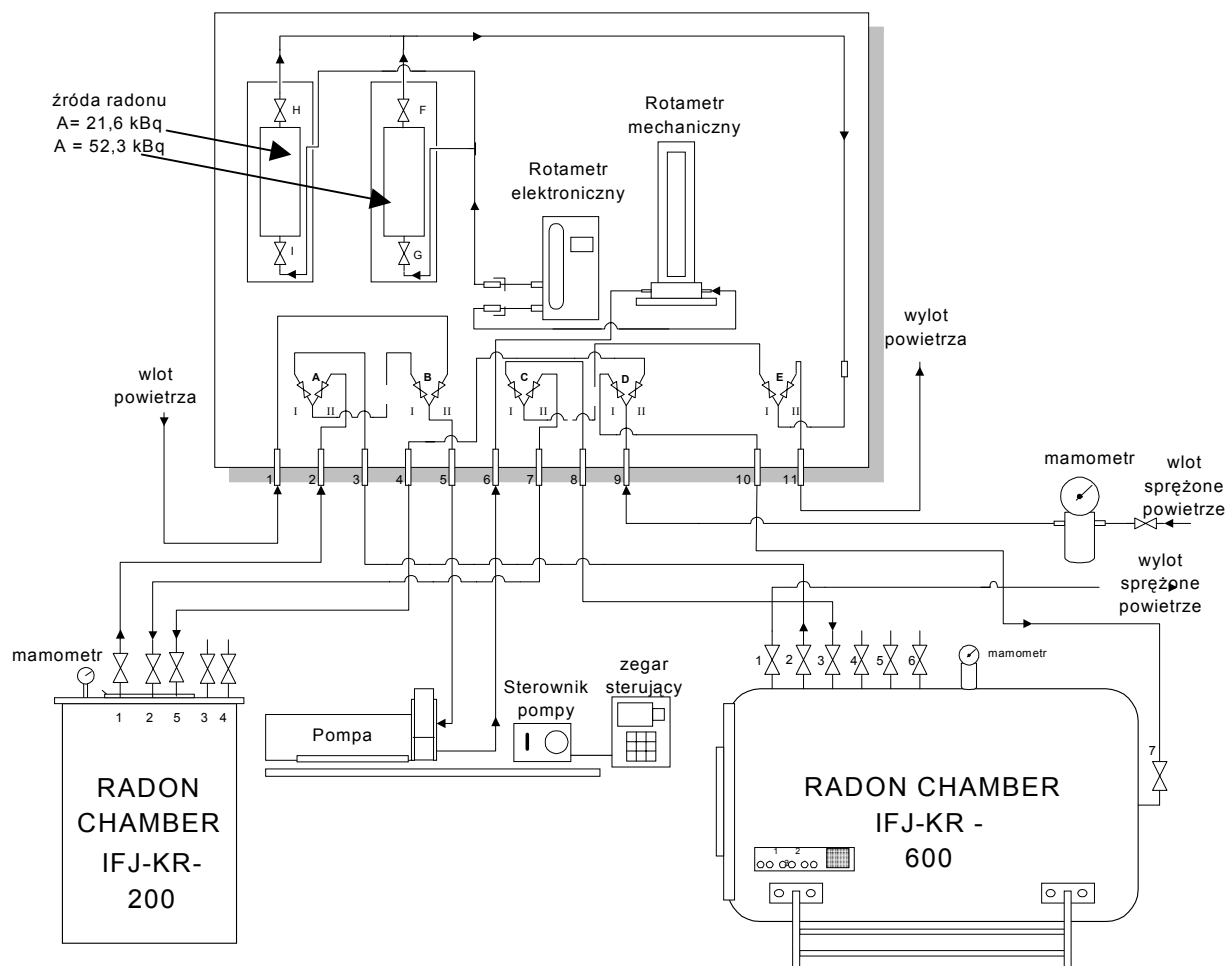
Rys.3. Schemat komory IFJ-KR-600.

Sprawdzenie szczelności komór: Komory zostały sprawdzone pod względem szczelności poprzez napełnienie ich sprężonym powietrzem. Uzyskano początkowe ciśnienie 101,3 kPa. Przez okres 7 dni zmiany ciśnienia były mniejsze niż klasa dokładności przyrządu (1,5).

4. Stanowisko kalibracyjne

Stanowisko kalibracji detektorów radonu znajduje się w pokoju o powierzchni ok. 15 m². W pokoju tym stoją obie komory radonowe, umieszczone są tam dwa źródła radonu, wskaźniki wilgotności, ciśnienia i temperatury, a także tablica sterująca pracą komór i osprzęt (pompy, zasilacze, stoły laboratoryjne, bieżąca woda). Schemat całego stanowiska przedstawia Rys. 4.

Na tablicy sterującej zamocowane są dwa źródła radonowe (I i II), produkcji PYLON, pozwalające na uzyskiwanie zadanych stężeń radonu. Istnieje możliwość podłączenia dowolnego źródła do każdej z komór, a także połączenie dwóch źródeł do jednej z komór.



Rys. 4. Schemat stanowiska kalibracyjnego.

Parametry stosowanych źródeł radonowych zestawiono w Tabeli 1. Każde ze źródeł posiada świadectwo wzorcowania wystawione przez PYLON Electronic Development Co., Ltd.

Tabela 1. Parametry źródeł radonowych PYLON [4].

Typ źródła	RN-1025	RN-1025
Producent	PYLON – Canada	
Izotop	Rad (226Ra)	
Dokładność kalibracji	± 4%	
Przepływ dopuszczalny	0÷10 litrów/minutę	
Zakres temperatur	od -20°C do +40°C	
Zakres wilgotności	do 100%	
Waga	1,7 kg	
Aktywność	21,6 kBq	52,3 kBq
Wydajność	2,710 Bq/min	6,580 Bq/min.
Wymiary	457mm x 153mm x 102mm	

Maksymalne stężenia radonu uzyskiwane w komorach w oparciu o w/w źródła przedstawiono w Tabeli 2.

Tabela 2. Maksymalne stężenia radonu uzyskiwane w komorach kalibracyjnych.

KOMORA	IFJ-KR-200	IFJ-KR-600
Źródło A= 21,6 kBq	do 100 kBq/m ³	Do 35 kBq/m ³
Źródło A= 52,3 kBq	do 244 kBq/m ³	Do 85 kBq/m ³

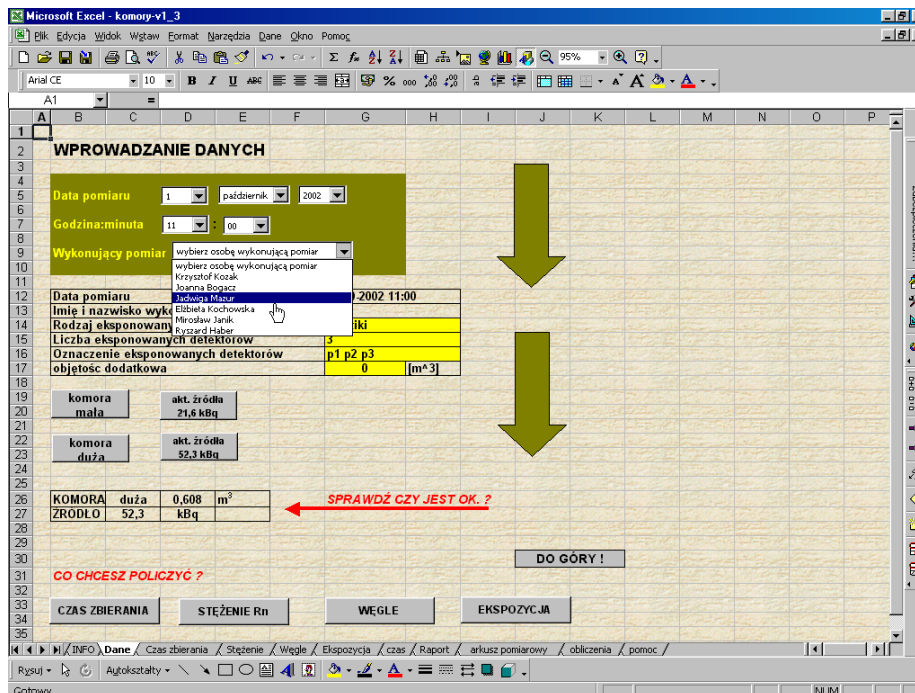
Wyposażenie stanowiska kalibracyjnego stanowią także dwa rotametry: mechaniczny i elektroniczny. Rotametry włączane są w obieg układu wymiennie i są wykorzystywane do kontroli prędkości przepływu powietrza przez źródła radonu.

Pozostałe elementy wyposażenia stanowiska to:

- pompa MASTERFLEX, model 7591-07, z układem sterowania umożliwiającym płynną regulację prędkości przepływu,
- reduktor ciśnienia powietrza przemysłowego, używany przy wietrzeniu komór,
- zawory kulowe do sterowania pracą komór,
- zawory przelotowe do napełniania komór,
- wentylatory,
- programowany czasowy wyłącznik napięcia.

5. Program „Komora v.1.3”

Obsługę stanowiska kalibracyjnego wspomaga program „Komora v.1.3” napisany w formie interaktywnego arkusza kalkulacyjnego Excel z elementami języka Visual Basic. Program umożliwia obliczenia parametrów pracy dla obu komór (IFJ-KR-200 i IFJ-KR-600) z wykorzystaniem obu źródeł radonu. Algorytmy obliczeń poszczególnych wielkości przedstawiono, w rozdziale 6.



Rys. 5. Ekran „Dane”.

Wybór komory i źródła dokonywany jest na etapie wprowadzania danych (ekran „Dane” – Rys. 5). Po podaniu daty i czasu pomiaru oraz osoby wykonującej pomiar istnieje możliwość wyboru komory (przyciski: „komora KR-IFJ-200” lub „KR-IFJ-600”) oraz wyboru źródła radonu (przyciski „źródło 21,6 kBq” lub „źródło 52,3 kBq”). Wszystkie wprowadzane dane są wpisywane do tabeli informacyjnej (żółte pola). W tabeli można też wpisać dodatkową objętość urządzeń lub detektorów wkładanych do komory w celu uwzględnienia tej objętości w obliczeniach.

Na dole ekranu umieszczone są przyciski umożliwiające wybór obliczeń:

„Czas zbierania” – pozwala obliczyć czas zamknięcia źródła (tzw. czas zbierania radonu) konieczny do uzyskania zadanego stężenia radonu;

„Stężenie radonu” – obliczenie uzyskanego stężenia radonu dla zadanego czasu zamknięcia źródła;

„Węgle” – obliczanie stężenia końcowego w komorze w czasie ekspozycji detektorów węglowych z barierą dyfuzyjną (detektory 3- lub 4-dobowe);

„Ekspozycja” – umożliwia obliczanie ekspozycji [$\text{kBq}\cdot\text{h}/\text{m}^3$] przy zadanym stężeniu początkowym i czasie ekspozycji.

Ekranu poszczególnych opcji programu przedstawiono na rysunkach 6 – 9. W ramach każdej opcji istnieje możliwość zmiany komory oraz wybór innego źródła radonu.

OBLICZANIE CZASU ZBIERANIA Rn W ŹRÓDLE

Podaj żądane stężenie radonu

10 000 [Bq/m³]

CZAS ZBIERANIA

h m s
16 22 22

DANE

982,37	minut
58 942	sekund
0,67	dni

Ustal Daty

Raport Czas Zbierania

komora mała akt. źródła 21,6 kBq

komora duża akt. źródła 52,3 kBq

Komora duża Źródło 52,3 kBq

Rys. 6. Ekran „Czas zbierania”.

OBLICZANIE STĘŻENIA Rn W KOMORZE

Podaj czas zbierania Rn w źródle

60 [minut]

STĘŻENIE RADONU

[Bq/m³] błąd [%]

647 ± 34 5

MAX: 681
MIN: 613

DANE

Raport Stężenie

PRZELICZ CZAS

h	min	=	MIN
16	0	=	960
min	GODZ	MIN	
60	=	1	0

komora mała akt. źródła 21,6 kBq

komora duża akt. źródła 52,3 kBq

Komora: duża Źródło : 52,3 kBq

Rys. 7. Ekran „Stężenie radonu”

OBLICZANIE STĘŻENIA KOŃCOWEGO Rn W KOMORZE DLA WĘGLI

Podaj stężenie Rn

5000 [Bq/m³]

Wybierz typ ekspozycji

ekspozycja 3-dobowa ekspozycja 4-dobowa

stężenie końcowe radonu dla węgla

[Bq/m³]

2021 ekspozycja 4-dobowa

DANE

Raport Węgle

komora mała akt. źródła 21,6 kBq

komora duża akt. źródła 52,3 kBq

Komora duża Źródło 52,3 kBq

Rys. 8. Ekran „Węgle”.

OBLICZANIE EKSPOZYCJI			
Podaj początkowe stężenie radonu			
10 000	[Bq/m ³]		
Podaj końcowe stężenie radonu			
50	[Bq/m ³]	komora mała	akt. źródła 21,6 kBq
		komora duża	akt. źródła 52,3 kBq
Czas ekspozycji			
800	[min]	Komora duża	Źródło 52,3 kBq
ekspozycja			
	[kBq·h/m ³]	Obliczony czas ekspozycji 42117 [min]	
	126,84		
DANE		Raport Ekspozycja	


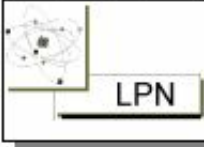
Rys. 9. Ekran „Ekspozycja”.

Program posiada dodatkowo możliwość obliczeń dotyczących czasu – arkusz „Czasy”. Istnieje możliwość ustalenia dnia i godziny początku lub końca zamknięcia źródła radonu na podstawie zadanego „czasu zbierania”. Program podaje datę, dzień tygodnia, godzinę i minutę końca lub początku operacji ze źródłem radonu. Stanowi to duże udogodnienie przy planowaniu pomiarów z wykorzystaniem komór radonowych. Ta opcja programu umożliwia też wygodną konwersję jednostek czasu np. dni na minuty, godziny na sekundy, itp. Fragment arkusza „Czasy” przedstawiono na Rys. 10.

OBLICZENIA DAT I CZASÓW				
PROCEDURA 1				
<i>Zadany początek zbierania Rn w źródle - kiedy koniec?</i>				
Podaj date i czas początku zbierania Rn w źródle				
	1	październik	2002	
	12	48		
		+	godziny	minuty
Data początku zbierania radonu	01-10-2002 12:48	plus	21	30
	Wtorek			
Koniec zbierania Rn	02-10-2002 10:18		<< Wróć Czas zbierania	
	Środa			

Rys. 10. Fragment arkusza „Czasy”.

Przeprowadzone obliczenia zapisywane są w tworzonym automatycznie „Arkuszu pomiarowym” wraz z danymi dotyczącymi odpowiedniej procedury. Przykładowy arkusz z raportem dotyczącym obliczania stężenia radonu w komorze przedstawiono na Rys. 11.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
1													
2													
3			Instytut Fizyki Jądrowej										
4			im. Henryka Niewodniczańskiego										
5			31-342 Kraków, ul. Radzikowskiego 152										
6			Zakład Fizyki Środowiska i Transportu								Tel.: (+12) 66 28 332		
7											Fax: (+12) 66 28 458		
8			Laboratorium Promieniotwórczości Naturalnej								e-mail: radon@ifj.edu.pl		
9											http://www.ifj.edu.pl/Dept61pn		
10	Arkusz pomiarowy												
11	Kalibracyjne komory radonowe												
12													
13													
14	Data pomiaru		01-10-02 11:00										
15	Imię i nazwisko		-----										
16	Rodzaj eksponowanych detektorów		plastiki										
17	Liczba eksponowanych detektorów		3										
18	Oznaczenie eksponowanych detektorów		p1 p2 p3										
19	Objętość dodatkowa		0									[m³]	
20													
21	Komora: IFJ-KR-600		V= 0,608	± 0,003	[m³]								
22	Źródło: PYLON-52		A= 52,3	± 2,092	[kBq]								
23													
24	STĘŻENIE Rn W KOMORZE												
25	Czas zbierania Rn w źródle											60	[minut]
26	Obliczone stężenie Rn w komorze		647	±	34	[Bq/m³]							
27	Minimum - Maksimum		613	--	681	[Bq/m³]							
28													
29													
30													
31													
32													
33	UWAGI:												
34	-----												
35	-----												
36	-----												
37	-----												

Rys. 11. Ekran „Raport”.

6. Algorytmy obliczeń

Korzystając ze znanych praw rozpadu, stężenie C radonu (^{222}Rn) w komorze radonowej oblicza się wg wzoru (1):

$$C = \frac{A_i \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t_z})}{V_i} \left[\frac{\text{kBq}}{\text{m}^3} \right] \quad (1)$$

gdzie: C – stężenie radonu ^{222}Rn w komorze radonowej [kBq/m^3]

A_i – aktywność źródła [kBq/m^3] ($i=1,2$)

$A_1 = 21,6$ [kBq]

$A_2 = 52,3$ [kBq]

λ - stała rozpadu ^{222}Rn ; $\lambda = 0,007548$ [h^{-1}]

t_z – całkowity czas zbierania radonu [h^{-1}]

(czas zbierania w źródle + czas przepompowania radonu ze źródła do komory)

V_i – całkowita objętość układu pomiarowego [dm^3]

(objętość komory + objętość przewodów połączeniowych)

$V_{200} = (211 + 4,12) \text{ dm}^3$ - komora IFJ-KR-200

$V_{600} = (608 + 3,98) \text{ dm}^3$ - komora IFJ-KR-600

Czas zamknięcia źródła radonu (tzw. czas zbierania radonu) potrzebny do uzyskania żądanego stężenia radonu w komorze oblicza się wg wzoru (2):

$$t_z = \frac{\ln\left(1 - \frac{c \cdot V_i}{A_i}\right)}{-\lambda} \quad [h] \quad (2)$$

Ekspozycję E jakiej zostają poddane przyrządy umieszczone w komorze radonowej w czasie t_e , oblicza się korzystając z zależności:

$$E = c \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t_e}) \quad \left[\frac{\text{kBq} \cdot \text{h}}{\text{m}^3} \right] \quad (3)$$

gdzie: λ - stała rozpadu ^{222}Rn ; $\lambda = 0,007548$ [h^{-1}]

t_e – czas ekspozycji

Żądaną wartość ekspozycji E w komorze radonowej, uzyskuje się poprzez dobranie odpowiedniego całkowitego czasu zbierania radonu t_z - wzór (2) oraz czasu ekspozycji t_e - wzór (4).

$$t_e = \frac{\ln\left(1 - \frac{\lambda \cdot E}{c}\right)}{-\lambda} \quad [h] \quad (4)$$

Stężenie końcowe radonu w komorze po czasie ekspozycji t_e oblicza się wg wzoru (5):

$$C_k = C_p \cdot e^{-\lambda \cdot t_e} \left[\frac{kBq}{m^3} \right] \quad (5)$$

gdzie:

C_k – stężenie końcowe radonu w komorze

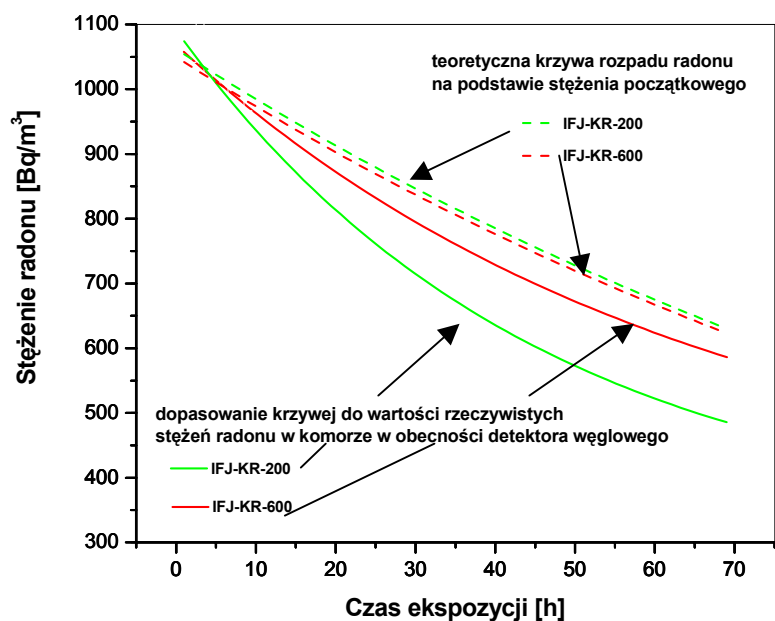
C_p - stężenie początkowe radonu w komorze

W przypadku umieszczenia w komorze przyrządów o znanej objętości należy to uwzględnić w obliczeniu całkowitej objętości układu pomiarowego.

7. Zastosowanie komór kalibracyjnych

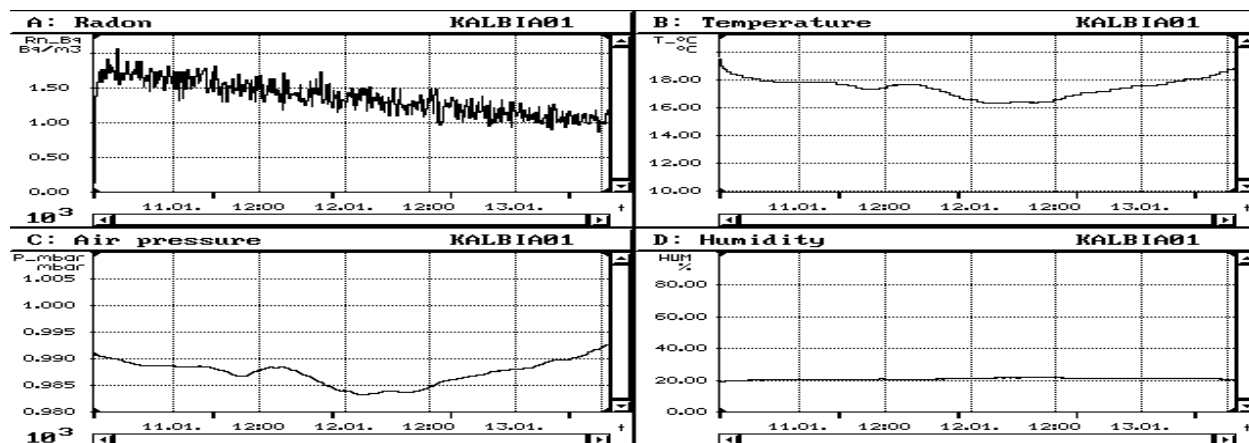
Opisane powyżej radonowe komory kalibracyjne są wykorzystywane w Laboratorium Promieniotwórczości Naturalnej do prac badawczych m.in. związanych z opracowywaniem metod pomiaru stężenia radonu za pomocą detektorów pasywnych. Ponadto stanowisko służy do wykonywania kalibracji detektorów radonowych różnych typów dostarczanych przez instytucje zajmujące się pomiarami radonu w Polsce, m.in. Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Akademia Medyczna w Białymstoku, Biuro Obsługi Roszczeń Państwowej Agencji Atomistyki, Oddział w Jeleniej Górze.

Ważna część prac badawczych LPN dotyczy pomiarów radonu z wykorzystaniem pasywnych detektorów, opartych na zasadzie adsorpcji radonu przez węgiel aktywny [5, 6]. Stosowane są dwa podstawowe typy detektorów węglowych: z barierą dyfuzyjną (do pomiaru stężeń radonu w domach) oraz tzw. „open-face” (do pomiarów ekshalacji radonu z gleby). Wykorzystując opisane powyżej stanowisko przeprowadzono kalibracje tych detektorów. Kalibracja detektorów pasywnych z reguły trwa kilka dni, co powoduje spadek początkowego stężenia – następuje rozpad radonu oraz jego adsorpcja w detektorach. Zmiany stężeń radonu w komorach w trakcie kalibracji detektorów węglowych przedstawiono na Rys. 12.

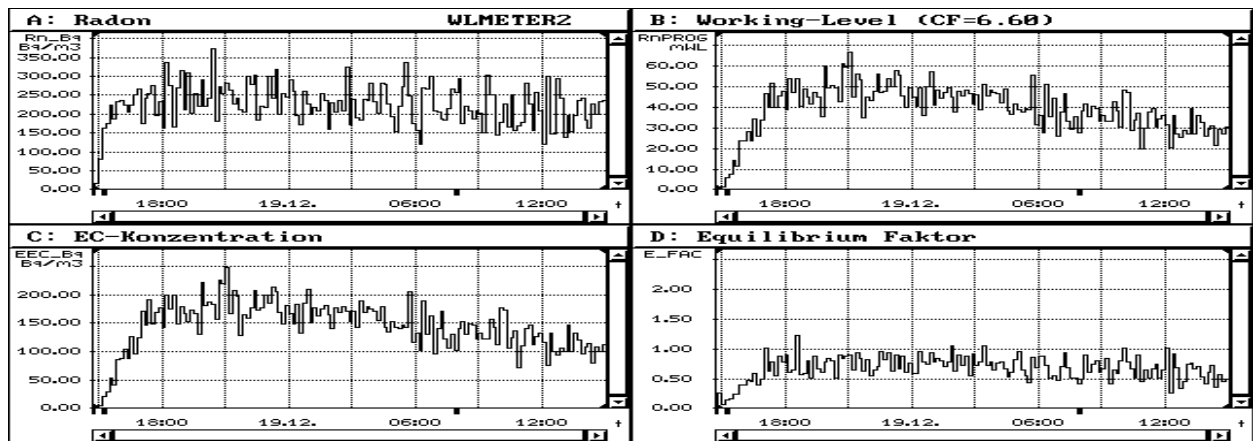


Rys. 12. Zmiany stężenia radonu w komorach kalibracyjnych w czasie kalibracji detektorów węglowych [5].

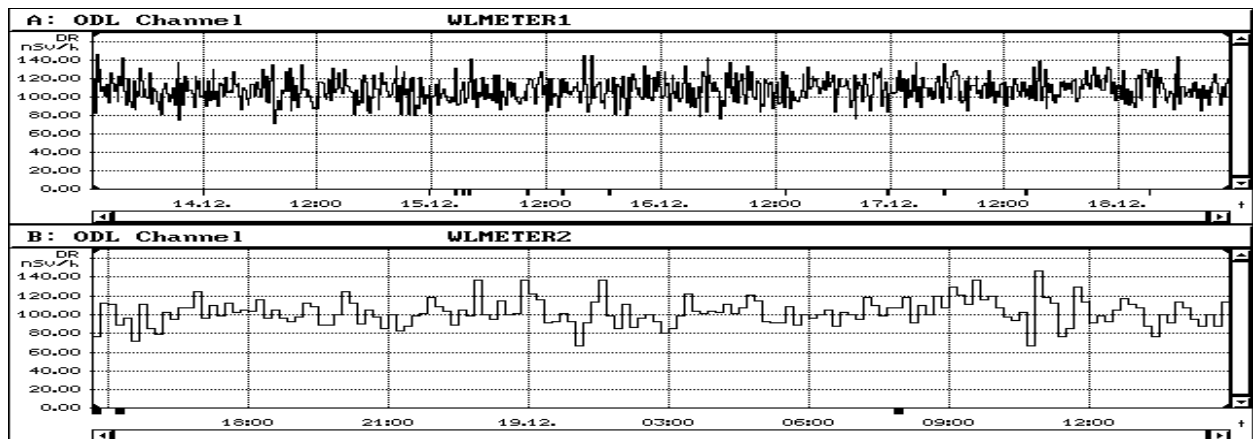
Na poniższych rysunkach (Rys. 13 – Rys. 15) przedstawiono przykładowe zmiany kilku parametrów w czasie pomiarów prowadzonych na stanowisku kalibracyjnym.



Rys. 13. Zmiany parametrów klimatycznych Zmiany stężenia radonu (A), temperatury (B), ciśnienia (C) i wilgotności (D).



Rys. 14. Zmiany stężenia radonu (A), wartości Workin Level (B), ekwiwalentnego stężenia radonu (C) i współczynnika równowagi (D)



Rys. 15. Zmiany równoważnika mocy dawki [nSv/h];
w czasie kilku godzin (A) i w czasie kilku dni (B)

LITERATURA

1. D.Mazur, M.Janik, J.Łoskiewicz, P.Olko, J.Swakoń, "Measurements of Radon Concentration in Soil Gas by CR-39 detectors", *Radiation Measurements* **31** (1999), 295-300.
2. A.C.George, "Passive Integrated Measurement of Indoor Radon Using Activated Carbon", *Health Physics*, **46** No.4 (1984), 867-872.
3. User Manual - Portable Radon Monitor "AlphaGUARD", Genitron Instruments 4/97.
4. Certificate of Calibration Radium-226, PYLON Electronic Development Co.Ltd., 2001.
5. J.Bogacz, J.Mazur, J.Swakoń, M.Janik, „The calibration of activated charcoal detectors in a small ²²²Rn exposure chamber”, *Radiation Measurements* **33** (2001), 873-878.

6. J.Bogacz, J.Mazur, J.Swakoń, M.Budzanowski, P.Olko „*MCP-N (LiF:Mg,Cu,P) TLDs for Radon Measurements with CharcoalCanisters*”, Radiation Protection. Dosimetry **101** (2002), 267-270.
7. J.Swakoń, K.Kozak, M.Paszkowski, J.Łoskiewicz, P.Olko, R.Gradziński, J.Mazur, M.Janik, J.Bogacz, R.Haber, T.Zdziarski „Pomiary radonu w powietrzu glebowym na terenie aglomeracji krakowskiej” Raport IFJ Nr 1895/B, Kraków, luty 2002.