

BADANIA I STUDIA – RESEARCH AND STUDIES

Marek Dohojda*

PROGNOZOWANIE STĘŻENIA AKTYWNOŚCI RADONU W POMIESZCZENIU ZAMKNIĘTYM

Jest faktem bezspornym, że duża szybkość infiltracji radonu do pomieszczeń mieszkalnych w budynkach stanowi ryzyko zagrożenia zdrowia mieszkańców. Są więc prowadzone pomiary w celu oszacowania rocznego średniego stężenia aktywności radonu w pomieszczeniach budynków. Możliwość oszacowania rocznego średniego stężenia aktywności radonu na podstawie badań krótkookresowych stanowi jeden z zasadniczych rezultatów pracy doktorskiej autora. Jest wiele technik i metod pomiarów stężenia radonu oraz produktów jego rozpadu w powietrzu, szczególnie w zamkniętych pomieszczeniach w istniejących budynkach mieszkalnych. Stosowane są metody pomiarów długo- i krótkookresowych. Potrzebną roczną średnią wartość stężenia aktywności radonu można określić na podstawie badań długookresowych lub oszacować za pomocą pomiarów krótkookresowych, na przykład po 48 godzinach. O wiele trudniejszy jest problem przewidywania rocznego średniego stężenia aktywności radonu w przyszłych pomieszczeniach budynków projektowanych, przed ich wzniesieniem. Zaproponowano koncepcję podejścia do rozwiązania tego problemu i wskazano na możliwość przeprowadzenia badań na placu budowy.

1. Wprowadzenie

Obowiązujące w budownictwie przepisy prawne (ustawa Prawo budowlane [1], Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [2]) wymagają zapewnienia mieszkańcom bezpieczeństwa przed promieniowaniem jonizującym w budynkach mieszkalnych. Źródłem promieniowania gamma w pomieszczeniach budynku są trzy naturalne pierwiastki promieniotwórcze: rad Ra-226, tor Th-228 i potas K-40, zawarte w wyrobach zastosowanych w budynku oraz występujące w podłożu, na którym jest on posadowiony, a także przenikająca przez przegrody budynku składowa promieniowania kosmicznego [3]. Stąd narażenie na promieniowanie jonizujące wewnątrz budynku jest średnio o kilkadziesiąt procent większe niż na zewnątrz. Rozróżnia się narażenie całego ciała na promieniowanie gamma (szacowane na około 25% dawki) oraz – szczególnie niepożądane – narażenie układu oddechowego na promieniowanie alfa.

Narażenie układu oddechowego na promieniowanie alfa wynika z obecności radonu i produktów jego rozpadu w powietrzu pomieszczeń [4]. Źródłami radonu w pomieszcze-

* dr inż. – adiunkt w Zakładzie Konstrukcji i Badań Wytrzymałościowych ITB

niach budynku są dwa naturalne pierwiastki promieniotwórcze: rad Ra-226 i Ra-224 (pochodna toru Th-232), występujące w wyrobach budowlanych pochodzenia mineralnego zastosowanych w budynku oraz radon znajdujący się w gazach gruntowych przenikających do budynku, a także – w znacznie mniejszym stopniu – radon zawarty w wodzie wodociągowej i używanym gazie ziemnym [4], [5].

W związku z tymi zagrożeniami budynki przeznaczone na stały pobyt ludzi powinny spełniać wymagania [1], [2] dotyczące:

1) zawartości naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w zastosowanych materiałach budowlanych,

2) średnich rocznych stężeń radonu w powietrzu pomieszczeń przeznaczonych na stały pobyt ludzi [6].

Wymaganie 1. dotyczy dwóch wskaźników aktywności:

• wskaźnika aktywności f_1 (wielkość bezwymiarowa), który określa łączną zawartość naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w wyrobach budowlanych [7]

$$f_1 = \frac{S_K}{3000} + \frac{S_{Ra}}{300} + \frac{S_{Th}}{200} \quad (1)$$

gdzie S_K , S_{Ra} , S_{Th} oznaczają odpowiednio: stężenia izotopów potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-228, wyrażone w bekerelach na kilogram (Bq/kg),

• wskaźnika aktywności f_2 , który określa stężenie izotopu radu Ra-226 (głównego źródła radonu)

$$f_2 = S_{Ra} \quad (2)$$

Wskaźniki aktywności f_1 i f_2 mogą przekraczać tylko do 20% wartości

$$f_1 = 1 \quad \text{i} \quad f_2 = 200 \text{ Bq/kg}$$

Wymaganie 2. dotyczy średniego rocznego stężenia radonu w pomieszczeniach, które nie powinno przekraczać zalecanych wartości:

- 400 Bq/m³ w budynkach oddanych do użytkowania przed rokiem 1998,
- 200 Bq/m³ w budynkach pozostałych.

Zalecane procedury badawcze oznaczania wskaźników aktywności i stężenia aktywności radonu w powietrzu są przedmiotem Instrukcji ITB 234/2003 [8] i 352/98 [9].

W istniejących budynkach mieszkalnych oszacowanie wartości średnich rocznych stężeń radonu w powietrzu pomieszczeń dokonuje się na podstawie prowadzonych *in situ* pomiarów ciągłych, długookresowych lub krótkookresowych, wielokrotnie powtarzanych [10], [11].

Oszacowanie stężenia aktywności radonu w powietrzu pomieszczeń budynku projektowanego jest zagadnieniem bardziej złożonym, wymaga bowiem rozpoznania i oceny wydajności wszystkich możliwych jego źródeł. Pomijając mało wydajne źródła, takie jak woda wodociągowa i gaz ziemny, należy stwierdzić, że istotne w projektowanym budynku będą dane o rodzajach planowanych materiałów budowlanych i właściwościach podłoża gruntowego, na którym budynek ma być posadowiony, a także o jego rozwiązaniach techniczno-budowlanych. Dotychczas brak było jednak podstaw naukowych

metody wykorzystania takich danych do prognozowania średniego stężenia radonu w powietrzu pomieszczeń projektowanych budynków.

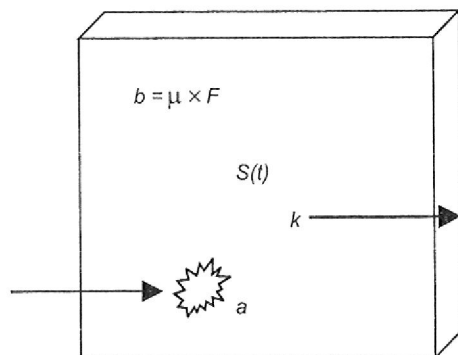
Problem ten stanowił przedmiot rozprawy doktorskiej [12], której zasadniczą treścią było prognozowanie średniego rocznego stężenia aktywności radonu w teoretycznym pomieszczeniu zamkniętym.

2. Opracowanie teoretycznego modelu gromadzenia się radonu w pomieszczeniu zamkniętym

Zaproponowany teoretyczny model opisuje procesy zachodzące w powietrzu pomieszczenia zamkniętego, powodujące narastanie stężenia aktywności radonu w wyniku jego ekshalacji z materiałów obudowy oraz infiltracji z podłoża gruntowego przez nieszczelności obudowy pomieszczenia. Model taki jest podstawą metody prognozowania średniego stężenia aktywności radonu w powietrzu pomieszczenia w przypadku znanej zawartości naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w materiałach budowlanych obudowy i w podłożu gruntowym oraz określonych danych dotyczących geometrii i wentylacji pomieszczenia.

W wyniku analizy dostępnych danych na temat właściwości radonu w przyrodzie oraz dróg jego napływu do pomieszczeń budynków stwierdzono, że – w pewnym uproszczeniu – gromadzenie się radonu w pomieszczeniu budynku jest wynikiem:

- ekshalacji radonu ze źródła powierzchniowego, jakie stanowi obudowa (ściany, stropy) pomieszczenia wykonana z materiałów budowlanych pochodzenia mineralnego,
- infiltracji radonu z podłoża gruntowego do pomieszczenia budynku przez jedno lub kilka źródeł punktowych o określonej wydajności.



Rys. 1. Model teoretyczny pomieszczenia zamkniętego
Fig. 1. Theoretical model of a closed room

Przyjęty teoretyczny model gromadzenia się radonu w pomieszczeniu zamkniętym, pokazany na rysunku 1, może być opisany równaniem różniczkowym

$$\frac{dS(t)}{dt} = \frac{1}{V} a - \lambda S(t) + \frac{1}{V} \mu F - kS(t) \quad (3)$$

- gdzie: $S(t)$ – stężenie radonu w chwili czasowej t , Bq/m^3 ,
 a – wydajność radonu z podłoża, $\text{Bq}\cdot\text{h}^{-1}$,
 μ – współczynnik* ekshalacji radonu z obudowy pomieszczenia, $\text{Bq/m}^2\cdot\text{h}$,
 λ – stała rozpadu radonu Rn-222 ($\lambda = 7,56 \cdot 10^{-3} \text{h}^{-1}$),
 t – czas, h ,
 F – powierzchnia ścian pomieszczenia, m^2 ,
 V – objętość pomieszczenia, m^3 ,
 k – liczba wymian powietrza w pomieszczeniu, h^{-1} .

W ogólnym przypadku analizowanego modelu całka równania różniczkowego (3) wyrażająca stężenie radonu $S(t)$ w pomieszczeniu jest następująca:

$$S(t) = S_0 e^{-(\lambda+k)(t-t_0)} + \frac{a + \mu F}{V(\lambda+k)} \left[1 - e^{-(\lambda+k)(t-t_0)} \right] \quad (4)$$

Możliwa jest analiza modelu w szczególnych przypadkach:

- brak wentylacji ($k = 0$)

$$S(t) = S_0 e^{-\lambda(t-t_0)} + \frac{a + \mu F}{\lambda V} \left[1 - e^{-\lambda(t-t_0)} \right] \quad (5)$$

- niewystępowanie infiltracji radonu z podłoża ($a = 0$)

$$S(t) = S_0 e^{-\lambda(t-t_0)} + \frac{\mu F}{\lambda V} \left[1 - e^{-\lambda(t-t_0)} \right] \quad (6)$$

- niewystępowanie ekshalacji radonu z obudowy ($\mu = 0$)

$$S(t) = S_0 e^{-\lambda(t-t_0)} + \frac{a}{\lambda V} \left[1 - e^{-\lambda(t-t_0)} \right] \quad (7)$$

- założenie, że w chwili, gdy $t_0 = 0$, stężenie początkowe $S_0 = 0$ lub jest bliskie 0

$$S(t) = \frac{a + \mu F}{V(\lambda+k)} \left[1 - e^{-(\lambda+k)t} \right] \quad (8)$$

Możliwa jest też analiza kombinacji okresowego występowania lub niewystępowania poszczególnych czynników oddziałujących w analizowanym pomieszczeniu zamkniętym.

Jeśli na przykład w pomieszczeniu zamkniętym o stężeniu początkowym pomijalnym brak było wentylacji do czasu $t = \tau$, a następnie włączono wentylację zapewniającą k -krotną wymianę powietrza, to stan w takich dwóch okresach można opisać w sposób następujący:

- w okresie 1: $0 \leq t \leq \tau$, $t_0 = 0$, $S_0 = 0$, $k = 0$

$$S(t) = \frac{a + \mu F}{V\lambda} \left[1 - e^{-\lambda t} \right] \quad (9)$$

maksymalna wartość przy $t = \tau$ wynosi

$$S(\tau) = \frac{a + \mu F}{V\lambda} \left[1 - e^{-\lambda \tau} \right] \quad (10)$$

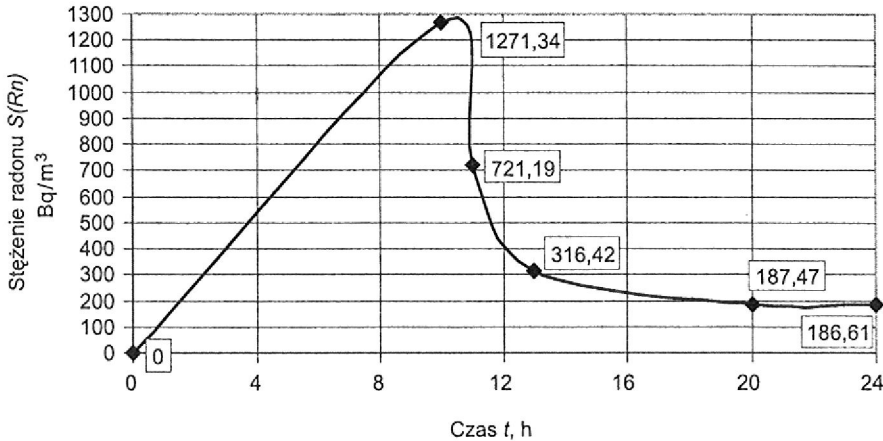
* Wielkość ta w tekście angielskim jest nazwana „rate”, co oznacza raczej „tempo” niż „współczynnik” (przyp. tłum.)

- w okresie 2: $\tau < t \leq \infty$, $k \neq 0$

$$S(t, \tau) = S(\tau)e^{-(\lambda+k)(t-\tau)} + \frac{a + \mu F}{V(\lambda+k)} \left[1 - e^{-(\lambda+k)(t-\tau)} \right] \quad (11)$$

Na rysunku 2 pokazano przebieg zmian $S(t, \tau)$ w okresach 1 i 2, przy przyjęciu następujących danych liczbowych:

$\tau = 10$ h, $a = 120$ Bq/h, $\mu = 0,7$ Bq/h·m², $\lambda = 0,00756$ h⁻¹,
 $k = 2,0$, komora o wymiarach $1 \times 1 \times 1$ m, $F = 6$ m², $V = 1$ m³.



Rys. 2. Ilustracja zmian stężenia aktywności radonu $S(Rn)$ w modelu pomieszczenia zamkniętego
 Fig. 2. Illustrative view of the radioactivity concentration $S(Rn)$ changes in a closed room model

3. Estymacja parametrów modelu teoretycznego na podstawie badań

3.1. Założenia

Opracowanie teoretycznego modelu gromadzenia się radonu w pomieszczeniu zamkniętym nie byłoby kompletne bez procedur estymacji jego dwóch podstawowych parametrów:

- współczynnika ekshalacji radonu z materiałów obudowy – μ ,
- wydajności radonu z podłoża gruntowego do pomieszczenia – a .

Estymacja pierwszego parametru jest możliwa metodą bezpośrednią przez pomiar współczynnika ekshalacji radonu z modelu obudowy z danego materiału budowlanego lub też metodą pośrednią, na podstawie doświadczalnie określonych korelacji tego współczynnika ze stężeniem radu Ra-226 w surowcach i materiałach budowlanych.

Estymacja parametru drugiego jest bardziej złożona i polega na oszacowaniu wydajności radonu z gruntu do budynku na podstawie pomiarów stężenia radonu *in situ* w otwo-

rach wykonywanych sondą geotechniczną lub na ograniczonej powierzchni odkrywki gruntowej na poziomie posadowienia projektowanego budynku.

W przypadku krajowych surowców i wyrobów stosowanych w budownictwie systematyczne badania stężenia potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-228 (232) w surowcach i materiałach pochodzenia mineralnego są prowadzone od lat osiemdziesiątych dwudziestego wieku i zgromadzono już bardzo dużo wyników badań. Zawartość tych naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w różnych materiałach zmienia się w bardzo szerokich granicach – od ilości śladowych do kilku tysięcy Bq/kg. Niestety, brak wyników eksperymentalnie wyznaczonych współczynników ekshalacji radonu z tych materiałów nie pozwala na określenie korelacji między stężeniem radu w materiałach i ewentualnym stężeniem radonu w pomieszczeniu zbudowanym z tych materiałów.

W celu wykorzystania zgromadzonych wyników wieloletnich pomiarów, w tym szczególnie stężenia radu Ra-226 w wyrobach budowlanych (m.in. w ITB [13]), w ramach pracy doktorskiej przeprowadzono badania wybranych wyrobów. Aby potwierdzić korelację, określano w nich zarówno stężenie radu, jak i współczynniki emisji i ekshalacji radonu Rn-222, lub też tylko jeden z tych współczynników.

Stężenie radu określano metodą standardową według Instrukcji ITB 234/2003 za pomocą analizatora MAZAR.

3.2. Badania współczynnika ekshalacji radonu μ

Jednym z możliwych sposobów pośredniej oceny ekshalacji radonu z wyrobów budowlanych jest badanie emisji radonu z próbek pobranych z tych materiałów.

Rozdrobnione próbki materiałów o masie m , służące do pomiarów stężenia radu Ra-226, wykorzystano do określenia współczynników emisji radonu η na podstawie badań w specjalnie skonstruowanej małej komorze o pojemności $V = 0,048 \text{ m}^3$. Współczynnik emisji radonu η wyznaczano ze wzoru

$$\eta = \frac{1}{m} S(Rn) \lambda V (1 - e^{-\lambda t})^{-1} \quad (12)$$

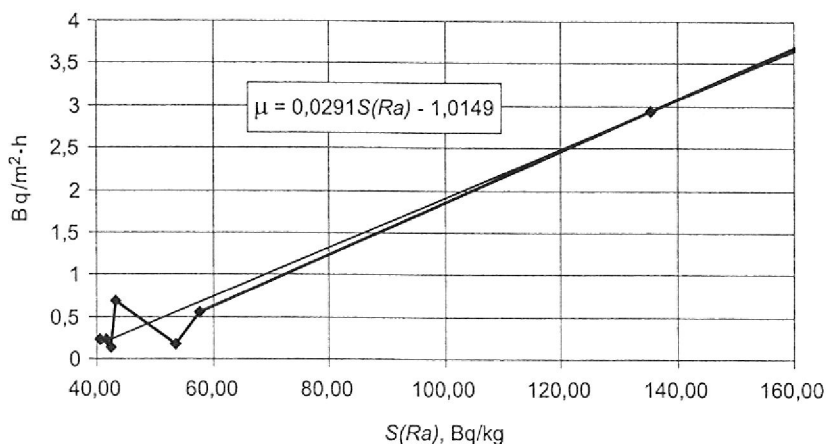
Ekshalację radonu z powierzchni elementów muru ceglanego badano za pomocą detektorów Pico-Rad osłoniętych plastikowym naczyniem o pojemności 7 dm^3 , przymocowanym do powierzchni ściany (elementu) i uszczelnionym na krawędzi. Ograniczona krawędzią naczynia powierzchnia elementu wynosiła 314 cm^2 .

Do wyznaczenia współczynników ekshalacji radonu zastosowano wzór

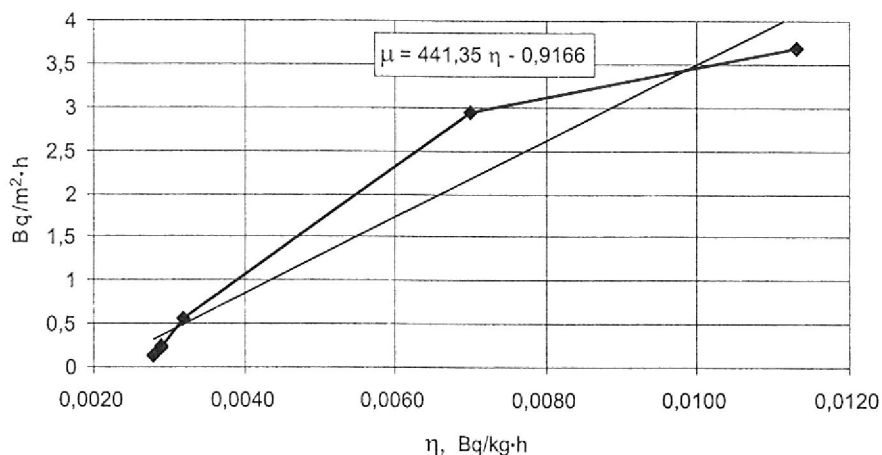
$$\mu = \frac{\lambda V}{F} S(Rn) (1 - e^{-\lambda t})^{-1} \quad (13)$$

Badano również ekshalację radonu z drobnowymiarowych elementów (wyrobów) budowlanych, takich jak bloczki z betonów komórkowych, cegły, pustaki, płyty i płytki ceramiczne, podłogowe i ścienne, umieszczonych w zaprojektowanej dużej komorze o pojemności 390 dm^3 .

Uzyskane wyniki badań poddano analizie korelacyjnej, na podstawie której otrzymano zależności współczynnika ekshalacji radonu μ z badanych wyrobów od stężenia radu Ra-226 oraz od wartości współczynnika emisji radonu η , pokazane na rysunkach 3 i 4.



Rys. 3. Zależność współczynnika ekshalacji radonu μ od stężenia radu S (Ra)
 Fig. 3. The dependence of the radon exhalation rate μ on the radium concentration S (Ra)



Rys. 4. Zależność współczynnika ekshalacji radonu μ od współczynnika emisji radonu η , określonego na podstawie badań rozdrobnionych próbek wybranych materiałów
 Fig. 4. The dependence of the radon exhalation rate μ on the exhalation rate per unit mass η as determined on crushed samples of selected materials

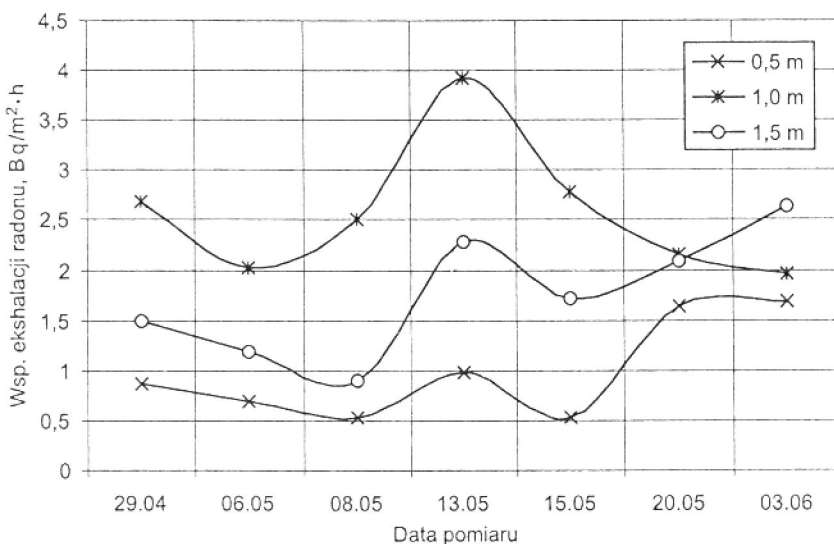
3.3. Badanie wydajności α radonu Rn-222 z gruntu

W przeciwieństwie do materiałów budowlanych, z których ekshalacja radonu do pomieszczenia zależy głównie od stężenia zawartego w nich radu Ra-226, o wydajności radonu z gruntu decyduje stężenie radonu Rn-222 w powietrzu gruntowym pod budynkiem i w jego otoczeniu oraz możliwość jego infiltracji do budynku.

Pomiary stężenia radonu $S(Rn)$ w gruncie prowadzono za pomocą detektorów Pico-Rad w specjalnie wierconych w ziemi otworach oraz w odkrywkach gruntowych.

Na podstawie wyników pomiarów $S(Rn)$ określano współczynniki ekshalacji μ z gruntu ze wzoru (13), uwzględniając wpływy różnych czynników, takich jak głębokość otworu wiertniczego, wilgotność gruntu itp.

Na rysunku 5 przedstawiono zmienne fluktuacje współczynników ekshalacji radonu μ w poszczególnych dniach pomiaru oznaczonych na różnych głębokościach.



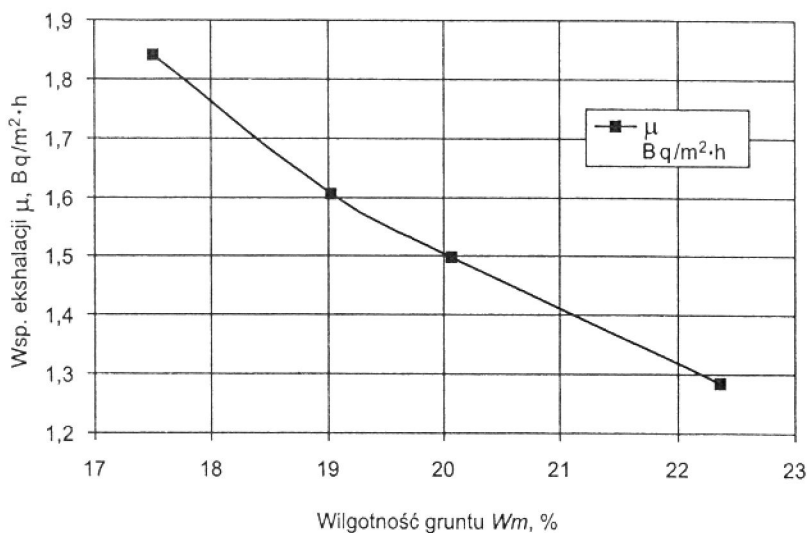
Rys. 5. Porównanie zmian w czasie współczynnika ekshalacji radonu z otworów w gruncie o różnej głębokości

Fig. 5. Variations versus time of the radon exhalation rate from soil apertures of different depth

Wpływ wilgotności gruntu na wyniki pomiarów współczynnika ekshalacji μ pokazano na rysunku 6.

Wydajność radonu oszacowano, mnożąc współczynnik ekshalacji przez powierzchnię F pod budynkiem i w jego otoczeniu, z której radon może się przedostać do pomieszczenia.

Przeprowadzone badania *in situ* stężenia aktywności radonu w gruncie wykazały możliwość wykorzystania takich pomiarów do wstępnej oceny danego terenu pod budowę oraz wydajności radonu infiltrującego z podłoża do pomieszczenia w projektowanym budynku.



Rys. 6. Wpływ wilgotności gruntu na oznaczoną wartość współczynnika ekshalacji radonu w otworach gruntowych o głębokości 1,5 m

Fig. 6. Effect of soil moisture content on the radon exhalation rate from 1.5 m deep apertures

4. Oszacowanie średniego stężenia aktywności radonu

Wykonanie badań krótkookresowych umożliwia określenie doraźnego poziomu stężenia aktywności radonu w powietrzu pomieszczeń. Ocena ewentualnego wystąpienia zagrożenia wymaga jednak oszacowania wartości średniej rocznej stężenia aktywności radonu w pomieszczeniach budynku.

Stosując do pomiarów stężenia aktywności radonu na przykład detektory z węgla aktywnego Pico-Rad, należy brać pod uwagę wpływ różnych czynników powodujących zmiany stężenia występujące w okresie tygodnia lub w dłuższych przedziałach czasu, na przykład w kolejnych kwartałach danego roku. Wpływ tych czynników na wynik pomiarów można zredukować, uwzględniając odpowiednie poprawki określone eksperymentalnie.

Zakładając, że wartość zmierzona $S(Rn)$ określa stężenie aktywności radonu w powietrzu pomieszczenia w okresie wykonywania ekspozycji detektorów, średnią roczną wartość stężenia $S_y(Rn)$ można opisać jako iloczyn stężenia $S(Rn)$ i współczynnika poprawkowego, uwzględniającego wpływ różnych czynników powodujących krótko- i długookresowe fluktuacje stężenia w badanym pomieszczeniu:

$$S_y(Rn) = S(Rn) \cdot f(k, T, p, \varphi, a) \quad (14)$$

gdzie: $f(k, T, p, \varphi, a)$ – współczynnik poprawkowy, który jest funkcją

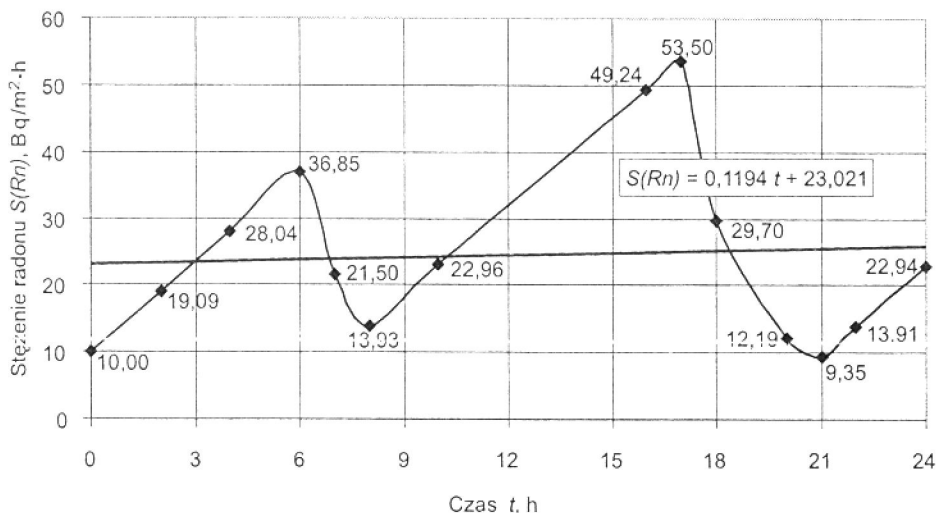
- k – liczby wymian powietrza w pomieszczeniu w czasie wykonywania pomiaru,
- T – temperatury,
- p – ciśnienia powietrza,
- φ – wilgotności powietrza,
- a – pory roku lub okresu czasu o szczególnym znaczeniu ze względu na wynik pomiaru.

Z dotychczasowych pomiarów [14], [15] i obserwacji wynika, że w miesiącach letnich średnie stężenie aktywności radonu w budynkach jest w przybliżeniu o połowę mniejsze, jesienią i zimą zaś jest większe od średniego rocznego o około (20–30)%.

Przedstawiona metoda szacowania średniego rocznego stężenia aktywności radonu powinna być w praktyce korygowana i modyfikowana w miarę gromadzenia nowych danych w tym zakresie.

Możliwości prognozowania zmian stężenia aktywności radonu w pomieszczeniu zamkniętym przedstawiono poniżej, zakładając przykładowe pomieszczenie o wymiarach $(3 \times 4 \times 2,5)$ m ze ścianami wykonanymi z cegły ceramicznej i stropami żelbetowymi, przyjmując do obliczeń największą otrzymaną w badaniach cegieł ceramicznych wartość współczynnika ekshalacji radonu ze ścian $\mu = 0,7$ Bq/m²·h oraz wydajność radonu $a = 120,0$ Bq/h z gruntu, z łącznej powierzchni 30 m². Ekshalację radonu ze stropów żelbetowych pominięto jako nieistotną. Przebieg zmian stężenia aktywności radonu analizowano w cyklach: dobowym, tygodniowym i miesięcznym.

Na rysunku 7 został pokazany przebieg zmian w cyklu dobowym, w którym wentylacja jest włączona od godz. 6 do godz. 8 i od godz. 17 do godz. 21.



Rys. 7. Zmiany stężenia radonu $S(Rn)$ w pomieszczeniu z obudową ceramiczną w cyklu dobowym, przy wartości początkowej $S_0 = 10$ Bq/m³

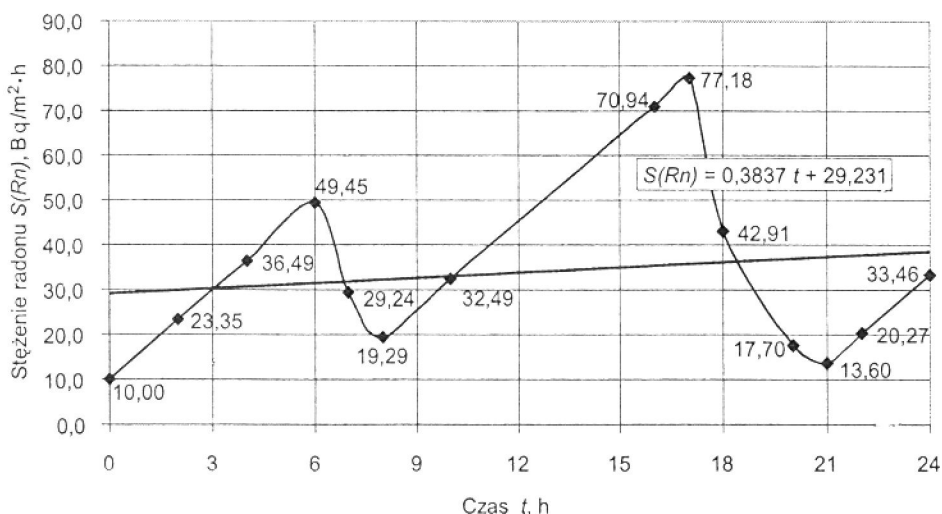
Fig. 7. Day cycle variations of the radon activity concentration $S(Rn)$ in a room with ceramic walls, at the start with $S_0 = 10$ Bq/m³

W szczególnym przypadku, przy braku infiltracji radonu z podłoża, wartość stężenia radonu w pomieszczeniu po 17 h kształtuje się na poziomie $9,38 \text{ Bq/m}^3$, co stanowi około 18% wartości poprzedniej $53,50 \text{ Bq/m}^3$, uwzględniającej infiltrację z podłoża.

W przypadku analogicznego pomieszczenia o wymiarach $(3 \times 4 \times 2,5) \text{ m}$ ze ścianami z popiołowego betonu komórkowego i stropami żelbetowymi, założono wartość współczynnika ekshalacji radonu $\mu = 3,0 \text{ Bq/m}^2 \cdot \text{h}$ ze ścian o łącznej powierzchni $F = 28 \text{ m}^2$ (z uwzględnieniem 20% otworów), otrzymaną w badaniach bloków z betonu komórkowego oraz wydajność radonu z podłoża $a = 120,0 \text{ Bq/h}$. Ekshalację radonu ze stropów żelbetowych pominięto jako nieistotną. Przyjęto możliwość okresowego wietrzenia pomieszczenia ($V = 30 \text{ m}^3$), określonego liczbą wymian powietrza $k = 0,7 \text{ h}^{-1}$ (minimalna zalecana).

Przebieg zmian stężenia analizowany w cyklu dobowym, o takim samym rytmie włączania wentylacji, przedstawiono na rysunku 8. Biorąc pod uwagę tylko ekshalację z materiałów po okresie 17 h, uzyskano wartość 34 Bq/m^3 , co stanowi 44% poprzedniej wartości $77,18 \text{ Bq/m}^3$, uwzględniającej infiltrację z podłoża.

W przypadkach rzeczywistych pomieszczeń przeznaczonych na stały pobyt ludzi przebieg zmian stężenia aktywności radonu w pomieszczeniu w cyklu dobowym może zależeć od właściwości gruntu, rodzaju i właściwości zastosowanych materiałów oraz od zwyczajów domowników, w tym od częstotliwości i intensywności wietrzenia.



Rys. 8. Zmiany stężenia radonu $S(Rn)$ w pomieszczeniu z obudową z betonu komórkowego w cyklu dobowym, przy wartości początkowej $S_0 = 10 \text{ Bq/m}^3$

Fig. 8. Day cycle variations of the radon activity concentration $S(Rn)$ in a room with cellular concrete walls, at the start with $S_0 = 10 \text{ Bq/m}^3$

5. Wnioski

- Zaproponowany w pracy model teoretyczny pomieszczenia zamkniętego pozwala określić stężenie aktywności radonu $S(Rn)$, odwzorowując w sposób zbliżony do

rzeczywistego proces narastania i uwalniania radonu wewnątrz pomieszczenia zamkniętego.

- Badania doświadczalne parametrów równania podstawowego a i μ dostarczyły danych, które umożliwiają wdrożenie do celów praktycznych modelu będącego osiągnięciem naukowym.

- Określenie korelacji współczynników ekshalacji radonu i stężeń radu w materiałach budowlanych umożliwia wykorzystanie dostępnej bazy danych o zawartości radu Ra-226 w wyrobach budowlanych, tworzonej od początku lat osiemdziesiątych, między innymi przez ITB, CELOR i CEBET.

- Badania stężenia aktywności radonu w gruncie *in situ* w otworach gruntowych i w odkrywkach na różnych głębokościach, z uwzględnieniem warunków atmosferycznych, stanowią podstawę prognozowania infiltracji radonu do pomieszczeń w projektowanych budynkach.

- Na podstawie proponowanej w pracy koncepcji będzie możliwe prognozowanie średniego rocznego stężenia aktywności radonu w pomieszczeniach projektowanych budynków przy uwzględnieniu znanych wielkości ekshalacji radonu z materiałów budowlanych obudowy oraz z podłoża gruntowego pod przyszłym budynkiem.

Bibliografia

- [1] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (tekst jednolity DzU, 2000 r., nr 106, poz. 1126 z późniejszymi zmianami: DzU, 2003 r., nr 80, poz. 718)
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (DzU, 2002 r., nr 75, poz. 690)
- [3] Bodansky D., Robkin M. A., Stadtler D. L.: Indoor Radon and its Hazards. University of Washington Press, Settle 1989
- [4] Nazaroff W. W., Nero A. V.: Radon and Its Decay Products in Indoor Air. John Wiley and Sons, New York 1988, s. 518
- [5] Mamont-Cieśla K.: Radon w mieszkaniach. *Przegląd Budowlany*, 7, 1993
- [6] Zarządzenie Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki z dnia 7 lipca 1995 r. zmieniające zarządzenie w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego i wskaźników pochodnych określających zagrożenie promieniowaniem jonizującym (MP, 1995 r., nr 35, poz. 419)
- [7] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 3 grudnia 2002 r. w sprawie wymagań dotyczących zawartości naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w surowcach i materiałach stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i inwentarza żywego, a także w odpadach przemysłowych stosowanych w budownictwie, oraz kontroli zawartości tych izotopów (DzU, 2002 r., nr 220, poz. 1850)
- [8] Instrukcja ITB 234/2003 Badanie promieniotwórczości naturalnej surowców i materiałów budowlanych. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2003
- [9] Instrukcja ITB 352/98 Metody i warunki wykonywania pomiarów stężenia radonu w powietrzu w pomieszczeniach budynków przeznaczonych na stały pobyt ludzi. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 1998

- [10] Skowronek J., Wysocka M., Mielnikow A.: Badania stężeń radonu w przedszkolach na obszarze gminy górniczej. 34-41 PTJ, vol. 42, z.1, 1999
- [11] Wysocka M.: Radon w domach na terenie Górnośląskiego Okręgu Węglowego. Konferencja „Naturalna promieniotwórczość w środowisku”. GIG, Katowice, luty 1996, ss. 157–167
- [12] Dohojda M.: Wpływ zawartości naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w materiałach budowlanych i gruncie na poziom stężenia radonu w pomieszczeniach zamkniętych; rozprawa doktorska. ITB, Warszawa 2003
- [13] Dohojda M.: Promieniotwórczość naturalna ceramiki budowlanej, problemy badań i oceny. Konferencja „Polska Ceramika”, Spała, 2000. Wyd. „Ceramika” – *Polski Biuletyn Ceramiczny*, vol. 60, 2000
- [14] Nagda Niren L.: Radon: Prevalence, Measurements, Health Risks and Control. ASTM, 1994
- [15] Raport CELOR nr 5/85/Z-II Badania narażenia ludności kraju od radioaktywności materiałów budowlanych i ocena istniejącego ryzyka radiacyjnego, Warszawa 1985

PROGNOSIS OF THE MEAN ANNUAL INDOOR RADON CONCENTRATION

Summary

It is evident that high radon exhalation rates in dwellings bring a radon-induced health risk for human beings. Measurements can be made for assessment of the annual mean radon activity concentrations inside rooms. A possibility of the annual mean radon activity concentration assessment on the base of short term tests was the main practical result of the author's PhD thesis. There are many techniques and methods for measuring the radon and its decay products concentration in the air, particularly inside closed rooms in existing buildings. A long or a short term measurements can be made. The annual mean radon activity concentration required can be determined in the long term tests or it can possibly be assessed on the base of short term measurements, even as short as 48 hours. It is much more difficult to predict the annual mean indoor radon concentrations or the annual mean radon exhalation rates in the buildings before construction. There has been suggested a concept of an approach for solving the problem, and the possibility to use it for tests at a building site has been proved.

Praca wpłynęła do Redakcji 28 I 2004