

Marek DOHOJDA*

Instytut Techniki Budowlanej w Warszawie

OCENA INFILTRACJI RADONU Z PODŁOŻA BUDYNKU I JEGO EKSHALACJI Z OBUDOWY W POMIESZCZENIU ZAMKNIĘTYM

Streszczenie. W referacie przedstawiono koncepcję prognozowania średniego rocznego stężenia radonu w powietrzu pomieszczenia zamkniętego, przy znanych wartościach wydajności źródła radonu (infiltracja z podłoża) i współczynnika ekshalacji z materiałów zastosowanych w budynku.

ASSESSMENT OF RADON INFILTRATION FROM BUILDING GROUND AND ITS EXHALATION FROM BUILDING ENVELOPE

Summary. This paper deals with the concept of prognosis of the mean annual indoor radon concentration for given values of radon source output (infiltration from the ground) and exhalation coefficient from materials used in building.

1. Wstęp

Obowiązujące prawo budowlane wymaga zapewnienia mieszkańcom ochrony przed promieniowaniem jonizującym. Źródłami radonu w pomieszczeniach budynku są naturalne pierwiastki promieniotwórcze rad Ra-226 i Ra-224, pochodna toru Th-228, znajdujące się w wyrobach budowlanych pochodzenia mineralnego oraz występujące w podłożu, na którym budynek jest posadowiony, a także w mniejszym stopniu w wodzie wodociągowej i używanym gazie ziemnym.

W istniejących budynkach mieszkalnych oszacowania wartości średnich rocznych stężeń radonu w pomieszczeniach w powietrzu można dokonać na podstawie wyników pomiarów za pomocą znanych metod aktywnych i pasywnych [1]. Metody oceny wartości średnich rocznych stężeń radonu w takich budynkach omówiono w rozdziale 2.

* Opiekun naukowy: Prof. dr inż. Lesław Brunarski.

Oszacowanie stężenia radonu w powietrzu pomieszczeń projektowanego budynku jest zagadnieniem złożonym, wymaga bowiem rozpoznania wszystkich możliwych jego źródeł.

Pomijając mało wydajne źródła, takie jak woda wodociągowa i gaz ziemny, istotne w projektowanym budynku będą właściwości podłoża i rodzaje materiałów budowlanych, a także rozwiązania konstrukcyjne budynku. Prognozowanie ewentualnego zagrożenia radonem w projektowanym budynku powinno, więc być poprzedzone rozpoznaniem terenu budowy, przewidywanych do użycia materiałów budowlanych i możliwych do przewidzenia w danym przypadku dróg przenikania radonu z podłoża do wnętrza budynku.

W pracy opracowano teoretyczny model, opisujący procesy napływu radonu z różnych źródeł do pomieszczenia zamkniętego, oraz przeprowadzono badania zawartości naturalnych pierwiastków promieniotwórczych, w tym stężenie radu, w próbkach gruntu pobranych z przyszłego podłoża budynku oraz w przewidzianych w projekcie materiałach budowlanych. Oznaczono też współczynniki emisji radonu z próbek oraz współczynniki ekshalacji radonu z przypowierzchniowej warstwy gruntu oraz z elementów modelowych wykonanych z materiałów budowlanych. Wyniki badań pozwoliły na estymację parametrów modelu, a tym samym stworzyły możliwość prognozowania średniego rocznego stężenia radonu w pomieszczeniu zamkniętym.

Praca jest realizowana w ramach przewodu doktorskiego w Instytucie Techniki Budowlanej w Warszawie (promotor prof. dr inż. Lesław Brunarski)

2. Metody oceny wartości średniej rocznej stężenia radonu w istniejących budynkach

Wykonanie badań krótkookresowych jest zazwyczaj podstawą do określenia doraźnego poziomu stężenia radonu w powietrzu pomieszczeń. Ustalenie ewentualnego występującego zagrożenia wymaga jednak oszacowania wartości średniej rocznej stężenia radonu w pomieszczeniach budynku.

Zakładając, że wartość zmierzona $S(Rn)$ określa stężenie radonu w powietrzu pomieszczenia w okresie wykonywania ekspozycji detektorów, np. typu Pico-Rad, średnią roczną wartość stężenia $\bar{S}(Rn)$ można opisać jako iloczyn stężenia $S(Rn)$ i odpowiedniego współczynnika poprawkowego.

$$\bar{S}(Rn) = S(Rn) \cdot f(v, T, p, \varphi, \alpha) \quad (1)$$

gdzie:

$f(v, T, p, \varphi, \alpha)$ - współczynnik poprawkowy, który jest funkcją:

v - liczby wymian powietrza w pomieszczeniu w czasie wykonywania pomiaru,

T - temperatury,

p - ciśnienia powietrza,

φ - wilgotności powietrza,

a - pory roku lub okresu czasu o szczególnym znaczeniu ze względu na wynik pomiaru.

Przyjmując, że uzyskana z pomiarów wartość stężenia radonu odpowiada średniej wymianie powietrza w pomieszczeniu w okresie ekspozycji detektorów, w przypadku występowania ekstremalnych warunków wymiany należy określić współczynnik poprawkowy $f(v)$ do oceny średniej rocznej wartości stężenia radonu.

Poprawka ze względu na temperaturę powietrza $f(T)$ w czasie wykonywania pomiaru detektorami Pico-Rad jest uwzględniona w programie obliczeniowym wg niżej podanej zależności, przy czym temperatura odniesienia T_0 wynosi około 22°C

$$f(T = \exp[K_T(T - T_0)]), \quad (2)$$

gdzie:

K_T - jest stałym współczynnikiem, równym 0,036.

Określenie współczynników poprawkowych wpływu ciśnienia i wilgotności powietrza wymaga odpowiednich badań.

Współczynnik poprawkowy ze względu na porę roku, w której wykonywano ekspozycję detektorów radonu, lub też ze względu na szczególne warunki wykonywania pomiarów, charakterystyczne w określonej porze roku, można oszacować dzięki znajomości wpływu sezonowych zmian warunków atmosferycznych na okresowe zmiany stężenia radonu w powietrzu pomieszczeń mieszkalnych budynków. Sezonowe zmiany wartości stężenia radonu dają się wyrazić przez względne stężenie radonu $k(\alpha)$, tj. stosunek wartości rzeczywistego stężenia, np. określonego na podstawie pomiarów za pomocą detektorów Pico-Rad, do wartości średniej rocznej stężenia w danym pomieszczeniu, mianowicie:

$$k(\alpha) = \frac{S_{Rn}(\alpha)}{\bar{S}_{Rn}} \quad (3)$$

Współczynnik poprawkowy $f(\alpha)$ do oceny średniego rocznego stężenia jest odwrotnością względnego stężenia, odniesionego do średniej rocznej wartości:

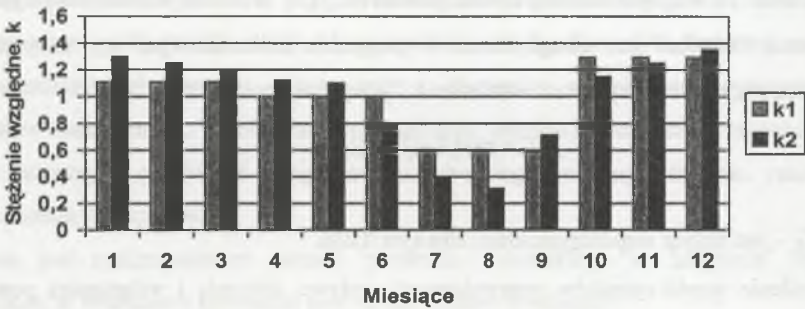
$$f(\alpha) = \frac{1}{k(\alpha)} \quad (4)$$

Określenie średniego rocznego stężenia radonu na podstawie bezpośrednich badań wymaga prowadzenia pomiarów długookresowych.

W Polsce pomiary długookresowe były prowadzone przez CLOR w latach 1984-1985. Dotyczyły one około 500 mieszkań w różnych rejonach kraju, w budynkach wykonanych wg różnych technologii. Wyniki tych badań zawiera raport CLOR [2].

W okresie od października 1982 r. do kwietnia 1983 r. w USA były prowadzone analogiczne badania w 20 wytypowanych domach mieszkalnych. Wyniki tych badań przedstawiono w publikacji ASTM [3].

Względne wartości średnie stężenia radonu w kolejnych miesiącach roku, określone na podstawie danych zawartych w cytowanych źródłach [2] i [3] pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Względne wartości średnie stężenia radonu w kolejnych miesiącach roku; oznaczenia: k1 wg [2] i k2 wg [3]

Fig. 1. Relative mean radon concentration in consecutive months of year; notations: k1 according to [2] and k2 according to [3]

Analizując wyniki wyżej wspomnianych badań, po oszacowaniu średnich kwartalnych oraz wartości względnych w stosunku do średnich rocznych, można zauważyć duże podobieństwo tych wartości otrzymanych w obu ośrodkach. Określone, według źródeł [2] i [3], względne średnie stężenia w poszczególnych porach roku, a także obliczone wartości średnie $k(\alpha)$ i odpowiadające im wartości współczynników poprawkowych $f(\alpha)$ zestawiono w tabelicy 1.

Tablica 1

Sezonowe zmiany średniego stężenia radonu i współczynniki poprawkowe do oceny średniego stężenia rocznego

Pora roku	Stężenie względne $k(\alpha)$ wg źródła		Wartość średnia $k(\alpha)$	Współczynnik poprawkowy $f(\alpha)$
	CLOR [2]	USA [3]		
wiosna	1,00	1,00	1,00	1,00
lato	0,59	0,48	0,54	1,85
jesień	1,29	1,26	1,28	0,78
zima	1,12	1,24	1,18	0,85

Analiza wymienionych w tabl. 1 przykładowych badań wskazuje, że praktycznie średnia wartość stężenia radonu w drugim kwartale roku (wiosna) jest w przybliżeniu taka sama jak średnia w całym roku. W miesiącach letnich (trzeci kwartał) średnie stężenie radonu jest w przybliżeniu o połowę mniejsze, jesienią i zimą zaś jest większe od średniego rocznego o około 20 do 30%.

3. Prognozowanie średniego rocznego stężenia radonu w budynkach projektowanych

3.1. Równanie podstawowe teoretycznego modelu pomieszczenia zamkniętego

Radon, pochodzący w ilości około 75% z podłoża budynku, infiltruje do pomieszczenia zamkniętego różnymi otworami i nieszczelnościami. Ekshalacja radonu z obudowy stanowi źródło pozostałej części radonu w powietrzu pomieszczenia.

W rozważaniach teoretycznych przyjęto uproszczony model wentylowanego pomieszczenia zamkniętego, w którym występuje jedno źródło punktowe infiltracji radonu z podłoża oraz źródło płaskie reprezentujące proces ekshalacji radonu z obudowy (ze ścian i stropów) pomieszczenia.

Proces narastania radonu w powietrzu w przyjętym modelu obrazuje równanie opisujące proces zmian $S(t)$ - stężenia radonu [$\text{Bq} \times \text{m}^{-3}$] w pomieszczeniu zamkniętym.

$$\frac{dS(t)}{dt} = \frac{1}{V} a - \lambda S(t) + \frac{1}{V} \mu F - kS(t), \quad (5)$$

gdzie:

a - wydajność źródła punktowego radonu [$\text{Bq} \times \text{h}^{-1}$],

μ - współczynnik ekshalacji radonu z obudowy modelu [$\text{Bq} \times \text{m}^{-2} \times \text{h}^{-1}$],

- k - liczba wymian powietrza w pomieszczeniu [h^{-1}],
 λ - stała rozpadu radonu Rn-222, [h^{-1}] ($7,56 \times 10^{-3} \times \text{h}^{-1}$),
 t - czas [h],
 F - powierzchnia wewnętrzna obudowy pomieszczenia [m^2],
 V - objętość pomieszczenia [m^3].

Przy założeniu że $t_0 = 0, S_0 = 0$ (przyjmując stężenie jako początkowe pomijalnie małe), wartość stężenia radonu określona jest wzorem

$$S(t) = \frac{a + \mu F}{V(\lambda + k)} \left[1 - e^{-(\lambda + k)t} \right] \quad (6)$$

3.2. Estymacja parametrów równania podstawowego

W celu uzyskania danych niezbędnych do przeprowadzenia oszacowania stężenia radonu w pomieszczeniu zamkniętym, wykonano badania gruntu i materiałów budowlanych.

W przypadku gruntu przeprowadzono pomiary ekshalacji radonu z warstwy przypowierzchniowej, bez naruszenia struktury gruntu, oraz w odkrywkach o różnej głębokości. Badano też stężenie radu (i innych radionuklidów) w pobranych próbkach gruntu w celu określenia korelacji między ilością zawartego w nim radu i współczynnikiem ekshalacji radonu, a następnie wydajności punktowych źródeł infiltracji radonu do pomieszczenia.

W badanych rozdrobionych próbkach materiałów budowlanych oznaczano stężenie radu oraz współczynniki emisji radonu. Określono też współczynniki ekshalacji radonu z modelowo ukształtowanych wyrobów budowlanych. Dane te pozwalają określić całkowitą ekshalację radonu z obudowy pomieszczenia.

Wyniki tych badań, zawarte w przygotowanej rozprawie doktorskiej [4], pozwalają oszacować podstawowe parametry rzeczywistych pomieszczeń, jakimi są:

- a - wydajność źródła punktowego radonu [$\text{Bq} \times \text{h}^{-1}$],
- μ - współczynnik ekshalacji radonu z obudowy modelu [$\text{Bq} \times \text{m}^{-2} \times \text{h}^{-1}$].

Przykładowe wyniki symulacji zjawiska narastania w czasie t stężenia radonu $S(t)$ w dowolnym pomieszczeniu o założonych wymiarach 3 m x 4 m x 2,5 m, przy uwzględnieniu realnych wydajności źródła punktowego od 120 do 600 $\text{Bq} \times \text{h}^{-1}$ imitującego infiltrację radonu z podłoża gruntowego, przy założonym przeciętnym współczynnikiem ekshalacji radonu z obudowy z wyrobów pochodzenia mineralnego (ceramika, beton) $\mu = 0,7 \text{Bq} \times \text{m}^{-2} \times \text{h}^{-1}$,

zarówno przy założonej efektywnej wymianie powietrza $k = 0,7 h^{-1}$ (liczby górne w wierszach), jak również przy braku wentylacji, czyli przy $k = 0$ (liczby dolne) i podano w tablicy 2.

Tablica 2

Zestawienie obliczonych wartości $S(t)$ [$Bq \times m^{-3}$]

Wydajność źródła radonu a [$Bq \times h^{-1}$]	Czas t [h]						
	6	24	48	72	120	480	∞
120	7,5	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
	31	118	216	298	424	692	711
600	29,8	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2
	125	469	861	1187	1686	2753	2828

Na podstawie danych z tabl. 2 można stwierdzić, że w pomieszczeniu mieszkalnym, zakładając infiltrację radonu z podłoża na poziomie wydajności źródła $a = 120$ i 600 [$Bq \times h^{-1}$], w przypadku braku wentylacji stężenie radonu ciągle narasta, by w miarę się ustabilizować dopiero po 480 godzinach. W przypadku zastosowania przeciętnej wentylacji $k = 0,7 h^{-1}$ stabilizacja poziomu stężenia radonu następuje już po 24 godzinach od początku rozpoczęcia doświadczenia.

Zakładając różne intensywności i okresy wentylacji, można przyjąć, że oczekiwana średnia wartość stężenia radonu w powietrzu w pomieszczeniu zamkniętym zmienia się w dość dużym zakresie pomiędzy wartościami bez wentylacji i z wentylacją. Prognozując zagrożenie w projektowanym budynku, należy jednak dopuszczać przypadek użytkowania pomieszczeń bez wentylacji.

3.3. Możliwość prognozowania rocznego średniego stężenia radonu

W nowo projektowanych budynkach wartość przyszłej ekshalacji ze ścian może być określona na podstawie dostępnych zgromadzonych danych (współczynników ekshalacji) dotyczących materiałów przewidzianych do stosowania w budynku.

Trudniejszym zagadnieniem jest oszacowanie infiltracji radonu z podłoża pod przyszłym budynkiem. Jednym z możliwych rozwiązań tego problemu jest, zastosowane w pracy, wykonanie odkrywki i badania wydajności źródła radonu z poziomu posadowienia przyszłego budynku. Pomiary takie można wykonać standardowymi metodami [1].

Mając określone współczynnik ekshalacji i wydajność źródła radonu (μ i a), można bezpośrednio z proponowanego wzoru (6) wyznaczyć wartość stężenia radonu w powietrzu przyszłego pomieszczenia mieszkalnego.

Proponowane postępowanie pozwoli w przyszłości wykrywać place budowy o podwyższonym zagrożeniu radonowym z podłoża i przewidzieć w projektowanym budynku rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne, ograniczające infiltrację radonu do obiektu [6].

LITERATURA

1. Instrukcja 352/98: Metody i warunki wykonywania pomiarów stężenia radonu w powietrzu w pomieszczeniach budynków przeznaczonych na stały pobyt ludzi. ITB, Warszawa 1998.
2. Raport CLOR nr 5/85/Z-II: Badania narażenia ludności kraju od radioaktywności materiałów budowlanych i ocena istniejącego ryzyka radiacyjnego. CLOR, Warszawa 1985.
3. Ronca-Battista M., Magno P.: Radon Measurement Protocols, ASTM, Radon: Prevalence, Measurements, Health Risks and Control, Philadelphia 1994, s. 67-82.
4. Dohojda M.: Wpływ zawartości naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w materiałach budowlanych i gruncie na poziom stężenia radonu w pomieszczeniach zamkniętych. Rozprawa doktorska, ITB, Warszawa 2003 (w przygotowaniu).
5. Dohojda M.: Promieniotwórczość naturalna ceramiki budowlanej, problemy badań i oceny. Materiały I Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej "Polska Ceramika", Spała 2000, Ceramika - Polski Biuletyn Ceramiczny Vol. 60, 2000, s. 303-308.
6. Brunarski L., Krawczyk M.: Metody zabezpieczeń mieszkańców przed zagrożeniem radonowym. Prace Naukowe GIG, seria: Konferencje, nr 12, 1996, s. 59-72).

Recenzent: Prof.dr inż. Jan Mikoś

Abstract

There are many techniques and methods for measuring the concentration of radon and its decay products in air, particularly inside the closed rooms in existing buildings. The results of a long or short term measurements can be used, somehow, for assessing the mean annual radon concentration. It is much more difficult to predict the level of the mean annual radon concentration in a room in the building before its construction. It has been proposed a concept of an approach for solving this problem, and proved the possibility of using it for tests at a building site.