

## DYFUZJA RADONU $Rn^{222}$ PRZEZ BARIERĘ Z FOLII POLIETYLENOWEJ

Marek Dohojda

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

**Streszczenie.** W artykule omówiono zagadnienia dyfuzji radonu w gruncie, w szczególności możliwość przenikania do porów otwartych gruntu. Przedstawiono także drogę migracji radonu do budynków i warunki, jakie temu sprzyjają. Biorąc pod uwagę wynikające stąd zagrożenia, zaproponowano zapobiegające środki techniczne przy użyciu folii HDPE. Zaprezentowano metodę umożliwiającą pomiar dyfuzji radonu przez folie polietylenowe.

**Słowa kluczowe:** radon, dyfuzja, emisja, ekshalacja

### WSTĘP

Promieniowanie jonizujące powstałe z rozpadu radonu jest jednym z ważniejszych czynników środowiska człowieka, charakteryzujących warunki higieniczno-zdrowotne w powietrzu pomieszczeń przeznaczonych na stały pobyt ludzi. Istotne znaczenie dla istot żyjących ma promieniowanie alfa, pochodzące z rozpadu radonu i jego produktów rozpadu, działające na układ oddechowy.

Radon i pochodne jego rozpadu promieniotwórczego, znajdujące się w powietrzu pomieszczeń budynków, pochodzą głównie z podłoża (z gruntu) oraz w znacznie mniejszym stopniu z elementów budynku, wykonanych z surowców mineralnych [Rozporządzenie Rady Ministrów 2007].

W istniejących, budynkach mieszkalnych oszacowanie wartości średnich rocznych stężeń aktywności radonu w pomieszczeniach w powietrzu dokonuje się na podstawie prowadzonych *in situ* pomiarów ciągłych, długookresowych lub krótkookresowych, wielokrotnie powtarzanych [Karpieńska i in. 2009].

Oszacowanie stężenia aktywności radonu w powietrzu pomieszczeń budynku projektowanego jest zagadnieniem bardziej złożonym, wymaga bowiem rozpoznania i oceny wydajności wszystkich możliwych jego źródeł [Dohojda 2003].

---

Adres do korespondencji – Corresponding author: Marek Dohojda, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Inżynierii Budowlanej, ul. Nowoursynowska 159, 02-787 Warszawa, e-mail: marek\_dohojda@sggw.pl

## INFILTRACJA RADONU Z PODŁOŻA GRUNTOWEGO DO BUDYNKU

Stężenie aktywności radonu w gazach gruntowych nie jest bezpośrednią funkcją zawartości radu w gruncie, jest natomiast ważnym wskaźnikiem potencjalnego źródła radonu w gruncie lub w warstwach skalnych.

Przygotowane przez człowieka podłoże gruntowe pod budynek jest głównym źródłem radonu i przyczyną powstawania jego podwyższonych stężeń w pomieszczeniach wewnętrznych. Uwarunkowania determinujące obecność i wnikanie radonu z gruntu do budynku stanowią [Clavensjo i Akerblom 1994, Pachocki 1995]:

- odpowiednio duża zawartość radu w gruncie, zwłaszcza w górnej jego warstwie, oraz wysoki współczynnik emanacji radonu, tworzącego się w wyniku rozpadu radu, do porów wewnętrznych cząstek gruntu i przestrzeni między ziarnami,
- ułatwione warunki umożliwiające transport radonu w gruncie w kierunku ku powierzchni ziemi, zarówno na drodze dyfuzji, jak i konwekcji, będących wynikiem wyrównywania się różnic stężeń aktywności radonu oraz unoszenia się radonu ku górze wraz z gazami gruntowymi dzięki przepuszczalności gruntu związanej z jego porowatością oraz występującymi w nim spękaniem, szczelinami, uskokami i płaszczyznami ścięcia,
- warunki wymuszające ruch zawierających radon gazów gruntowych z podłoża do budynku wskutek różnic ciśnienia powietrza, powodujących zasysanie z obszaru pod budynkiem do jego wnętrza,
- obecność otworów i nieszczelności w samym budynku, umożliwiających swobodny przepływ gazów do jego pomieszczeń na wyższych kondygnacjach.

Warunki związane z zawartością radu w gruncie i z właściwościami samego gruntu można oceniać jedynie na podstawie wyników bezpośrednich badań. Wysokie stężenie radu-226 w gruncie i duża przepuszczalność gruntu są tylko ważną przesłanką do oceny pochodzenia podwyższonego poziomu radonu w budynku. Rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne części podziemnej budynku są bowiem również ważnym czynnikiem decydującym o przenikaniu radonu pochodzącego z gruntu do pomieszczeń wewnętrznych.

Przepuszczalność (porowatość) gruntu ma duży wpływ na konwekcję zawierających radon gazów gruntowych i ich szybki transport ku powierzchni, a więc i do wnętrza budynków, wymuszony przez „ssące” działanie nawet bardzo małych różnic ciśnienia, spowodowanych na przykład przez wiatr, lokalne gradienty temperatury lub wywiewne systemy wentylacyjne w budynkach [Chao i in. 1996].

Grunty nieprzepuszczalne lub o względnie niewielkiej przepuszczalności, a więc charakteryzujące się małą porowatością, jak ropy i gliny, stanowią na ogół skuteczną barierę przenikania znaczącej ilości gazów gruntowych z podłoża do budynków. Duża zazwyczaj wilgotność gruntów gliniastych działa więc hamująco na szybkość przepływu gazów gruntowych. Z kolei w wyschniętej glinie mogą tworzyć się liczne nieciągłości, które ułatwiają transport radonu. Podobnie spękania, szczeliny, uskoki i płaszczyzny ścięcia podłoża skalnego są ważnym czynnikiem przy ekshalacji radonu z gruntu.

Jako najważniejszy mechanizm transportu radonu z gruntu do budynków uważa się jednak jego przepływ pod wpływem różnicy ciśnień. Składają się na to: tzw. efekt komi-nowy, ciśnienie powietrza atmosferycznego, opady i wiatr.

Efekt kominowy jest wywołany przez różnice ciśnień występujących na granicach (powierzchniach) rozdzielających masy powietrza o różnej temperaturze. Stanowi on główny przyczynę do infiltracji powietrza, zwłaszcza w okresie zimowym. Na przykład w budynku o wysokości 5 m, przy różnicy temperatur  $20^{\circ}\text{C}$ , różnica ciśnień między posadzką i sufitem może wynosić około 4 Pa [Clavensjo i Akerblom 1994].

Wiatr również wywołuje różnice ciśnień, które powodują infiltrację powietrza do budynku w podobnej skali jak różnice temperatur, ale o specyficznej konfiguracji przestrzennej (od strony nawietrznej ku zawietrznej). Działanie wywiewnych systemów wentylacji, wytwarzających podciśnienie wewnątrz budynków, powoduje znaczny wzrost napływu radonu do budynku, w dużym stopniu zależny od wielkości podciśnienia.

Opady występują zazwyczaj w połączeniu ze zmianami ciśnienia atmosferycznego. Stwierdzono, że zmiany ciśnienia rzędu 1 lub 2%, związane z przechodzeniem frontów atmosferycznych, wywołują odwrotnie proporcjonalne zmiany napływu radonu z gruntu, rzędu 20 do 60% [Antonopoulos-Domis i in. 1998]. Mając na uwadze, że opady występują na ogół przy spadku ciśnienia atmosferycznego, nie jest jasne, na ile znaczny wzrost stężenia aktywności radonu w budynku podczas opadów i bezpośrednio po ich wystąpieniu jest efektem spadku ciśnienia, a na ile wpływem dużego opadu deszczu. Sądzi się, że skutkiem silnych opadów deszczu jest znaczne zmniejszenie przepuszczalności górnych warstw gruntu wokół budynku. Powoduje to przepływ gazów gruntowych, w tym również radonu, do obszaru pod budynkiem.

Główne bezpośrednie drogi wnikania radonu z podłoża gruntowego do pomieszczeń w budynkach, stanowią:

- otwarty grunt w podziemnej części budynku,
- otwory i przepusty instalacji domowych,
- wyloty i osadniki urządzeń odwadniających,
- pęknięcia w betonowych posadzkach piwnicznych,
- nieszczelności połączeń ścian i stropów, na przykład połączeń ścian z pustaków lub płyt kanałowych (niezamkniętych u góry) z płytą stropową i oblicowaniem budynku.

Można stwierdzić, że poza szczególnym przypadkiem otwartego gruntu na znacznej powierzchni w podziemnej części budynku – oprócz ekshalacji radonu ze ścian obudowy – istotnym czynnikiem wzrostu radonu w pomieszczeniu może być jedno lub kilka źródeł punktowych o określonej wydajności radonu infiltrującego z podłoża gruntowego do pomieszczeń budynku.

Zawartość radu  $Ra^{226}$  w gruntach zawiera się na ogół w granicach od kilku do około  $100 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ , średnia w skorupie ziemskiej wynosi około  $40 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  [Dohojda 2003]. Wyniki wielu badań wskazują, że stężenia radonu w gazach gruntowych są zróżnicowane w bardzo szerokich przedziałach, nawet na niewielkich obszarach i nie są dobrze skorelowane ze stężeniem radu. Istotnym czynnikiem powodującym wysoki poziom radonu w tych gazach, nawet na obszarach o przeciętnym stężeniu radu, jest porowatość gruntu, decydująca o jego przepuszczalności. W gruntach o dużej przepuszczalności, takich jak piaski i żwiry, głębokość migracji radonu jest duża i może wynosić nawet kilka metrów. Dlatego radon może gromadzić się w gazach gruntowych w określonym miejscu ze znacznie większego obszaru podłoża. Ponadto wilgotność gruntu oraz poziom lustra

wody gruntowej również mają wpływ na okresowe zmiany stężenia radonu w gazach gruntowych na skutek spowalniania procesów dyfuzji [Antonopoulos-Domis i in. 1998].

Zaledwie część radonu powstającego w gruncie w wyniku rozpadu radu wydobywa się z ziaren gruntu lub litego podłoża i przenika do przestrzeni porów między ziarnami. Określa się tę część jako tzw. współczynnik emanacji [Fang i Persily 1995]. Wartości tego współczynnika, określone na podstawie pomiarów w różnych rodzajach gruntu, zawarte są w szerokim przedziale – od 0,05 do 0,7 (od 5 do 70%). Duży wpływ na wartość współczynnika emanacji ma wilgotność, powodując znaczne jego zwiększenie. Wzrost temperatury również powoduje zwiększenie współczynnika emanacji, jakkolwiek nie tak znaczący.

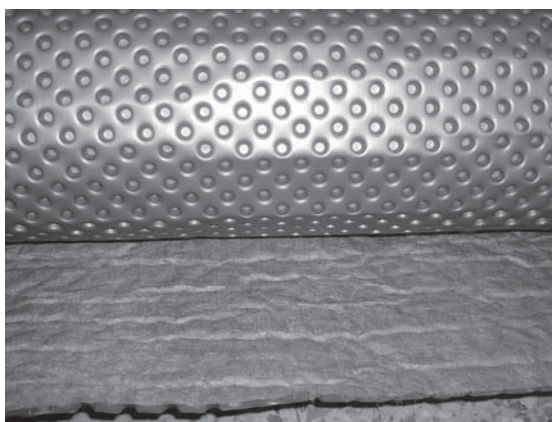
Na procesy migracji radonu mają wpływ: kształt, wymiary i rozkład porów, przestrzeni między ziarnami ośrodka (grunt lub materiał), wypełnionych gazem lub innym medium. Pory mogą być otwarte, połączone między sobą lub zamknięte. Różna może być też objętość porów w stosunku do objętości ośrodka.

W przypowierzchniowych warstwach podłoża migracja radonu może być opisana za pomocą dwóch mechanizmów: mikroskopowego i makroskopowego. Procesy mikroskopowe to dyfuzja i konwekcja, makroskopowe zaś to infiltracja przez pęknięcia, szczeliny i kanały.

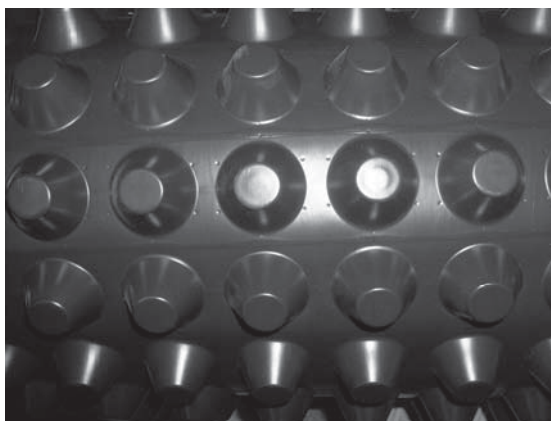
Radon charakteryzuje się dużą rozpuszczalnością w wodzie – od  $510 \text{ cm}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$  w temperaturze  $0^\circ\text{C}$  do  $130 \text{ cm}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$  w temperaturze  $50^\circ\text{C}$ . W raporcie Komitetu Naukowego ONZ [UNSCEAR-93] oszacowano średnie wartości stężenia radonu w wodach: powierzchniowych –  $1000 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ , głębinowych –  $10\,000 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ , studziennych –  $100\,000 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ .

## ZASTOSOWANIE FOLII POLIETYLENOWYCH JAKO SZCZELNEJ MEMBRANY PRZECIWKO RADONOWI

Aby zapobiec procesom migracji radonu z gruntu do pomieszczeń mieszkalnych, należy stosować środki techniczno-inżynierskie przeciwdziałające temu zjawisku. Jednym ze sposobów ochrony przed radonem jest możliwość wykorzystania drenażu fundamentów i ścian fundamentowych, wykonanego z folii polietylenowych (rys. 1 i 2).



Rys. 1. Folia HDPE grubości 0,5 mm z geowłókniną  
Fig. 1. HDPE foil thickness of 0.5 mm with a geotextile



Rys. 2. Folia HDPE grubości 1,5 mm bez geowłókniny  
Fig. 2. HDPE foil thickness of 1.5 mm without geotextile

Aby zastosować dostępne wyroby budowlane (folie drenujące) używane do ochrony przeciwwilgociowej budynków, należało przebadać je pod względem możliwości dyfuzji radonu przez te ośrodki (tab. 1 i 2). Pomiary wykonano w specjalnej komorze dyfuzyjnej ze źródłem radonu o wydajności  $6 \text{ k Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Tabela 1. Wyniki badań przepuszczalności folii HDPE 0,5 mm z geowłókniną  
Table 1. The results of the permeability of 0.5 mm HDPE foil of geotextile

Nr detektora Number of detector	Nr w kasecie Number of tape	Pomiar w powietrzu Measurement in the air	Miejsce pomiaru Place of measurement	Liczba zliczeń imp. Counts imp.	Stężenie radonu $Rn^{222}$ The concentration of radon $Rn^{222}$ [ $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ]
893462	01–02	X	Tło/Background	21 cpm	<15
893463	01–04	X	Tło/Background	24 cpm	<15
893473	01–06	X	Komora/Chamber	109 cpm	96
893483	01–08	X	Komora/Chamber	106 cpm	93
893493	01–10	X	Komora/Chamber	106 cpm	93

Tabela 2. Wyniki badań przepuszczalności folii HDPE 1,5 mm bez geowłókniny  
Table 2. The results of the permeability of 1.5 mm HDPE foil without geotextile

Nr detektora Number of detector	Nr w kasecie Number of tape	Pomiar w powietrzu Measurement in the air	Miejsce pomiaru Place of measurement	Liczba zliczeń imp. Counts imp.	Stężenie radonu $Rn^{222}$ The concentration of radon $Rn^{222}$ [ $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ ]
893472	01–03	X	Tło/Background	17 cpm	<15
893482	01–05	X	Tło/Background	17 cpm	<15
893492	01–07	X	Komora/Chamber	42 cpm	34
893502	01–09	X	Komora/Chamber	41 cpm	32
893512	01–11	X	Komora/Chamber	43 cpm	35

## PODSUMOWANIE

Tak jak w przypadku związków toksycznych (np. ksylen) zagrożenie radonowe stanowi pewnego rodzaju zanieczyszczenie powietrza i nie powinno być pominięte przy analizie warunków higieniczno-zdrowotnych człowieka, wynikających z wymagań podstawowych prawa budowlanego.

W istniejących budynkach mieszkalnych oszacowanie wartości średnich rocznych stężeń aktywności radonu w pomieszczeniach w powietrzu dokonuje się na podstawie prowadzonych *in situ* pomiarów ciągłych – długookresowych lub krótkookresowych wielokrotnie powtarzanych. Można w ten sposób bezpośrednio określić zagrożenie lub jego brak. Ograniczenia stężenia aktywności radonu można dokonać, izolując fundamenty i ściany fundamentowe przy użyciu folii HDPE. Z opisanych pomiarów wynika, że zastosowanie nawet jednej warstwy folii HDPE grubości 0,5 mm lub 1,0 mm zapewniło ograniczenie dyfuzji radonu do wydzielonej komory badawczej do poziomów odpowiednio 35 i 96 Bq·m<sup>-3</sup>.

## PIŚMIENNICTWO

- Antonopoulos-Domis M., Kritidis P., Raptis C., 1998. Diffusion model of radon exhalation rates. *Health Physics* 74, 5, 574–580.
- Chao Ch.Y.H., Tung Th.C.W., Burnett J., 1996. Survey of winter mode radon level in Hong Kong residential areas. *Indoor Air 96*, The 7 th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, July 21–26, Nagoya, Japan, 1, 1441–1451.
- Chernik D.A., Titov V.K., Venkov V.A., 1997. Rn-222 in buildings and the underlying bedrock. *Atomnaya Energiya* 82, 308–310.
- Clavensjo B., Akerblom G., 1994. The radon book. Measures against radon. The Swedish Council for Building Research. Ljunglöfs Offset AB, Stockholm.
- Dohojda M., 2003. Wpływ zawartości naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w materiałach budowlanych i gruncie na poziom stężenia radonu w pomieszczeniu zamkniętym. Rozprawa doktorska. ITB, Warszawa.
- Dohojda M., 2004. Prognozowanie stężenia aktywności radonu w pomieszczeniu zamkniętym. *Prace Instytutu Techniki Budowlanej* 1, 3–15.
- Fang J.B., Persily A.K., 1995. Airflow and radon transport modeling in four large buildings. *ASHRAE Transactions* 101 (1).
- Karpińska M., Mnich S., Kapała J., Kozak K., Mazur J., Kochańska E., Grządziel D., Mamont-Cieśla K., Stawarz O., Przylibski T.A., Żebrowski A., Kłos B., Dorda J., Kozłowska B., Wysocka M., Kołodziej R., Chmielewska I., Dohojda M., Jankowski J., Olszewski J., 2009. Seasonal changes of indoor radon (222Rn) concentrations of Poland – assumptions, purposes and methods of the project. In: *Book of Abstracts 1st International Conference „Radon in Environment”*, Zakopane, 10–14 May.
- Mamont-Cieśla K., 1993. Radon w mieszkaniach. *Przegląd Budowlany* 7, 7–10.
- Pachocki K., 1995. Radon w środowisku. Fundacja Ekologia i Zdrowie, Warszawa.
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego. *Dz.U.* 2005 r. nr 20, poz. 168.
- Rozporządzenie Rady Ministrów z 2 stycznia 2007 r. w sprawie wymagań dotyczących zawartości naturalnych izotopów 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.  
Dz.U. z 2007 r. nr 4, poz. 29.

- Strom D.J., Reif R.H., 1996. Occupational exposure to radon and thoron. Radon Subcommittee, Radiological Control Coordinating Committee U.S. Department of Energy, USA.
- The Radiation Protection Authorities in Denmark, Finland, Iceland, Norway and Sweden, 2000. Naturally Occurring Radioactivity in the Nordic Countries – Recommendations.
- UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1993. UNSCEAR 93 Report of the General Assembly.

## **DIFFUSION $RN^{222}$ THE POLIETYN FOIL STRUCTURAL BARRIER**

**Abstract.** The article discusses the problem of diffusion of radon in the soil, in particular, the penetration into the pores of open land. Also shows the path of migration of radon into buildings and the conditions that favor it. Given the resulting risks proposed technical measures to avoid the use of HDPE to prevent. Presents a method that allows the measurement of radon diffusion through polyethylene films.

**Key words:** radon, diffusion, emission, exhalation

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 7.01.2013