



**LABORATORIUM
EKSPERTYZ
RADIOMETRYCZNYCH**
Radzikowskiego 152, 31-342 KRAKÓW



AB 788

tel.: 12 66 28 332 • mob.: 517 904 204 • fax: 12 66 28 458 • e-mail: radon@ifj.edu.pl • [http:// radon.ifj.edu.pl](http://radon.ifj.edu.pl)

RAPORT
Z POMIARÓW PORÓWNAWCZYCH
STĘŻENIA RADONU Rn-222
W PRÓBKACH GAZOWYCH METODĄ
DETEKTORÓW PASYWNYCH

Dominik Grządziel, Krzysztof Kozak, Jadwiga Mazur, Mariusz Mroczek

Kraków, styczeń 2015

1. WSTĘP.

Pomiary porównawcze stężenia radonu Rn-222 w próbkach gazowych metodą detektorów pasywnych zostały zorganizowane w Laboratorium Ekspertyz Radiometrycznych Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie w październiku 2014 r.

Przeprowadzono dwie ekspozycje detektorów: w niższym i wyższym stężeniu radonu, w komorze radonowej IFJ KR-600.

W trakcie ekspozycji stężenie radonu było na bieżąco monitorowane przy pomocy referencyjnego miernika AlphaGUARD PQ 2000PRO. Wartości średnich stężeń radonu zmierzone przy pomocy miernika w trakcie ekspozycji przyjęto jako wartości referencyjne stężenia radonu.

2. UCZESTNICZY.

Do udziału w pomiarach porównawczych zaproszono laboratoria badawcze z całej Polski. Zgłosiło się 6 instytucji badawczych, które przysłały swoje detektory do ekspozycji. Jednakże tylko 4 z nich dostarczyły wyniki stężenia radonu uzyskane za pomocą swoich metod pomiarowych. W Tabeli 1 przedstawiono te instytucje oraz typ używanych detektorów pasywnych.

TABELA 1. Instytucje badawcze biorące udział w porównaniu.

Instytucja	Typ detektora
Główny Instytut Górnictwa, Katowice	CR-39
Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków	PICO-RAD
Instytut Fizyki Jądrowej PAN, Kraków	CR-39
Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa	PICO-RAD

3. APARATURA.

Ekspozycje były przeprowadzone na stanowisku kalibracji detektorów radonu znajdującym się w Laboratorium Ekspertyz Radiometrycznych Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie.

Stanowisko składa się z komory kalibracyjnej IFJ-KR-600, dwóch źródeł radonowych firmy PYLON oraz tablicy sterującej pracą całego układu.



Rys.1. Stanowisko kalibracji detektorów radonu (LER IFJ PAN Kraków).

Komora IFJ-KR-600 posiada objętość 608 dm^3 (długość 2,2 m, średnica 0,6 m). Zbudowana jest z blachy stalowej o grubości 3 mm. Zasadniczą część komory stanowi stalowy walec zamykany szczelnie za pomocą pokrywy dokręcanej 6 śrubami. Komora wyposażona jest w 7 zaworów pozwalających na napełnianie jej radonem ze źródeł radonu, na wietrzenie komory przed i po ekspozycji oraz na podłączanie przyrządów pomiarowych 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.

Źródła radonowe PYLON posiadają świadectwo wzorcowania wystawione przez producenta. Ich parametry przedstawia Tabela 2.

TABELA 2. Parametry źródeł radonowych firmy PYLON.

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 stężenie radonu uzyskiwane w komorze wynosi:

- do 35 kBq/m³ dla źródła 21,6 kBq
- do 85 kBq/m³ dla źródła 52,3 kBq

Ciągły pomiar stężenia radonu w powietrzu komory podczas trwania ekspozycji był przeprowadzony akredytowaną metodą pomiarową (AB 788) wg procedury szczegółowej RG, wyd. 3 z dnia 08.09.2008 pt. „Wyznaczanie stężeń izotopów radonu ²²²Rn w próbkach gazowych metodą spektrometrii promieniowania alfa z wykorzystaniem komory jonizacyjnej”. Do pomiaru stężenia radonu użyto referencyjnego miernika AlphaGUARD PQ 2000PRO (numer seryjny: EF 1630, wzorcowany: listopad 2012 - CLOR). Jest to komora jonizacyjna o objętości V=0,62 dm³. Umożliwia pracę w szerokim zakresie parametrów meteorologicznych: temperatura od -10°C do +50°C, ciśnienie atmosferyczne: 700 ÷ 1100 mbar, wilgotność do 99% rH. Charakteryzuje się szerokim zakresem pomiarowym: od 2 do 2000000 Bq/m³. Pomiar stężenia radonu był przeprowadzony w trybie dyfuzyjnym, z 60-minutowym krokiem czasowym.

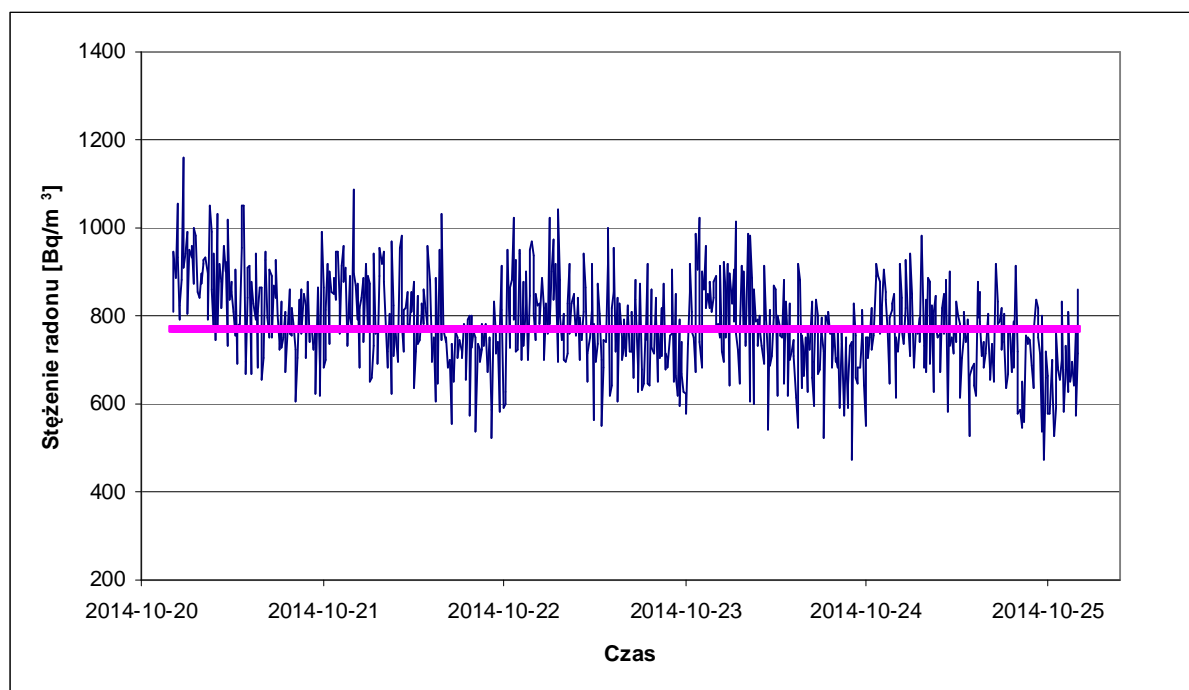
4. WARUNKI EKSPOZYCJI.

Tabela 3 przedstawia czas trwania obu ekspozycji radonowych, parametry klimatyczne oraz wartości referencyjnego stężenia radonu.

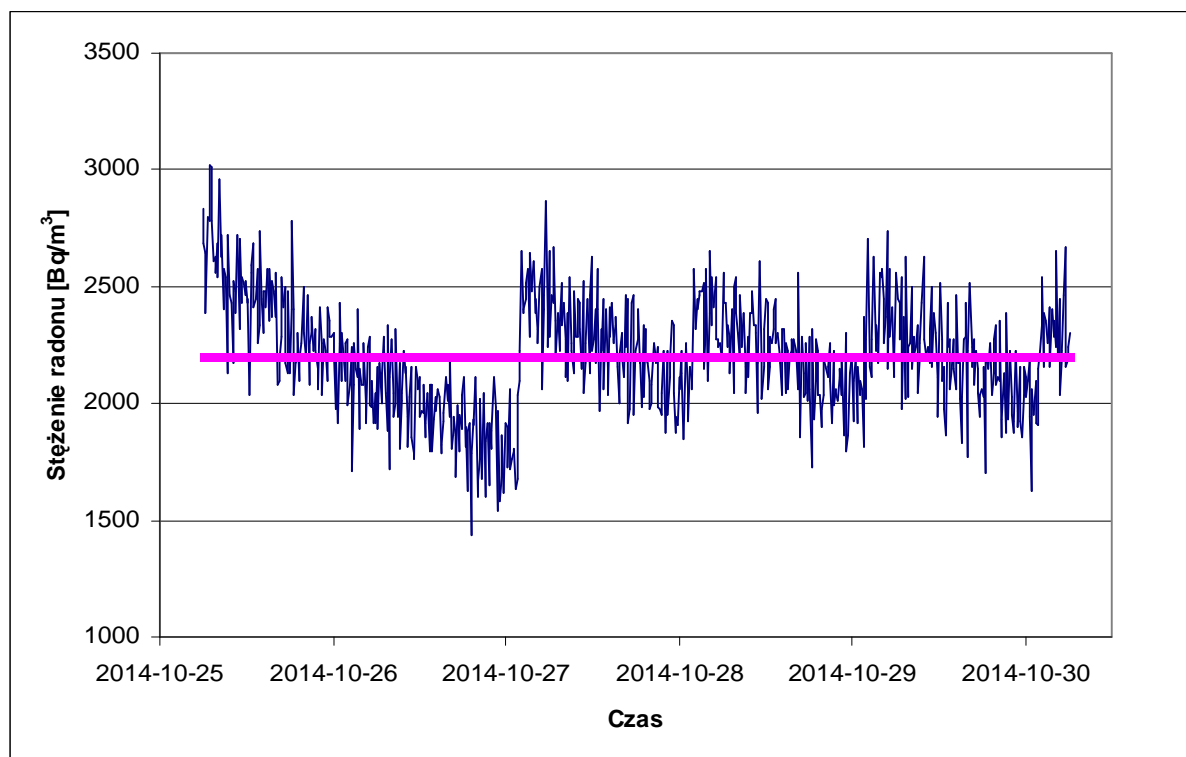
TABELA 3. Charakterystyka ekspozycji radonowych.

Numer ekspozycji	Ekspozycja I	Ekspozycja II
Początek ekspozycji	20.10.2014, godz. 12:50	25.10.2014, godz. 17:15
Koniec ekspozycji	25.10.2014, godz. 16:20	30.10.2014, godz. 17:15
Czas trwania ekspozycji [h]	123,5	120
Referencyjna wartość stężenia radonu [Bq/m ³]	$770^3 \pm 130$	$2\ 200 \pm 250$
Temperatura [°C]	22,3	22,0
Ciśnienie atmosferyczne [mbar]	932	960
Wilgotność względna [%]	49,8	36,0

Na Rys.2 i Rys.3 przedstawiono przebiegi stężenia radonu podczas trwania I i II ekspozycji, a także wartości średnie stężenia radonu (wg wskazań AlphaGUARD'a).



Rys.2. Przebieg stężenia radonu podczas I ekspozycji.



Rys.3. Przebieg stężenia radonu podczas II ekspozycji.



Rys.4. Wnętrze komory radonowej IFJ-600-KR z ekspozowanymi detektorami pasywnymi oraz z miernikiem AlphaGUARD PQ 2000PRO.

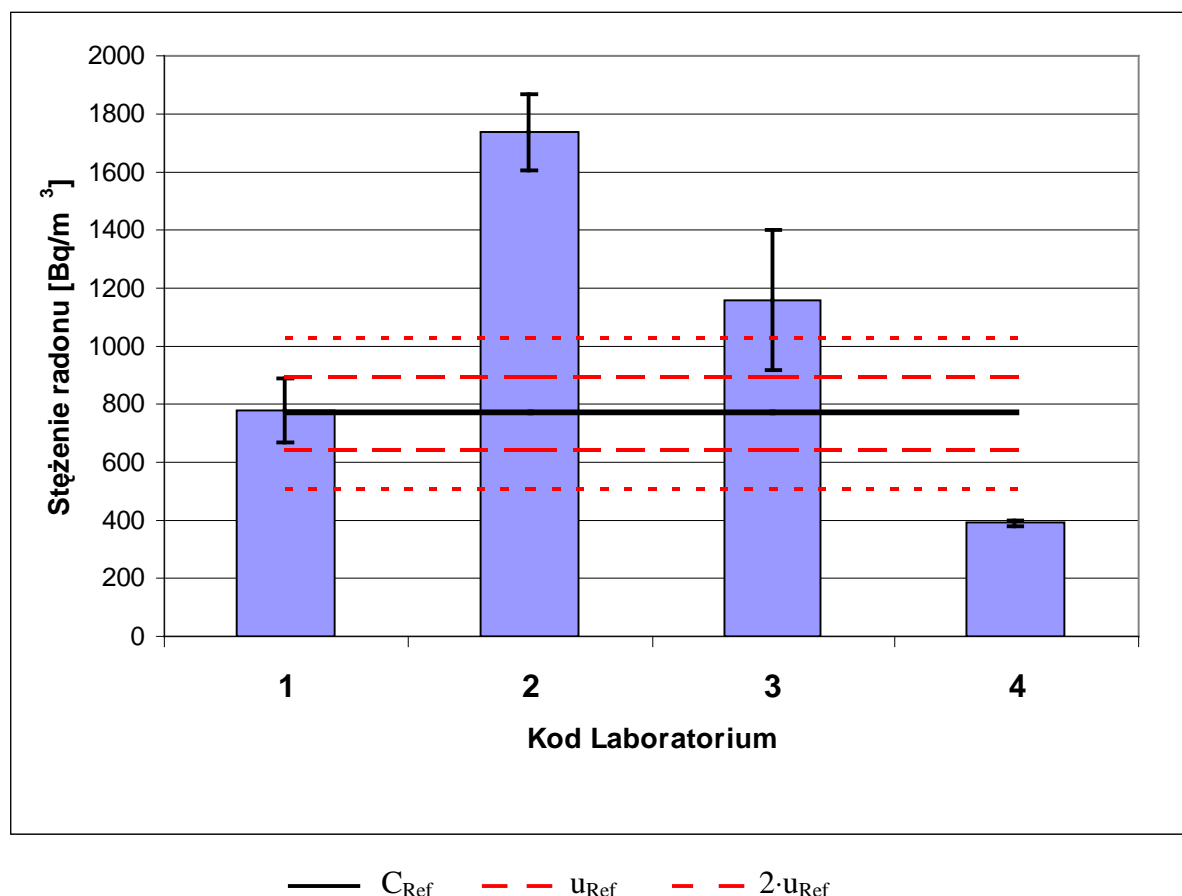
5. OCENA DOKŁADNOŚCI I PRECYZJI WYNIKÓW.

Wyniki stężenia radonu uzyskane przez laboratoria w I i II ekspozycji zebrano w Tabeli 4.

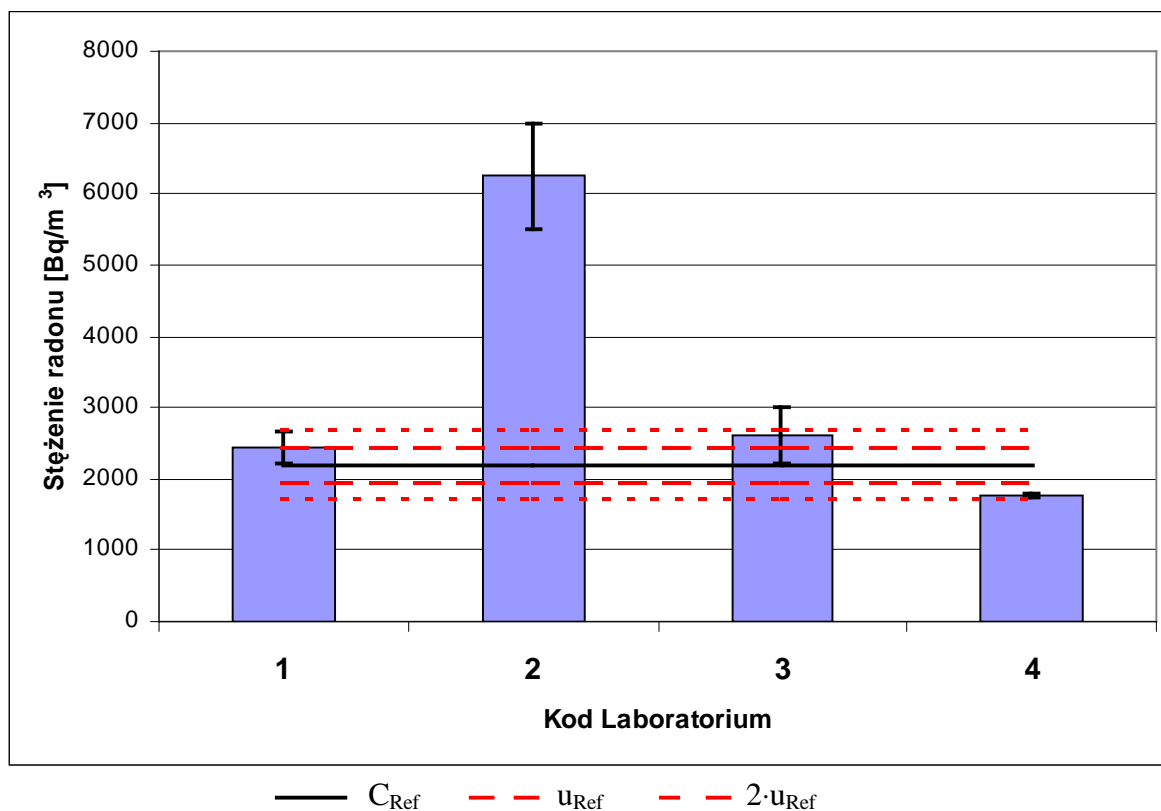
Tabela 4. Wyniki stężenia radonu uzyskane przez poszczególne laboratoria oraz wartości referencyjne dla dwóch ekspozycji detektorów pasywnych

Kod laboratorium	ESPOZYCJA I		EKSPOZYCJA II	
	Wartość referencyjna: 770 ± 130 [Bq/m ³]		Wartość referencyjna: $2\,200 \pm 250$ [Bq/m ³]	
	Stężenie radonu [Bq/m ³]	Niepewność [Bq/m ³]	Stężenie radonu [Bq/m ³]	Niepewność [Bq/m ³]
1	780	110	2440	230
2	1740	130	6250	750
3	1160	240	2610	400
4	390	13	1760	28

Na Rys. 5 i 6 przedstawiono graficznie wyniki stężenia radonu wraz z niepewnościami uzyskane przez poszczególne laboratoria. Na rysunkach zaznaczono także wartość referencyjną oraz niepewność (u_{Ref}) i niepewność rozszerzoną ($2 \cdot u_{Ref}$).



Rys.5. Wyniki stężenia radonu uczestników porównania dla I ekspozycji.



Rys.6. Wyniki stężenia radonu uczestników porównania dla II ekspozycji.

W celu oceny dokładności i precyzji uzyskanych wyników zastosowano następujące parametry:

RÓŻNICA PROCENTOWA PD,

to procentowe odchylenie wyniku od wartości referencyjnej:

$$PD = \frac{C_{Lab} - C_{Ref}}{C_{Ref}} \cdot 100\%$$

gdzie:

C_{Lab} - wartość stężenia radonu, nadesłana przez uczestnika

C_{Ref} - wartość referencyjna stężenia radonu

WSKAŹNIK z-score,

obliczano wg wzoru:

$$z - score = \frac{C_{Lab} - C_{Ref}}{u_{Lab}}$$

gdzie:

C_{Lab} - wartość stężenia radonu, nadesłana przez uczestnika

C_{Ref} - wartość referencyjna stężenia radonu

u_{Lab} - niepewność stężenia radonu, nadesłana przez uczestnika

WARTOŚĆ E_n – opisana w pracy R.Misiak: „Porównania międzylaboratoryjne w akredytowanych laboratoriach wzorcujących – wymagania Polskiego centrum Akredytacji; Materiały konferencji naukowo-technicznej PPM’05)

Wartość E_n dla laboratorium obliczana jest wg wzoru:

$$E_n = \frac{C_{Lab} - C_{Ref}}{\sqrt{u_{Lab}^2 + u_{Ref}^2}}$$

gdzie:

C_{Lab} , C_{Ref} , u_{Lab} – jak wyżej

u_{Ref} – niepewność referencyjnego stężenia radonu

Dla oceny biegłości laboratorium przyjęto następujące kryteria:

PD < 20% - wynik zadowalający	(+)
PD > 20% - wynik niezadowalający	(-)
$ z\text{-score} \leq 2$ – wynik zadowalający	(+)
$3 < z\text{-score} > 2$ – wynik wątpliwy	(+/-)
$ z\text{-score} \geq 3$ – wynik niezadowalający	(-)
$ E_n \leq 1$ – wynik zadowalający	(+)
$ E_n > 1$ – wynik niezadowalający	(-)

W Tabelach 5 i 6 przedstawiono ocenę wyników poszczególnych laboratoriów w oparciu o wyżej przedstawione kryteria.

TABELA 5. Ocena wyników porównania dla I ekspozycji.

Kod uczestnika	PD	Ocena wyniku	E_n	Ocena wyniku	z-score	Ocena wyniku
1	1,3%	+	0,06	+	0,09	+
2	126,0%	-	5,28	-	7,46	-
3	50,6%	-	1,43	-	1,63	+
4	-49,4%	-	-2,91	-	-29,23	-

TABELA 6. Ocena wyników porównania dla II ekspozycji.

Kod uczestnika	PD	Ocena wyniku	E_n	Ocena wyniku	z-score	Ocena wyniku
1	10,9%	+	0,71	+	1,04	+
2	184,1%	-	5,12	-	5,40	-
3	18,6%	+	0,87	+	1,03	+
4	-20,0%	+	-1,75	-	-15,71	-

7. WNIOSKI:

Spośród czterech laboratoriów tylko jedno laboratorium (nr 1) osiągnęło zadowalające rezultaty dla wszystkich zastosowanych parametrów: PD, E_n i z-score w przypadku obydwóch ekspozycji.

Kluczowym parametrem sprawdzającym biegłość w pomiarach porównawczych jest parametr z-score. Tylko dwa laboratoria (nr 1 i nr 3) uzyskały zadowalające wyniki dla obydwu ekspozycji.

Pozostałe laboratoria, a zwłaszcza nr 2, wykazały już znaczące rozbieżności wyników w stosunku do wartości referencyjnej stężenia radonu.