

ELŻBIETA KORZENIOWSKA-REJMER*

RADON W GRUNCIE I TECHNIKI REDUKCJI JEGO STĘŻENIA W OBIEKTACH BUDOWLANYCH

RADON SOIL AND TECHNIQUES OF REDUCING ITS CONCENTRATION IN CONSTRUCTION OBJECTS

Streszczenie

W artykule przedstawiono problematykę zanieczyszczeń radonem (naturalnym izotopem promieniotwórczym występującym w środowisku) w aspekcie minimalizacji zagrożeń jego wysokim stężeniem w obiektach mieszkalnych. Przedstawiono procesy uwalniania radonu z gruntów, czynniki wpływające na tempo migracji radonu w podłożu, jak również sposoby redukcji stężenia radonu w obiektach mieszkalnych na etapie projektowania oraz już istniejących. Przedstawiono również istniejące w tym zakresie regulacje prawne w Polsce i krajach UE.

Słowa kluczowe: grunt, radon, emanacja, obiekty mieszkalne, zabezpieczenia

Abstract

The paper presents problems of radon, a natural radioactive isotope, contamination in the aspect of minimizing the hazards caused by its high concentration in housing objects. In the paper there are presented processes of radon release from the soil, factors influencing radon migration rate in the construction base, as well as methods of radon concentration reduction in the objects people oriented both during the designing period and in the already standing buildings. The paper also presents legal regulations being in force in Poland and EU countries and trends in changing them.

Keywords: soil, radon, emanation, housing objects, protections

* Dr Elżbieta Korzeniowska-Rejmer, Instytut Geotechniki, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Jednym z elementów środowiska naturalnego człowieka jest tło promieniowania jonizującego odpowiedzialne za narażenie radiacyjne populacji. Ocenia się, że roczna dawka skuteczna promieniowania jonizującego otrzymywana przez statystycznego mieszkańca Polski od naturalnych i sztucznych źródeł promieniowania jonizującego (w tym od źródeł promieniowania stosowanych w diagnostyce medycznej) w 2007 r. średnio wynosiła 3,35 mSv (milisiverta), tj. utrzymywała się na poziomie z ostatnich kilku lat. Największy udział w tym narażeniu, wynoszący 43,5%, miały izotopy radonu – Rn-222 i Rn-220 (zwanego toronem) oraz produkty ich rozpadu, od których otrzymana dawka wynosiła 1,46 mSv. Z tego aż 95% to dawka wynikająca z obecności tej grupy izotopów wewnątrz obiektów budowlanych.

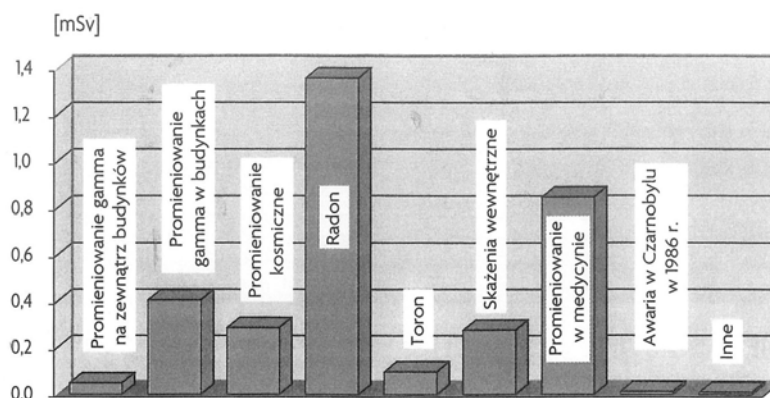
Występowanie radonu w przyrodzie jest związane z rozpadem promieniotwórczym uranu U-238 i toru Th-232, które stanowią stały składnik skał, gruntów i gleb. Uzasadnione jest zatem duże zainteresowanie tematyką ryzyka radiacyjnego, jakie może stwarzać radon w obiektach budowlanych, popartą obszerną literaturą.

Warto zaznaczyć, że ustanowiony aktem normatywnym (Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego, Dz. U. Nr 20, poz. 168) limit narażenia dla osób z ogółu ludności wynosi 1 mSv w ciągu roku kalendarzowego. Według tego dokumentu w przedziale małych dawek promieniowania nie ma narażenia zdrowia ludzi w przypadku dawki efektywnej ok. 1 mSv/rok, ponad występujące niewzmożone tło naturalne wynoszące w Polsce 2,5 mSv. Na rysunku 1 przedstawiono narażenie ludności na promieniowanie jonizujące od źródeł naturalnych i sztucznych. Żeby można było zastosować środki zapobiegające występowaniu podwyższonej ekspozycji na radon w nowo budowanych obiektach mieszkalnych lub obniżające ją w już zamieszkałych, trzeba znać źródła radonu i ich procentowy wkład do jego stężenia w obiektach przeznaczonych na pobyt stały ludzi.

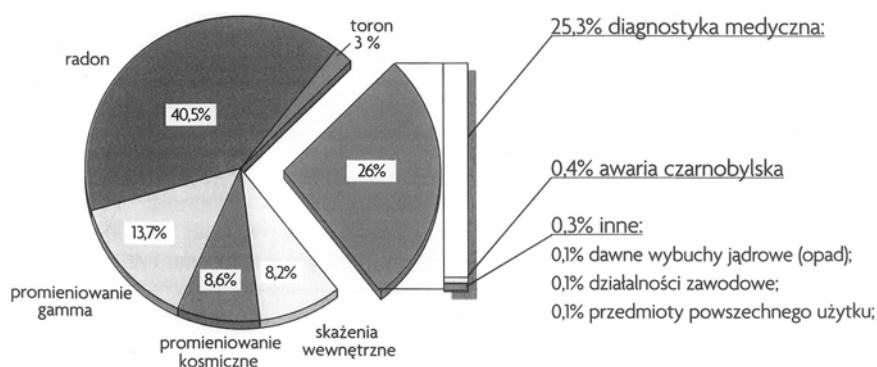
2. Źródła radonu w podłożu obiektów budowlanych

Głównym źródłem radonu w budynku jest podłoże (grunt) pod i wokół niego oraz materiały (wyroby) budowlane. Radon jest gazem naturalnym, powstającym bezpośrednio w wyniku rozpadu promieniotwórczego radu zawartego w skorupie ziemskiej. Rad powstaje w szeregu przemian promieniotwórczych z uranu lub toru, stanowiących stały składnik większości minerałów oraz skał. W przyrodzie występują 3 szeregi promieniotwórcze:

- 1) torowy, który otwiera izotop toru Th-232. W szeregu tym powstaje izotop radonu Rn-220, zwany dawniej emanacją torową lub toronem,
- 2) uranowo-aktynowy, który otwiera izotop uranu U-235. W szeregu tym powstaje izotop radonu Rn-219 zwany emanacją aktynową lub aktynonem, występujący w przyrodzie w nieznacznym ilościach,
- 3) uranowo-radowy, który otwiera izotop uranu U-238. W szeregu tym powstaje izotop radonu Rn-222 w wyniku rozpadu alfa izotopu radu Ra-226. Z tego powodu nazwano go emanacją radową lub radonem (po odkryciu, że toron, aktynon i radon to izotopy promieniotwórcze tego samego pierwiastka, tj. radonu; nazwę radon rozszerzono na wszystkie izotopy radonu).



Źródła naturalne – 74,0% (2,483 mSv), promieniowanie od źródeł sztucznych (w tym w medycynie) – 26,0% (0,865 mSv)



Rys. 1. Udział różnych źródeł promieniowania jonizującego w średniej rocznej dawce skutecznej (3,35 mSv) otrzymanej przez statystycznego mieszkańca Polski w 2007 r. [6]

Fig. 1. Fraction of different ionizing radiation sources in the average annual effective dose (3,35 mSv) absorbed by a statistical inhabitant of Poland in 2007

Wartości stężeń izotopów radu, będących bezpośrednim źródłem powstawania radonu Rn-222 i Rn-220 (toronu), wyrażone w jednostkach aktywności właściwej (Bq/kg), w wybranych formacjach geologicznych przedstawiono w tabeli 1.

Typowa wartość aktywności właściwej radu w przypowierzchniowej warstwie gruntu, gdzie nie występują złoża rud uranowych wynosi ok. 35 Bq/kg, natomiast w Polsce średnie wartości kształtują się na poziomie 26 Bq/kg, a zmierzony zakres to 5–120 Bq/kg. Powstałe izotopy promieniotwórcze w ww. szeregach, z wyjątkiem gazowego radonu, są ciałami stałymi uwięzionymi w strukturach ziaren skał i minerałów oraz w przestrzeniach międzyziarnowych (porach gruntu) i nie mogą się przemieszczać samodzielnie. Radon natomiast jako gaz może migrować ze skał i minerałów oraz gruntu ku powierzchni – do powietrza atmosferycznego otwartych przestrzeni lub pomieszczeń budynków mieszkalnych oraz użyteczności publicznej (biurowce, szpitale, szkoły, kina, teatry itp.), jak również do podziemnych obiektów budowlanych (garaże, tunele itp.).

Stężenia radu w wybranych formacjach geologicznych [5]

Materiał	Stężenie Ra-226 [Bq/kg]		Stężenie Ra-228* [Bq/kg]	
	średnia	zakres	średnia	zakres
<i>Skaly magmowe</i>				
Sjenity	692	4–8930	5	2–3560
Granity	78	1–372	111	0,4–1025
Dioryty	40	1–285	49	2–429
Bazalty	11	0,4–41	10	0,2–36
Gabro	10	0,1–71	9	0,1–61
<i>Skaly pochodzenia osadowego</i>				
Wapień	25	0,4–223	7	0–45
Węgle	26	–	–	–
Piaskowce	19	–	–	–
Iły, ilolupki	50	14–198	35	8–223
<i>Skaly metamorficzne</i>				
Gnejsy	50	1–1835	60	0,4–421
Lupki	37	1–657	49	0,4–368

* Źródło toronu.

Duże znaczenie dla procesów migracji i wartości stężenia radonu w przyziemnej warstwie powietrza atmosferycznego i pomieszczeń budynków mają budowa geologiczna terenu, struktury sedimentacyjne, tektoniczne i erozyjne podłoża, których przejawami są wszelkiego rodzaju szczeliny, pęknięcia, kawerny i płaszczyzny nieciągłości. Niejednokrotnie mogą one mieć decydujące znaczenie, gdyż ze względu na ich ukierunkowany przebieg mogą umożliwić migrację radonu w określonym kierunku i na znaczenie odległości. Jeżeli skała jest spękana, radon może wydostać się do atmosfery, natomiast lita skała wiąże dużą część radioaktywnego gazu, znacznie utrudniając jego migrację.

Drugą przeszkodą mogącą utrudniać wydostanie się radonu na powierzchnię stanowi grunt. Niekiedy stężenie tego pierwiastka w przestrzeni międzyziarnowej gruntu wynosi dziesiątki tysięcy Bq/m³, a średnie stężenie w powietrzu atmosferycznym 5–10 Bq/m³. W przypowierzchniowych warstwach gruntu znaczenie mogą mieć: fugi międzywarstwowe, płaszczyzny uskokowe, pustki krasowe oraz przejawy tektoniki fałdowej.

W Polsce stężenie radonu w budynkach wynosi od kilkunastu do kilku tysięcy Bq/m³ w zależności od regionu, przy czym średnia dla Polski wynosi 32 Bq/m³. Problem zagrożenia radonowego powstaje wówczas, gdy gromadzi się on w pomieszczeniach zamkniętych budynków, w których w naszej strefie klimatycznej spędzamy ok. 80% czasu.

Znaczącym źródłem radonu w budynku są wyroby budowlane. Są one wytwarzane m.in. z surowców naturalnych zawierających uran i tor, a w konsekwencji rad, jak również z odpadów przemysłowych o zwiększonej zawartości pierwiastków promieniotwórczych – w efekcie procesów technologicznych, np. w popiołach i żużlach. Dlatego wprowadzone zostały normy określające maksymalne dopuszczalne zawartości radu Ra-226 i toru Th-228 jako izotopów macierzystych radonu w materiałach budowlanych (Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 2 stycznia 2007 r., Dz. U. Nr 42, poz. 276). W tabeli 2 podano źródła

radonu, mechanizm i prędkość wnikania do pomieszczeń mieszkalnych oraz procentowy udział dla modelowego budynku murowanego w klimacie umiarkowanym.

Tabela 2

**Udział różnych źródeł radonu w modelowym budynku murowanym
(źródło: UNSCEAR 1993) [7]**

Źródło radonu	Mechanizm wnikania	Prędkość wnikania [Bq/m ³ h]	Udział [%]
Podłoże		27,5	56
Materiały budowlane	dyfuzja, konwekcja emanacja, ekshalacja	10	21
Zewnętrzne powietrze atmosferyczne	transport	10	20
Woda wodociągowa	deemanacja	1	2
Gaz ziemny	spalanie	0,3	1

Wartości stężeń naturalnych izotopów promieniotwórczych występujących w gruntach i glebach mogą różnić się między sobą o kilka rzędów wielkości w zależności od naturalnych i sztucznie wytwarzanych warunków lokalnych (np. eksploatacja górnicza, elektrownie opalane węglem, składowiska odpadów przemysłowych i promieniotwórczych, intensywne nawożenie mineralne i in.).

Okres półrozpadu radonu Rn-222 wynosi 3,82 dnia, natomiast toronu Rn-220 55,6 s, dlatego też ten ostatni z powodu krótkiego okresu półrozpadu może migrować w skałach i minerałach tworzących grunty na stosunkowo niewielką odległość od 20 do 30 cm. W związku z tym jego stopień emanacji (uwalniania) i ekshalacji (wydzielania) z podłoża do wnętrza budynku jest niewielki i w praktyce pomijalny. Natomiast uwzględniany jest jako produkt rozpadu izotopu toru Th-228 będącego zanieczyszczeniem promieniotwórczym materiałów (wyrobów budowlanych).

Na skutek rozpadu promieniotwórczego gazu – radonu powstają 4 radioizotopy będące ciałami stałymi mającymi okresy półrozpadu krótsze niż 30 min (polon Po-218, ołów Pb-214, bizmut Bi-214 i polon Po-214). W związku z tym, jeżeli zostaną zdeponowane w układzie oddechowym człowieka, to jest prawdopodobne, że ulegną rozpadowi do radioizotopu ołowiu Pb-210, którego okres półrozpadu trwa 22 lata nim zostaną usunięte z płuc. Ocenia się, że pochodne radonu są drugim z kolei po paleniu tytoniu źródłem nowotworów płuc. Ryzyko zachorowania na raka płuc w zależności od średniej ekspozycji na radon w okresie całego życia przedstawiono w tab. 3.

Tabela 3

**Ryzyko zachorowania na raka płuc w zależności od średniego stężenia radonu
w pomieszczeniu mieszkalnym (źródło: UNSCEAR 1993) [7]**

Średnie stężenie radonu [Bq/m ³]	Ryzyko choroby [%]		
	ogółem	palący	niepalący
20	0,3	1	0,1
100	1,5	5	0,5
200	3,0	10	1,0
400	6,0	20	2,0

2.1. Uwalnianie radonu z gruntów (podłoża budowlanego) oraz z materiałów budowlanych

W procesie uwalniania, migracji i wydobywania się radonu z podłoża do powietrza w przyziemnej warstwie atmosfery lub do powietrza wewnątrz budynku, można wyodrębnić trzy etapy:

Etap 1 zwany **emanacją**, tj. uwalnianie się atomów radonu z ziaren skał i minerałów będących składnikami gruntu lub materiałów (wyrobów) budowlanych do przestrzeni międzyziarnowej. Emanacja radonu zachodzi na drodze odrzutu atomów i dyfuzji molekularnej, powstającego w następstwie rozpadu promieniotwórczego radu, znajdującego się w strukturach krystalicznych ziaren minerałów i skał. Miarą tego uwalniania jest współczynnik emanacji określający, jaki procent utworzonych w obrębie ciała stałego atomów radonu wydostanie się na zewnątrz.

Etap 2 zwany **transportem**, tj. migracją uwolnionego radonu w przestrzeni międzyziarnowej wypełnionej wodą, powietrzem gruntowym lub innym gazem. Odbywa się on głównie przez dyfuzję wynikającą z różnicy stężeń oraz przez prądy konwekcyjne wymuszone gradientem ciśnienia. Migracja radonu do powietrza atmosferycznego przebiega bezpośrednio albo z etapem pośrednim, związanym z przejściem radonu przez wody gruntowe i powierzchniowe.

Etap 3 zwany **ekshalacją**, tj. wydobywanie się radonu z gruntu lub z materiałów (wyrobów budowlanych) do powietrza w przyziemnej warstwie atmosfery lub z materiałów budowlanych do powietrza pomieszczeń budowlanych, a następnie jego dyspersja w powietrzu.

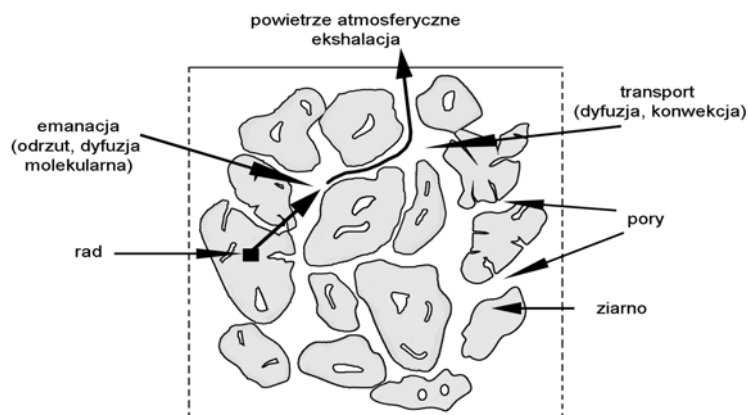
Jednym z najważniejszych parametrów gruntu, który musi być uwzględniony przy rozważaniu transportu radonu jest jego przepuszczalność dla cieczy i gazu, która zależy od:

- struktury i tekstury gruntu (wielkość i kształt składników mineralnych tworzących szkielet gruntu oraz ich wzajemne ułożenie),
- jednorodności uziarnienia,
- porowatości całkowitej i efektywnej gruntu – kształtu, rozmiarów porów, liczby porów, objętości porów faktycznie biorących udział w procesie filtracji danego medium,
- stanu zawilgocenia i zagęszczenia.

Wśród czynników mających wpływ na migrację radonu w podłożu gruntowym należy również wymienić: temperaturę, rozmieszczenie atomów radu w ziarnie, czas połowicznego rozpadu radu i radonu. Procesy powstawania radonu oraz czynniki wpływające na poziom stężenia i jego migrację w gruncie przedstawiono na rys. 2 i 3. Rozpuszczalność radonu w wodzie bywa przyczyną przemieszczania się tego gazu wraz z wodami gruntowymi na znaczne niejednokrotnie odległości od miejsca jego powstania.

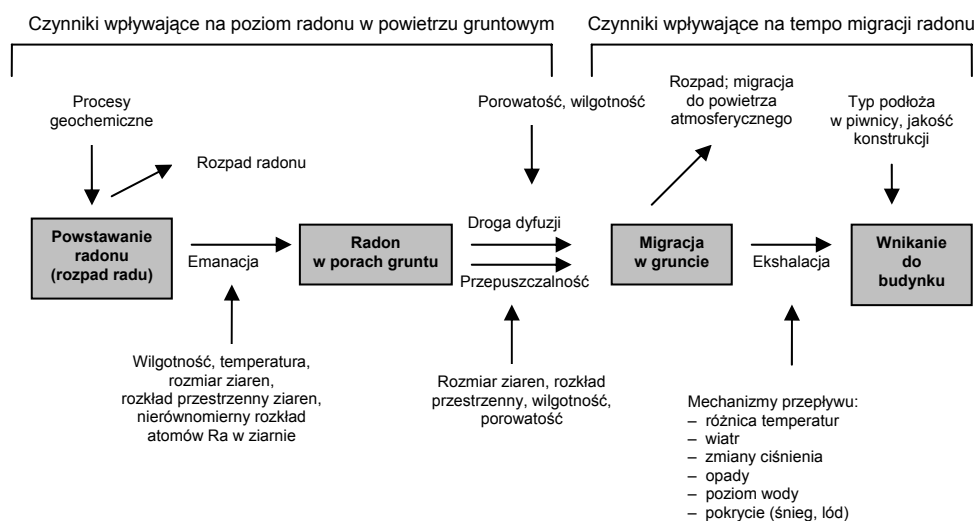
Tempo dyfuzji – a stąd i tempo ekshalacji radonu z gruntu do przyziemnej warstwy powietrza – zmienia się pod wpływem czynników meteorologicznych, takich jak: opady, mrozy i zmiany ciśnienia atmosferycznego. Wzrost takich parametrów będzie obniżał tempo ekshalacji radonu z gruntu. Zmierzone wartości tempa wydzielania radonu z gruntu zmieniają się od ok. 0,0002 do 0,07 Bq/m²/s.

Ponieważ transport radonu z gruntu w kierunku powierzchni jest funkcją wielu czynników, z tych też przyczyn oszacowanie wielkości przenikania radonu z gruntów na podstawie znajomości stężenia radonu w podłożu jest niezwykle trudne.



Rys. 2. Procesy uwalniania radonu z gruntu lub materiału budowlanego do powietrza atmosferycznego

Fig. 2. Processes of radon release from the soil or building materials



Rys. 3. Czynniki wpływające na poziom stężenia i migrację radonu w podłożu gruntowym

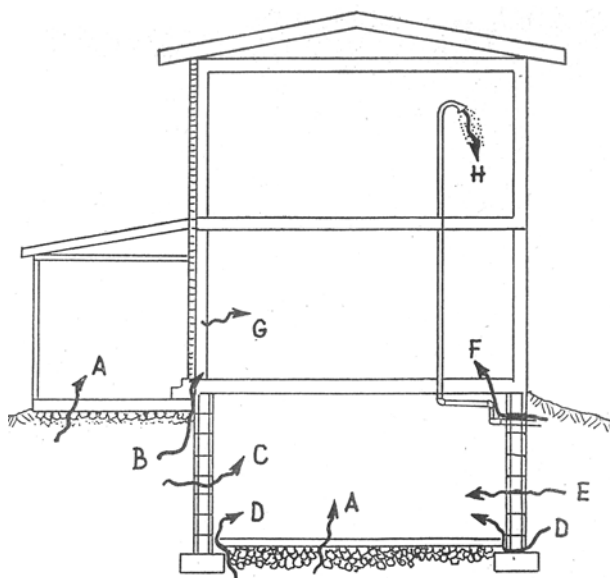
Fig. 3. Factors influencing the concentration level and radon migration in soil base

Przykładowo granit charakteryzujący się podwyższonymi stężeniami radu jest skałą mało przepuszczalną, w związku z tym radon wydobywający się z głębszych warstw podłoża może nie osiągnąć powierzchni przed rozpadem. Natomiast skały wapienne zbudowane są z minerałów porowatych, w których proces przenikania (transportu) wskutek dyfuzji czy też przez konwekcję jest dużo łatwiejszy, dlatego radon może przemieszczać się z głębszych warstw podłoża.

3. Techniki redukcji stężeń radonu w budynkach

3.1. Drogi wnikania radonu do budynków

Przewidywanie stężeń radonu w planowanym do budowy budynku jest skomplikowane, trudne i obarczone dużą dozą niepewności. Transport radonu z podłoża do wnętrza budynku następuje w wyniku dyfuzji oraz zasysania powietrza zawierającego radon w wyniku powstawania mechanizmu zwanego efektem kominowym. Mechanizm ten powoduje „przesączenie” powietrza z radonem przez mikroszczeliny i otwory konstrukcyjne w fundamentach, szczególnie w tych przypadkach, gdy budynek nie jest podpiwniczony. Radon wnika wtedy bezpośrednio do pomieszczeń mieszkalnych. Unoszenie się ciepłego powietrza działa jak pompa ssąca, wyciągając radon z podłoża, niższych kondygnacji oraz ze ścian. Typowe drogi wnikania radonu z podłoża to przede wszystkim: spękania w ścianach i szczelinach fundamentu, połączenia konstrukcyjne, nieszczelności infrastruktury podziemnej. Miejsca wnikania radonu do budynku mieszkalnego przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Drogi wnikania radonu do budynku mieszkalnego: A – szczeliny w fundamentach, B – połączenia konstrukcyjne, C i E – pory i pęknięcia w fundamentach, D – połączenia podłóg i ścian, F – nieszczelności w przewodach, G – materiały budowlane, H – woda używana w domu

Fig. 4. Ways of radon penetration into a house: A – cracks in foundations, B – construction joints, C and E – pores and cracks in foundations, D – floor and walls joints, F – leaks in ducts, G – building materials, H – water used in a house

Tereny wysokiego ryzyka radonowego obejmują ok. 10% powierzchni kraju o podłożu granitowym, pegmatytowym i łupkowym, gdzie stężenie radonu w gruncie jest większe niż 50 Bq/m^3 , a struktura jest dobrze przepuszczalna dla gazów. Na tych terenach (obszary południowo-zachodnie, południowe i południowo-wschodnie) niezbędne jest budownictwo

radon safe. Stężenie radonu w budynku zależy od wielu parametrów, nie tylko od stężenia radu jako prekursora w podłożu gruntowym.

W celu oszacowania zagrożenia radonowego w wielu krajach, w tym krajach UE, przed rozpoczęciem budowy określa się tzw. potencjał radonowy dla danego obszaru. Jest to zależność wynikająca ze stężenia radonu w gruncie oraz przepuszczalności gruntów. Znajomość typu podłoża pozwala oszacować od strony geologicznej występowanie obszarów o „podwyższonym ryzyku radonowym”.



Rys. 5. Schemat bezpieczeństwa radonowego dla obiektów mieszkalnych

Fig. 5. Radon protection scheme for housing objects

Na schemacie (rys. 5) przedstawiono możliwości uzyskania tzw. bezpieczeństwa radonowego dla obiektów mieszkalnych. Problem podwyższonych stężeń radonu w obiektach mieszkalnych dotyczy najczęściej:

- pomieszczeń na najniższych kondygnacjach ze względu na bliski kontakt z podłożem – głównego źródła radonu,
- pomieszczeń na wyższych kondygnacjach, gdzie wpływ na stężenie radonu w powietrzu mają materiały (wyroby budowlane), z jakich wykonane są ściany i stropy budynku oraz rodzaj pokrycia ścian.

Najskuteczniejszym sposobem ograniczenia lub wyeliminowania wnikania radonu z podłoża do wnętrza budynku jest właściwe zaprojektowanie obiektu mieszkalnego przez zastosowanie odpowiednich rozwiązań konstrukcyjnych i systemów przewietrzania.

3.2. Sposoby redukcji stężenia radonu

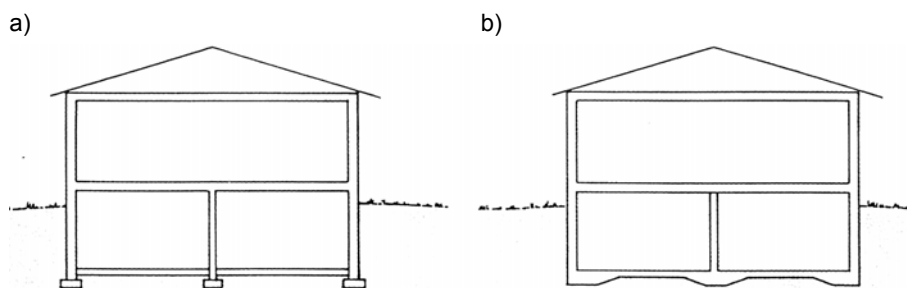
Istnieją następujące podstawowe techniki zmniejszania stężenia radonu w powietrzu wewnątrz budynku, które są stosowane w nowo budowanych i istniejących obiektach mieszkalnych. Są to generalnie:

- konstrukcja fundamentu, właściwa izolacja (uszczelnienia),
- podnoszenie ciśnienia w części mieszkalnej,
- wentylacja i depresja podłogowa,
- obniżenie ciśnienia powietrza w gruncie pod fundamentem.

Na etapie projektowania budynku

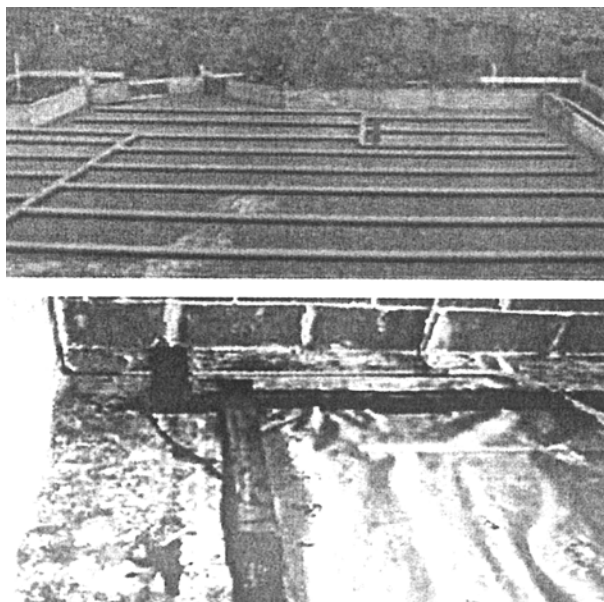
Na etapie projektowania budynku (w wyniku badań „potencjału radonowego”) wykonuje się w wielu krajach odpowiednie zabezpieczenia obiektu:

- **gruba, szczelna płyta fundamentowa i wymuszona wentylacja pod tą płytą z częścią wymianą gruntu pod fundamentem,**
- **specjalna konstrukcja fundamentów** ze wzmocnionymi krawędziami (typ II – rys. 6), która zapobiega powstawaniu nieszczelności pomiędzy płytą a ścianami, którymi radon może wnikać do wnętrza. Fundamenty tego typu wylewane są w postaci monolitycznej płyty. Płyta fundamentowa służy wówczas równocześnie za podłogę piwnicy,



Rys. 6. Konstrukcje fundamentów: a) fundament typu I, b) fundament ze wzmocnionymi krawędziami [1]

Fig. 6. Foundation constructions: a) foundation type I, b) with strengthened edges



Fot. 1. Układ wentylacji i izolacji fundamentów na etapie budowy [1]

Photo 1. Ventilation system and foundation insulation at the construction stage

– **uszczelnienie fundamentów i system wentylacji** jednocześnie, składające się z rur montowanych przed wylaniem płyty fundamentowej oraz układania mat izolacyjnych z odpowiednich materiałów. Na fotografii 1 przedstawiono system wentylacji oraz izolacji fundamentów. Zastosowanie bariery mechanicznej w postaci szczelnej izolacji części podziemnej budynku i uszczelnienia otworów, pęknięć w fundamentach, stropach i ścianach, szczelin w połączeniach różnych elementów konstrukcyjnych dolnej części budynku zmniejsza ilość radonu, który przenika z podłoża do przestrzeni mieszkalnej. Podstawowymi materiałami stosowanymi do tego celu są:

- geomembrany z tworzyw sztucznych (np. PE, PCV o grubości 3 mm), z określonym współczynnikiem przenikania radonu,
- materiały asfaltowe przeciwwodne i przeciwwilgociowe (lepiki, masy, papy),
- wyprawy i farby hydrofobizujące,
- zaprawy bezskurczowe, ekspansywne masy uszczelniające itp.

Należy zwrócić uwagę na wszelkie instalacje doprowadzające media do projektowanego budynku (m.in. rury kanalizacyjne, rury wodne, przewody gazowe, przewody zasilania, linie telefoniczne i in.). Przepusty powinny być zaprojektowane i wykonane ze szczególną starannością, aby ewentualne nieszczelności połączeń nie stwarzały dróg wnikania radonu do wnętrza.

Budynki istniejące

Redukcję stężeń radonu w istniejących budynkach można uzyskać przez:

- **usunięcie źródła radonu** – polegające na dokonaniu wymiany gruntu wokół budynku,
- **wyeliminowanie dróg przenikania radonu** – usunięcie nieszczelności w fundamentach, podłogach i ścianach (głównie piwnic bądź pomieszczeń mających bezpośredni kontakt z gruntem), uszczelnienie instalacji doprowadzających media, zastosowanie odpowiednich powłok izolacyjnych, wyrównanie ciśnień wewnątrz i na zewnątrz,
- **usunięcie radonu z budynku** – za pomocą odpowiedniego systemu wentylacji:
 - *podwyższenie ciśnienia* przez zastosowanie instalacji nawiewu z poddasza, wytwarzającej nadciśnienie w budynku w celu zmniejszenia wpływu efektu kominowego oraz wiatru. Wtłaczanie powietrza atmosferycznego do wnętrza budynku zapobiega zasysaniu radonu z podłoża,
 - *wentylacja przestrzeni podpodłogowej* – usuwa poza budynek radon, który przeniknął z podłoża, uniemożliwiając jego przejście do wyżej położonych pomieszczeń. Wentylacja taka wymaga istnienia przestrzeni podpodłogowej, którą można przewietrzać w sposób naturalny i wymuszony. Stosując wentylację o dostatecznej mocy, można zawsze obniżyć poziom radonu do wymaganego,
 - *depresja podpodłogowa* lub inaczej pułapka radonowa jest w zasadzie najskuteczniejszym czynnikiem redukującym stężenie radonu w budynkach, a przy wysokim jego poziomie, przekraczającym 700 Bq/m^3 , w praktyce jedynym. Pułapka radonowa jest właściwie wgłębieniem w kształcie studzienki (zwana studnią radonową) w gruncie pod budynkiem lub w jego piwnicy, z wentylatorem wyciągającym powietrze poza obrys budynku, a więc wytwarzającym we wgłębieniu podciśnienie. Taka pułapka wysysa radon z przestrzeni pod budynkiem przed jego przeniknięciem do wnętrza,
 - *wysysanie odpowiednią instalacją powietrza zawierającego radon spod płyty fundamentowej*. Ilość radonu wyciąganego z powietrzem zależy nie tylko od jego stężenia w powietrzu zawartym w gruncie i jego cech, ale również od konstrukcji budynku, a przede wszystkim od stanu elementów budowlanych ograniczających budynek od podłoża, na którym jest posadowiony. Wysysanie powietrza jest najbardziej wydajne w przypadku braku litej płyty betonowej pod budynkiem. Gdy płyta taka istnieje, to wysysanie zachodzi głównie przez szczeliny, pęknięcia i inne nieszczelności w tej płycie, np. w miejscach wejść rur i przewodów rozmaitych instalacji.

Bardzo często w sytuacji znacznych stężeń radonu w podłożu obniżenie jego stężenia wewnątrz budynku uzyskuje się, zwiększając stopień wymiany powietrza jednocześnie pod fundamentem, wokół niego oraz bezpośrednią wentylacją pomieszczeń (instalacja nawiewna i wywiewna).

W praktycznych zastosowaniach wyżej wymienionych metod, w istniejących budynkach, głównym czynnikiem utrudniającym wybór metody i wpływającym na skuteczność redukcji jest **różnorodność ich konstrukcji**.

W wielu starszych obiektach nie ma płyty betonowej, a w wielu innych brak jest podpiwniczenia. W takich konstrukcjach zarówno stosowanie uszczelnienia, jak i podciśnienia jest albo niemożliwe, albo zbyt kosztowne.

Poniżej przedstawiono przykłady różnych stosowanych rozwiązań, obniżających poziom radonu w obiektach mieszkalnych [1, 2, 4, 5].

1. Wymiana gruntu wokół budynku na grunt o dużo mniejszej zawartości izotopu Ra-226, z którego powstaje radon, pozwala na wyeliminowanie źródła tego gazu. Należy jednocześnie zastosować dodatkowe izolacje i drenaż.

Rys. 7. Schemat wymiany gruntu przy budynku: 1 – geomembrana, 2 – wymieniony grunt o zmniejszonej zawartości Ra-226, 3 – drenaż, 4 – materiał wypełniający i ochronny przed podciąganiem kapilarnym, 5 – miernik ciśnienia

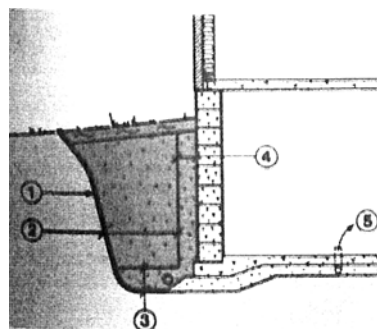
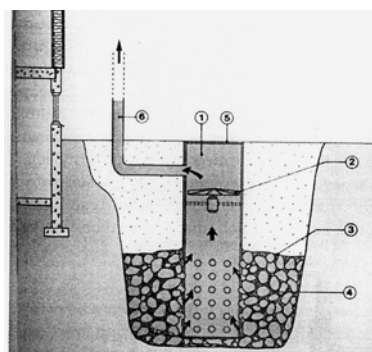


Fig. 7. Soil exchange scheme at a building: 1 – geomembrane, 2 – exchanged soil of Ra-226 lowered contents, 3 – drainage, 4 – filling and protective material against capillary pull up, 5 – pressure gauge

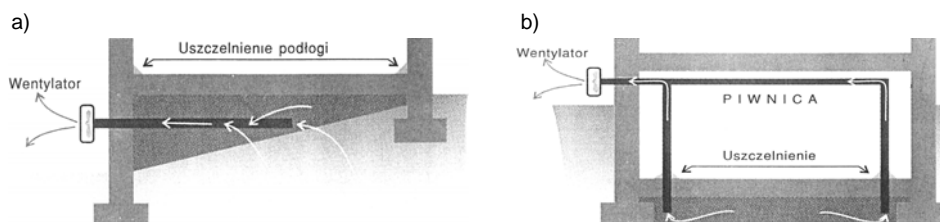
2. Obniżenie ciśnienia powietrza pod budynkiem przez wykonanie tzw. studni radonowej. Głębokość studni powinna być większa niż głębokość fundamentu, a przewód doprowadzający powietrze powinien być tak umieszczony, aby nie wprowadzał powietrza do budynku np. przez otwory okienne.



Rys. 8. Schemat studni radonowej: 1 – rura perforowana o średnicy 400–1000 mm, 2 – wentylator, 3 – izolacja, 4 – komora ssawna, 5 – pokrywa, 6 – przewód odprowadzający

Fig. 8. Radon well scheme: 1 – perforated pipe of 400–1000 mm in diameter, 2 – fan, 3 – insulation, 4 – exhaust fan chamber, 5 – cover, 6 – offtake

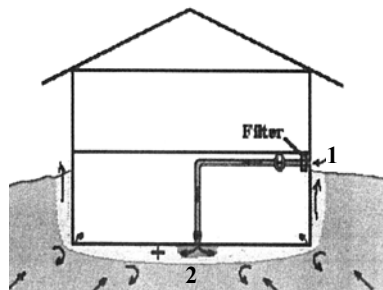
3. Skuteczną metodą usuwania radonu z podłoża w przypadku już istniejących starych budynków jest wysysanie odpowiednią instalacją powietrza zawierającego radon spod płyty fundamentowej, jak również z pomieszczeń piwnicznych.



Rys. 9. a) usuwanie powietrza zawierającego duże ilości radonu spod płyty fundamentowej, b) wysysanie powietrza zawierającego radon z piwnicy budynku wraz z doszczelnianiem widocznych pęknięć w podłodze

Fig. 9. a) Removing of air containing big amounts of radon from under foundation slab, b) drawing out radon containing air from a building cellar and caulking visible floor cracks

4. Utworzenie tzw. poduszki powietrznej pod fundamentem poprzez włączanie powietrza atmosferycznego ubogiego w radon.



Rys. 10. Schemat poduszki powietrznej: 1 – powietrze zasysane do systemu, 2 – „dołek dystrybucji ciśnienia” pod fundamentem

Fig. 10. Airbag scheme: 1 – air drawn into the system, 2 – “pressure distribution well” under the foundation

4. Uwagi końcowe

1. W Polsce nie ma jednoznacznych przepisów narażenia na promieniowanie jonizujące pochodzące od radonu. Sprawy te regulowane są obecnie w ramach różnych działów prawnych: kodeksu pracy, prawa atomowego, prawa górniczego i geologicznego, z tym że obecnie nie ma żadnych zaleceń dotyczących stężeń radonu w budynkach mieszkalnych. Wydaje się właściwe wprowadzenie regulacji prawnych analogicznych do tych, które obowiązują już w kilkunastu państwach, szczególnie tych, których budowa geologiczna, podobnie jak budowa geologiczna Śląska, sprzyja istnieniu dużych stężeń radonu w środowisku.
Istotne w tym zakresie powinno być utworzenie przepisów odnośnie do poziomów działania dla obiektów mieszkalnych.
2. Budowlane normy techniczne w krajach UE w celu zmniejszenia dopływu radonu zapewniają redukcję z najważniejszego źródła, jakim jest podłoże i są do zastosowania właściwie tylko w nowo budowanych obiektach mieszkalnych.
Wymagania mające na celu ograniczenie radonu w nowych budynkach są precyzowane w odpowiednich normach skierowanych do architektów i firm budowlanych. Nadzór nad ich przestrzeganiem należy do architektów miejskich i gminnych, którzy zatwierdzają plany budowlane i wydają zgodę na budowę obiektu mieszkalnego. W Polsce tego rodzaju zalecenia czy normy nie zostały jeszcze opracowane.
3. W Polsce, w przeciwieństwie do innych krajów, obszarów, na terenie których występuje wyższa koncentracja radonu (i emanacja z podłoża), jest stosunkowo niewiele. Są to głównie obszary Polski południowej. Aczkolwiek w skali kraju zagrożenie ludności od radonu nie stanowi poważnego problemu, to jednak w skali lokalnej, w jakiejś konkretnej miejscowości może zaistnieć sytuacja, że konieczne będzie podjęcie działań ochronnych.

4. Jedynym obowiązującym w Polsce aktem prawnym odnoszącym się pośrednio do występowania radonu w powietrzu budynków mieszkalnych jest Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 2 stycznia 2007 r. w sprawie wymagań dotyczących zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-228 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 42, poz. 276), wydane na podstawie ustawy z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe (Dz. U. z 2007 r. Nr 42, poz. 276, z 2008 r. Nr 93, poz. 583). Reguluje ono dopuszczalne stężenie radonu powstającego z izotopów radu i toru w materiałach budowlanych. Natomiast główne źródło radonu – grunt (powietrze gruntowe) nadal pozostaje poza kontrolą prawną.

Literatura

- [1] Clavensjö B., Akerblom G., *The Radon book. Measures against radon*, The Swedish Council for Building Research, Ljunglöfs Offset AB, Stockholm 1994.
- [2] Karpińska M., Mnich Z., Kapała J., *Radon w budynkach mieszkalnych*, Radon w środowisku życia, pracy i nauki mieszkańców Dolnego Śląska, Wyd. Polski Klub Ekologiczny, Wrocław 2006, 35-41.
- [3] Korzeniowska-Rejmer E., *Aktualne wymagania dotyczące zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych w odpadach przemysłowych i surowcach stosowanych w budownictwie i rekultywacji*, Materiały Sesji Naukowej: Zastosowanie odpadów przemysłowych i geosyntetyków w budownictwie ziemnym, Wyd. AR Kraków 2004, 249-258.
- [4] Kozak K., Mazur J., *Techniki redukcji stężeń radonu w budynkach*, Radon w środowisku życia, pracy i nauki mieszkańców Dolnego Śląska, Wyd. Polski Klub Ekologiczny, Wrocław 2006, s. 63-67.
- [5] Dane Państwowej Agencji Atomistyki na podstawie pomiarów Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej wykonywanych na zlecenie Głównego Inspektora Ochrony Środowiska (GIOŚ), 2006.
- [6] Raport pt. *Działalność Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki oraz Ocena Stanu Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Radiologicznej w Polsce w 2007 r.*, Warszawa 2007.
- [7] Raport Komitetu Naukowego ONZ-UNSCEAR (The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), 1993.
- [8] Główny Urząd Statystyczny, *Ochrona Środowiska 2007 r.*, Dział 7, Promieniowanie, Hałas.

Akty prawne

- [1] Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe (Dz. U. z 2007 r. Nr 42, poz. 276, z 2008 r. Nr 93, poz. 583).
- [2] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 2 stycznia 2007 r. w sprawie wymagań dotyczących zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-228 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 42, poz. 276).

- [3] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2008 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego (Dz. U. z 2005 r. Nr 20, poz. 168).
- [4] Ustawa z dn. 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony Środowiska (Dz. U. Nr 62, poz. 627 z późn. zm.).
- [5] Ustawa z dnia 4 lutego 1994 r. Prawo geologiczne i górnicze (Dz. U. z 2005 r. Nr 228, poz. 1947).
- [6] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (Dz. U. z 2003 r. Nr 207, poz. 2016 z późn. zm.).