

**Marian Krawczyk\***

## **OZNACZANIE STĘŻENIA RADONU W POWIETRZU – PORÓWNANIE DETEKTORÓW „PICO-RAD” I ELEKTRETOWYCH KOMÓR JONIZACYJNYCH**

Wykonano porównawcze pomiary stężenia radonu w powietrzu za pomocą dwóch rodzajów detektorów: z węgla aktywnego typu Pico-Rad i elektretowych komór jonizacyjnych typu E-PERM System. W komorach elektretowych typu „S” były stosowane elektrety do krótkookresowych ekspozycji (niebieskie). Oznaczano stężenie radonu w powietrzu w laboratorium i w mieszkaniu oraz w zamkniętej komorze radonowej. Występuje zgodność wyników pomiarów otrzymanych obu metodami w przedziale stężeń radonu od poziomu tła atmosferycznego do kilkuset Bq/m<sup>3</sup>. Detektory z węgla aktywnego typu Pico-Rad mogą być stosowane z dobrymi rezultatami w zakresie do kilku tysięcy Bq/m<sup>3</sup>. Elektrety o dużej czułości (do krótkookresowych ekspozycji) przy dużych stężeniach radonu ulegają zbyt szybkiemu rozładowaniu. Oba rodzaje detektorów radonu mogą być wykorzystane do oceny emisji radonu z próbek materiałów budowlanych pochodzenia mineralnego.

### **1. Wstęp**

Jednym z zadań realizowanych w ramach pracy dotyczącej metod badań promieniotwórczości jonizującego w środowisku mieszkalnym (praca badawcza ITB NW-48/01) było przeprowadzenie badań porównawczych dwóch metod pomiarów stężenia radonu Rn-222 w powietrzu pomieszczeń w budynkach mieszkalnych. W metodach tych, nazywanych skrótowo „Pico-Rad” i „elektretową”, wykorzystuje się:

- detektory z węgla aktywnego typu Pico-Rad wraz z systemem analizatora radonu Tricarb 1900 TR i z licznikiem scyntylacyjnym na ciekły scyntylator firmy Packard, stosowane przez wiele ośrodków w Polsce [1],
- elektretowe komory jonizacyjne z elektretami do krótkookresowych ekspozycji, z czytelnikiem potencjału typu SPER-2, stanowiące system pomiarowy E-PERM System, firmy Rad Elec Inc., uznawane za mierniki stężenia radonu o dużej dokładności i dobrej powtarzalności wyników [2].

Obie metody pomiarowe są zalecane w Instrukcji ITB nr 352/98 „Metody i warunki wykonywania pomiarów stężenia radonu w powietrzu w pomieszczeniach budynków przeznaczonych na stały pobyt ludzi” [3].

---

\* Fizyk, st. specjalista w ITB

## 2. Metodyka badań

Pomiary stężenia radonu w powietrzu wykonywano w pomieszczeniu laboratorium, w pomieszczeniach mieszkalnych oraz w małej komorze emanacyjnej o pojemności 48 l. W komorze umieszczane były emiterzy radonu w postaci próbek rozdrobnionych materiałów budowlanych oraz preparat zawierający sole radu.

Komorza emanacyjna składała się ze zbiornika metalowego o średnicy zewnętrznej 38 cm i wysokości 48 cm, szczelnie zamykanego metalową pokrywą ze śluzą umożliwiającą akumulację radonu w komorze do umownego poziomu równowagi, a także wkładanie i wyjmowanie od 1 do 3 detektorów radonu typu Pico-Rad bez konieczności otwierania komory. Detektory elektretowe umieszczano w komorze wraz z próbkami (źródłami radonu) przed jej zamknięciem i rozpoczęciem ekspozycji.

Próbki materiałów (źródła objętościowe) umieszczano na dnie zbiornika, w standardowym naczyniu typu Marinelli, o pojemności równej  $1,6 \text{ dm}^3$ .

Ekspozycje i pomiary były wykonywane w cyklach tygodniowych, obejmujących jednocześnie jedną ekspozycję komór elektretowych i dwie ekspozycje detektorów Pico-Rad. Do komory emanacyjnej wkładano źródło radonu (próbki materiału) i dwie komory elektretowe z odczytanymi potencjałami początkowymi. Po zamknięciu komory były wprowadzane przez śluzę detektory Pico-Rad.

Po 96 h wyjmowano detektory Pico-Rad i wkładano nowe, na dwie doby. Detektory naeksponowane poddawano normalnej procedurze analizy laboratoryjnej. Po upływie 6 dni od zamknięcia otwierano komorę emanacyjną i wyjmowano komory elektretowe oraz detektory z węgla aktywnego.

Do obliczania wyników pomiarów stosowano program „Pico-Rad Radon Analysis” firmy Niton Corporation w wersji 6.03. Odczyty potencjałów elektretów wykonywano za pomocą czytnika potencjału typu SPER-2. Wartość stężenia radonu obliczano jako stężenie średnie po 6 dniach akumulacji, przyjmując standardową poprawkę na tło gamma równe  $10 \mu\text{R/h}$ .

Pomiary stężenia radonu w powietrzu laboratorium i w pomieszczeniach budynków mieszkalnych wykonywano w podobny sposób, ale obie ekspozycje detektorów Pico-Rad trwały po dwie doby, na początku cyklu i na jego końcu.

Wykonano łącznie dwanaście cykli badań. Dwa cykle dotyczyły stężenia radonu w powietrzu laboratorium, dwa wykonano w budynku mieszkalnym, kolejne dwa cykle w komorze emanacyjnej z niekalibrowanym źródłem radonu oraz sześć cykli ze źródłami objętościowymi w postaci próbek materiałów budowlanych i mineralnych surowców odpadowych. Stężenia naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w badanych próbkach zestawiono w tablicy 1.

Badane materiały cechowały się zróżnicowaną zawartością pierwiastków promieniotwórczych. Istotne znaczenie ma tutaj stężenie radu lub raczej aktywność radu w całej próbce. Znaczny wpływ ma również stężenie toru – ze względu na ekshalację toronu z próbki i jego akumulację wewnątrz komory emanacyjnej. Duża zawartość potasu K-40 powoduje z kolei podwyższenie tła gamma w przestrzeni komory emanacyjnej i tym samym zwiększenie wpływu tła na błąd pomiaru stężenia radonu i na szybszy spadek

potencjału elektretu, niżby to wynikało z oddziaływania samego radonu. Szczególnym źródłem pod tym względem była próbka kruszywa granitowego pochodzącego z Karelii. Charakteryzowała się ona znacznymi aktywnościami wszystkich trzech naturalnych radionuklidów, a jej objętość i masa odpowiadały trzem próbkom standardowym.

Tablica 1. Charakterystyka promieniotwórczości naturalnej próbek materiałów budowlanych i surowców odpadowych zastosowanych do badań emisji radonu

Table 1. Natural radioactivity of building materials and mineral by-products, used in the radon emission measurements

Rodzaj materiału i masa próbki, kg		Stężenie pierwiastków promieniotwórczych, Bq/kg		
		K-40	Ra-226	Th-228
Popiół lotny	1,80	783,6 ±50,0	136,2 ±8,7	99,8 ±3,1
Płytki ceramiczne	2,20	758,5 ±36,0	93,2 ±5,8	56,9 ±2,1
Żużel paleniskowy A	1,20	365,9 ±44,2	152,6 ±8,3	86,0 ±2,9
Żużel paleniskowy B	1,95	294,0 ±33,5	210,0 ±13,9	103,1 ±6,6
Żużel hutniczy	2,40	159,7 ±20,5	116,1 ±8,0	33,9 ±2,7
Kruszywo granitowe	8,25	1673,7 ±94,4	124,1 ±9,9	164,2 ±9,3

### 3. Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów dotyczą stężenia radonu w powietrzu laboratorium i w budynku mieszkalnym oraz stężenia radonu w zamkniętej komorze emanacyjnej, emitowanego przez umieszczone w komorze źródło radonu w postaci preparatu radowego (farby świecącej) lub próbki materiału mineralnego o określonym stężeniu radu Ra-226. Końcowe wyniki badań – po dokonaniu niezbędnych obliczeń i analiz – przedstawiono w zestawieniach (tabl. 2–4).

W tablicy 2 są zawarte wyniki pomiarów stężenia radonu w powietrzu w pomieszczeniach laboratorium i w mieszkaniu. Pomiary metodą Pico-Rad wykonywano w każdym przypadku dwukrotnie – każda ekspozycja wynosiła 48 h (dwie doby) i obejmowała 3 detektory; w tablicy podano wartości średnie. Metodą elektretową pomiary były wykonywane jednokrotnie, za pomocą dwóch komór. Łączna ekspozycja komór elektretowych wynosiła 144 h; w tablicy podano wartości określone za pomocą każdej komory oddzielnie.

W tablicy 3 zamieszczono wyniki pomiarów stężenia radonu w komorze emanacyjnej, stosując jako źródło radonu preparat radowy o niewielkiej aktywności. W tym przypadku eksponowano w komorze dwie komory elektretowe w czasie 96 h i dwukrotnie po 3 detektory Pico-Rad w czasie 48 h. Wymianę detektorów Pico-Rad po zakończeniu ekspozycji pierwszej partii dokonywano wykorzystując służbę zapewniającą hermetyczność komory. Podane w tablicy 3 wartości stężenia radonu określone metodą Pico-Rad oznaczają wartości średnie obliczone z 3 detektorów.

Tablica 2. Wyniki pomiarów stężenia radonu w powietrzu w laboratorium i w budynku mieszkalnym za pomocą metod pomiarów Pico-Rad i elektretowej  
 Table 2. Indoor air radon concentration measured in the laboratory and in a house by means of the charcoal Pico-Rad detectors and the electret ion chambers

Cykl pomiarów	Czas ekspozycji h	Pico-Road stężenie radonu Bq/m <sup>3</sup>	Elektrety stężenie radonu Bq/m <sup>3</sup>
1	48	3,5	3,96 3,68
	48	4,3	
	144		
	144		
2	48	3,8	4,05 3,49
	48	3,1	
	144		
	144		
3	48	5,2	5,51 5,39
	48	5,0	
	144		
	144		
4	48	4,9	5,10 5,50
	48	5,6	
	144		
	144		

Tablica 3. Wyniki pomiarów stężenia radonu w komorze emanacyjnej, ze źródłem radu; pomiary metodami Pico-Rad i elektretową  
 Table 3. Radon concentration in the emanation chamber measured by means of the charcoal Pico-Rad detectors and the electret ion chambers – unidentified source of radon

Źródło radonu	Czas ekspozycji h	Pico-Road stężenie radonu Bq/m <sup>3</sup>	Elektrety stężenie radonu Bq/m <sup>3</sup>
Źródło N	48	896	912 966
	48	879	
	96		
	96		
Źródło N	48	920	976 998
	48	894	
	96		
	96		

W tablicy 4 zestawiono wyniki pomiarów emisji radonu z 6 próbek materiałów budowlanych i surowców odpadowych badanych w komorze emanacyjnej za pomocą detektorów Pico-Rad i elektretowych komór jonizacyjnych. Charakterystyka próbek jest zawarta w tablicy 1. Stężenie naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w badanych materiałach oznaczono stosowaną w kraju standardową metodą za pomocą trzykanałowego analizatora typu Mazar.

Tablica 4. Wyniki pomiarów stężenia radonu w komorze emanacyjnej z materiałami mineralnymi; pomiary metodami Pico-Rad i elektretową  
 Table 4. Radon concentration in the emanation chamber measured by the charcoal Pico-Rad detectors and electret ion chambers – building materials

Źródło radonu kg	Stężenie radu Bq/kg	Pico-Road stężenie radonu Bq/m <sup>3</sup>	Elektrety stężenie radonu Bq/m <sup>3</sup>
Popiół lotny, 1,8	136,2 ±8,7	19,4 20,7	21,32 24,08
Płytki ceramiczne szkliwione, 2,2	93,2 ±5,8	5,6 4,4	4,81 4,76
Żużel paleniskowy, 1,2	152,6 ±8,3	23,9 24,5	24,51 25,34
Żużel paleniskowy, 1,95	210,0 ±13,9	40,6 39,5	41,83 43,37
Żużel hutniczy, 2,4	116,1 ±8,0	33,0 33,6	31,44 36,29
Kruszywo granitowe, 8,25	124,1 ±9,9	1044,2 1062,8	1096,4 1086,3

#### 4. Analiza wyników badań

W tablicy 5 zestawiono średnie wartości wyników pomiarów stężenia radonu uzyskane za pomocą obu metod, w kolejności rosnącej, oraz różnice między kolejnymi parami wartości. Widoczna jest dobra zgodność wyników w zakresie małych stężeń radonu. Różnice przy stężeniach rzędu 1000 Bq/m<sup>3</sup> są większe w przypadku wartości bezwzględnej, lecz relatywnie niewielkie jako wartości względne.

Największe odchylenie, wynoszące 51,5 Bq/m<sup>3</sup>, stanowi około 6% w stosunku do wartości stężenia 839 Bq/m<sup>3</sup>. Odchylenia w zakresie małych stężeń radonu wynikają z błędów pomiarów wykonanych obu metodami, mimo że w przeważającej liczbie przypadków stężenia określone metodą elektretową mają nieco większe wartości. Ogólnie można więc stwierdzić, że wyniki pomiarów uzyskane obiema metodami są porównywalne w granicach błędów pomiaru. Relację między wartościami stężenia określonymi dwoma porównywanymi metodami pomiarów przedstawia wykres na rysunku 1. Wykres

ten ilustruje dobrą zgodność wyników pomiarów uzyskanych obu metodami w zakresie małych stężeń radonu w powietrzu, odpowiadających poziomowi stężenia radonu w zdecydowanej większości budynków mieszkalnych w Polsce. W przypadku pomiarów wykonanych w małej komorze emanacyjnej przy wykorzystaniu małego źródła radonu w postaci preparatu radowego obserwuje się wyższe stężenia radonu uzyskane metodą elektretową, w porównaniu z wartościami uzyskanymi za pomocą detektorów Pico-Rad. Należy sądzić, że jest to spowodowane tym, iż czas ekspozycji elektretów wynosił 96 h, był więc równy czasowi akumulacji radonu w komorze i dwukrotnie dłuższy niż czas ekspozycji detektorów Pico-Rad.

Tablica 5. Porównanie wartości stężenia radonu określonych za pomocą detektorów Pico-Rad i elektretowych komór jonizacyjnych  
 Table 5. Comparison of radon concentration measured by Pico-Rad detectors and electret ion chambers

Lp.	Stężenie radonu, Bq/m <sup>3</sup>		Różnica $S(e) - S(p)$ Bq/m <sup>3</sup>
	metoda Pico-Rad $S(p)$	metoda elektronowa $S(e)$	
1	3,9	3,82	-0,08
2	3,4	3,77	+0,37
3	5,1	5,45	+0,35
4	5,3	5,30	0,00
5	5,0	4,48	-0,02
6	20,5	22,70	+2,20
7	24,2	24,92	+0,72
8	33,3	33,89	+0,59
9	40,5	42,60	+2,10
10	887,5	939,00	+51,50
11	902,0	897,00	-5,00
12	1053,5	1091,30	+35,80

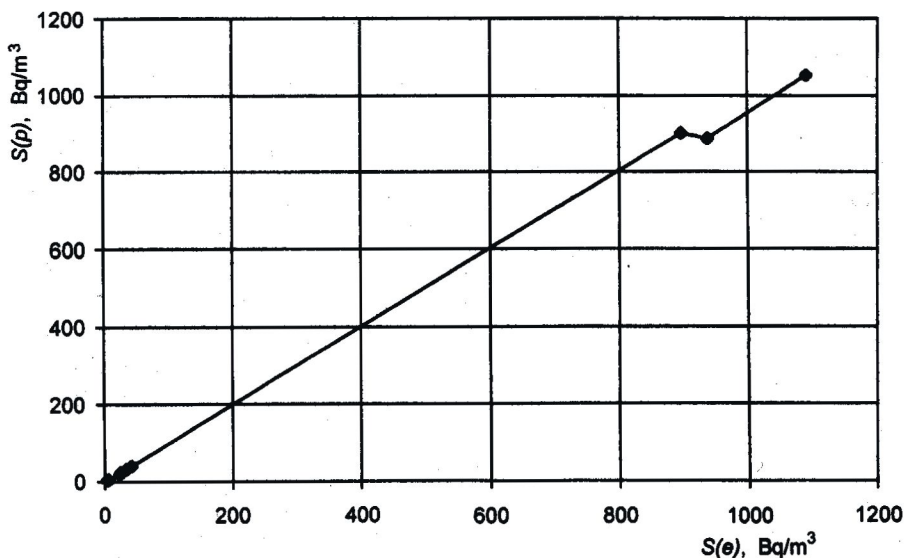
Błąd pomiaru stężenia radonu w przypadku metody Pico-Rad zależy od błędu pomiaru średniej liczby zliczeń impulsów na minutę. Pomiaru te były wykonywane z błędem na poziomie  $2\sigma$ , nie większym niż 10% przy małych stężeniach radonu, i nie przekraczającym 5% w przypadku stężeń większych od 200 Bq/m<sup>3</sup>.

Niepewność pomiarów metodą elektretową można ocenić, biorąc pod uwagę błąd odczytu potencjału elektretu za pomocą czytnika Sper-2, który wynosi  $\pm 1$  V. Zakładając przykładowo, że potencjał początkowy  $V(p)$  wynosi 637 V, końcowy zaś  $V(k)$  wynosi 620 V,

stężenie radonu  $S(\text{Rn})$  – odpowiednio do różnicy potencjałów wynoszącej 17 V – będzie równe  $40,48 \text{ Bq/m}^3$ . Uwzględniając błąd odczytu potencjału, prawdopodobne są następujące wartości stężenia radonu:

$40,48 \text{ Bq/m}^3$	$44,99 \text{ Bq/m}^3$	$31,52 \text{ Bq/m}^3$	przy $V(k) = 619 \text{ V}$ ,
$36,00 \text{ Bq/m}^3$	$40,48 \text{ Bq/m}^3$	$44,99 \text{ Bq/m}^3$	przy $V(k) = 620 \text{ V}$ ,
$31,52 \text{ Bq/m}^3$	$36,00 \text{ Bq/m}^3$	$40,48 \text{ Bq/m}^3$	przy $V(k) = 621 \text{ V}$

gdzie potencjał początkowy  $V(p)$  zmienia się od 636 V do 638 V. Wartość stężenia, określona przy potencjale początkowym  $V(p) = 637 \text{ V}$  i końcowym  $V(k) = 620 \text{ V}$ , występuje w tym zestawieniu trzy razy. Z doświadczenia zaś można przyjąć, że skrajne wartości błędu odczytu są mało prawdopodobne. Tak więc wartość stężenia  $S = 40,48 \text{ Bq/m}^3$  praktycznie znajduje się w przedziale od  $36,00 \text{ Bq/m}^3$  do  $44,99 \text{ Bq/m}^3$ .



Rys. 1. Porównanie stężenia radonu określonego metodą Pico-Rad –  $S(p)$  i elektretową  $S(e)$

Fig. 1. Comparison of radon concentration measured by Pico-Rad tectectors  $S(p)$  and by electret ion chambers  $S(e)$

## 5. Wnioski końcowe

Przeprowadzone badania porównawcze dwóch metod pomiarów stężenia radonu w powietrzu wskazują, że obie metody: Pico-Rad i elektretowa mogą być stosowane zamiennie, jeżeli pomiary dotyczą relatywnie małych stężeń radonu oraz jeżeli ekspozycje detektorów są wykonywane w czasie nie przekraczającym 96 h lub 1 tygodnia w przypadku elektretowych komór jonizacyjnych.

Detektory Pico-Rad można stosować zarówno przy pomiarach małych stężeń radonu, na poziomie stężeń w budynkach mieszkalnych, jak i w przypadkach dużych stężeń radonu rzędu kilkaset lub nawet kilku tysięcy Bq/m<sup>3</sup>.

Elektretowe komory jonizacyjne z elektretami do krótkich ekspozycji nie powinny być stosowane w przypadkach, gdy ewentualnie przewidywane stężenie radonu może przekraczać kilkaset jednostek. Przy wysokim poziomie stężenia radonu następuje zbyt szybkie rozładowanie elektretu.

Obie testowane metody pomiaru mogą być wykorzystane – w odpowiednio przystosowanej komorze radonowej – przy badaniach emisji radonu z materiałów budowlanych pochodzenia mineralnego.

## Bibliografia

- [1] Mamont-Cieśla K., Chałupnik S., Krawczyk M., Pachocki K., Zalewski M.: Intercomparison of radon measurement systems based on charcoal detectors and liquid scintillation counters used in Polish laboratories. Research Activities. Report CLOR, Warsaw 1997
- [2] George A.C., Tu K.W., Knutson E.O.: Third intercomparison of instruments and methods for measuring radon and radon progeny in indoor air. Indoor Air. An Integrated Approach. Wyd. L. Morawska, Queensland University of Technology, Brisbane, Australia, 1995
- [3] Instrukcja ITB nr 352/98 „Metody i warunki wykonywania pomiarów stężenia radonu w powietrzu w pomieszczeniach budynków przeznaczonych na stały pobyt ludzi”. ITB, Warszawa 1998

### DETERMINATION OF RADON CONCENTRATION IN AIR – COMPARISON OF THE „PICO-RAD” DETECTORS AND THE ELECTRET ION CHAMBERS

#### Summary

The comparison tests using the activated charcoal Pico-Rad detectors and electret ion chambers of the type E-Perm System for measuring radon concentration in indoor air have been made. The short term elektrets in chambers of the type Swere used. Radon concentration have been determined in air in the laboratory and in a buiding. Small emanation chamber for measurements of radon emanation from selected samples of building materials of mineral origin have been used. The results obtained for both methods are close in the region of small radon concentrations, from the background level to several hundreds of Bq/m<sup>3</sup>. The chacoal Pico-Rad detectors can be used with good results even at the radon level of several thousands of Bq/m<sup>3</sup>. Electrets for short term measurements are not recommended at high radon concentrations. Both types of detectors can be used for measurements and assessment of radon emanation from building materials.

*Praca wpłynęła do Redakcji 18 XII 2002*