

Radon – naturalny czynnik rakotwórczy na stanowiskach pracy

Radon (Rn-222) jest gazem promieniotwórczym naturalnie występującym w przyrodzie. Ma tendencję do gromadzenia się nie tylko w kopalniach i jaskiniach, ale także w budynkach, w szczególności w podziemiach, piwnicach i na dolnych kondygnacjach.

Podstawowe informacje o radonie

Według danych Światowej Organizacji Zdrowia radon to główny czynnik rakotwórczy, którym zagrożeni są niepalący. Dla palaczy tytoniu radon na liście czynników rakotwórczych zajmuje drugie miejsce, ale tylko dlatego, że na pierwszym miejscu jest dym papierosowy. Jednoczesne narażenie na dym tytoniowy i radon ma działanie synergistyczne, znacznie zwiększając ryzyko rozwoju nowotworów. Narażenie na radon w budynkach i miejscach pracy odpowiada za około 1/3 łącznej dawki promieniowania jonizującego (i około połowę dawki ze źródeł naturalnych), na którą jesteśmy narażeni. Warto dodać, że radon jest czynnikiem naturalnym, ale jego wysokie stężenia w budynkach naturalne już nie są!

Radon w przyrodzie powstaje w wyniku rozpadu radu (Ra-226), naturalnego pierwiastka promieniotwórczego, który jest składnikiem uranowego szeregu promieniotwórczego. Radon jest gazem szlachetnym, cięższym od powietrza, jest niewidoczny, bez zapachu i smaku. Jako izotop promieniotwórczy rozpada się poprzez emisję cząstki alfa na inne także promieniotwórcze izotopy, krótkożyciowe pochodne radonu: polon, bizmut i ołów (ryc. 1).

Źródłem radonu w atmosferze jest radon wydostający się z gleby, gdzie jego stężenia sięgają tysięcy bekereli na metr sześcienny. 1 Bekerel (Bq) to 1 rozpad promieniotwórczy atomu w ciągu 1 sekundy. Stężenie radonu na zewnątrz wynosi ok. 10 Bq/m³, a w budynkach może osiągać stężenia setek a nawet kilku tysięcy Bq/m³.

Głównym źródłem radonu w budynkach jest gleba, a ponadto: materiały budowlane, woda i gaz ziemny. Budowa domu wymaga „przebicia” wierzchniej warstwy gleby i dotarcia do jej głębszych warstw, gdzie stężenia radonu są bardzo wysokie. Różnica ciśnień występująca między otoczeniem a wnętrzem budynku powoduje „zasysanie” radonu z gruntu (tzw. efekt kominowy).

Drogi wnikania radonu do wnętrza domu to pęknięcia fundamentów, szczeliny i pęknięcia w wylewkach, studzienki kanalizacyjne do odwadniania piwnic, nieszczelności wokół rur kanalizacyjnych i innych przyłączy (ryc. 2).

Im wyższa kondygnacja tym większy wpływ na stężenie radonu w powietrzu wewnątrz budynku mają materiały, z jakich wykonane są ściany i stropy budynku oraz rodzaj pokrycia ścian. Istotne znaczenie ma technologia budowy domu. Przedostawanie się radonu do wnętrza budynków może ułatwiać powszechnie stosowana wentylacja grawitacyjna i efekt kominowy w sezonie grzewczym. Ogrzane powietrze, wydostając się z budynku poprzez mikrouchył w oknach oraz kratki wentylacyjne powoduje zmniejszenie ciśnienia w budynku i zasysanie powietrza z dolnych partii budynku, w tym z piwnic. Ułatwia to przedostawanie się do piwnic powietrza z gruntu zawierającego radon. W ten sposób stężenie radonu może osiągnąć duże wartości nawet w niektórych budynkach położonych na terenach, gdzie stężenie radonu w glebie jest małe, ale jest np. duża przepuszczalność gruntu lub występują uskoki tektoniczne.

dr hab. Krzysztof Kozak, dr Jadwiga Mazur

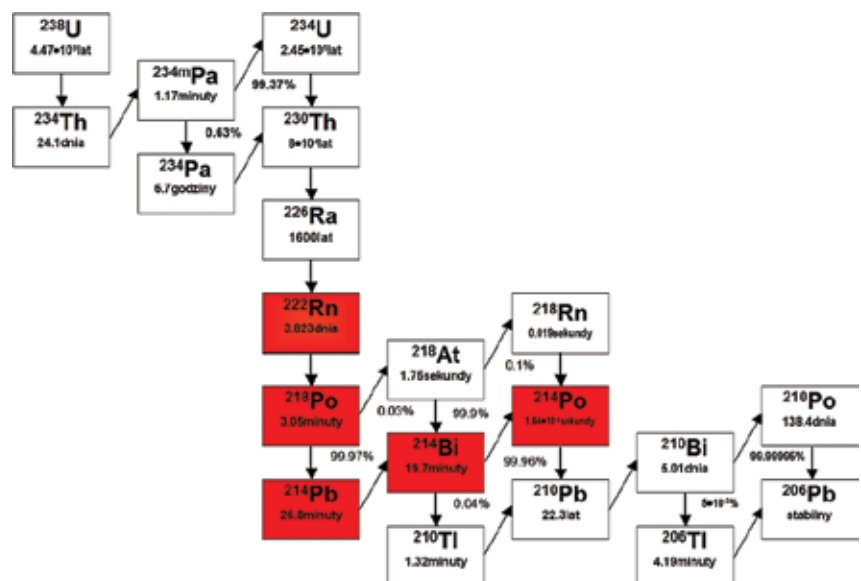
Laboratorium Ekspertyz Radiometrycznych, Instytut Fizyki Jądrowej PAN

Małgorzata Majka

Inspektorat BHP, Uniwersytet Jagielloński

Szkodliwe działanie radonu na człowieka

Radon jako gaz pozostaje w naszych płucach stosunkowo krótko, ale stale jesteśmy narażeni na jego działanie. Radon szybko się rozpada (czas półrozpadu to 3,8 dnia), a pochodne tego rozpadu łączą się z pyłami obecnymi w powietrzu, wnikają do układu oddechowego i płuc, stanowiąc zagrożenie wystąpieniem chorób nowotworowych układu oddechowego. Pochodne radonu nie deponują się jednolicie w układzie oddechowym – głębokość wnikania cząstki zależy od jej rozmiarów. Aerozole znajdujące się we wdychanym powietrzu często zatrzymywane są w górnych częściach układu oddechowego lub nabłonku płucnym, skąd mogą być usunięte w ciągu kilku godzin. Jedynie najmniejsze cząstki (o średnicy poniżej 0,1 μm) trafiają do pęcherzyków płucnych. Tam mogą pozostawać miesiące



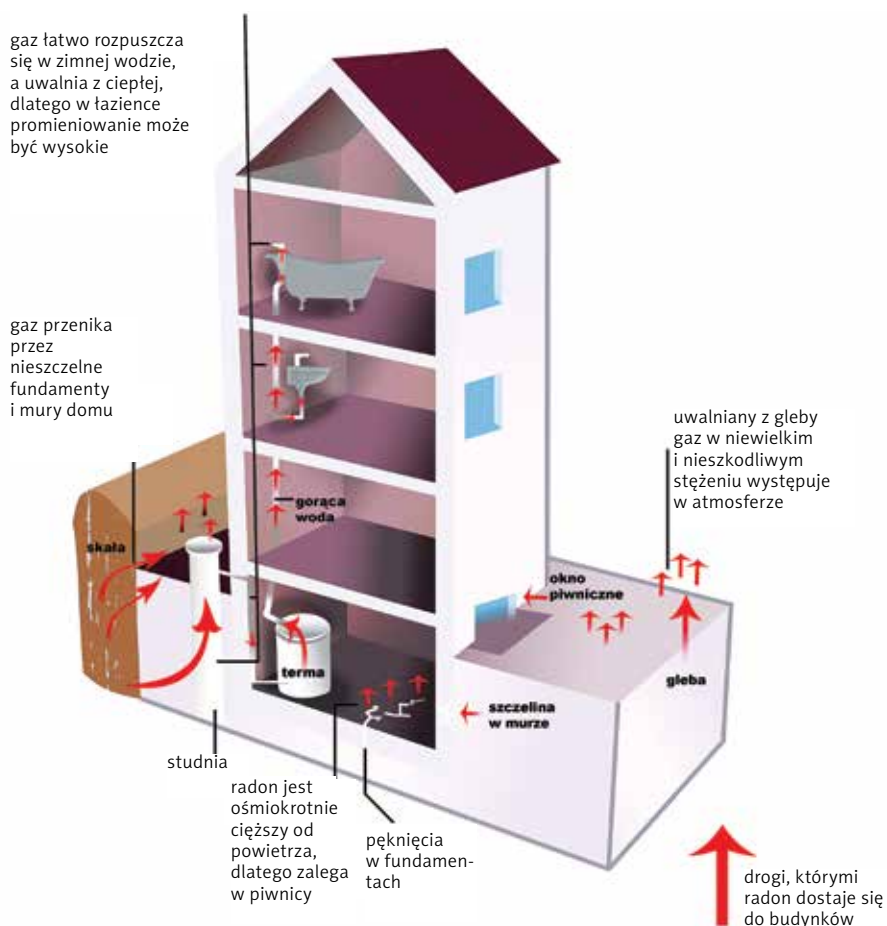
Ryc. 1. Szereg promieniotwórczy uranu (U-238)

lub lata prowadząc do napromieniowania organów wewnętrznych. Płuca są zatem najbardziej narażone na działanie radonu. Dawka otrzymana przez płuca w wyniku wdychania radonu zależy przede wszystkim od stężenia radonu we wdychanym powietrzu, stężenia pyłów obecnych w tym powietrzu (szczególnie o najmniejszych średnicach) oraz szybkości oddychania (co ma szczególne znaczenie w przypadku wykonywania fizycznej pracy).

Podstawowe normy bezpieczeństwa w odniesieniu do radonu

Najnowsza dyrektywa 2013/59/EURATOM² reguluje poziom stężenia radonu, powyżej którego zwiększenie ryzyka jest na tyle istotne, że wymaga to podjęcia kroków zmierzających do obniżenia tego stężenia w pomieszczeniu. W dokumencie tym za poziom odniesienia (reference level), którego nie należy przekraczać, przyjęto średnioroczne stężenie radonu równe 300 Bq/m^3 . Poziom ten dotyczy zarówno miejsc pracy, jak i domów mieszkalnych. Zalecenia dyrektywy miały być wprowadzone do prawa krajowego do lutego 2018 r.

W Polsce został przygotowany projekt nowelizacji ustawy Prawo atomowe³ w związku z koniecznością wdrożenia dyrektywy. W projekcie znalazły się ważne propozycje z punktu widzenia narażenia na radon w miejscach pracy. Jeden z przepisów mówi o tym, że pracodawca zapewnia pomiar stężenia radonu lub stężenia energii potencjalnej alfa krótkożyjących produktów rozpadu radonu w miejscach pracy zlokalizowanych pod ziemią oraz związanych z uzdatnianiem wody wydobywanej ze źródeł podziemnych. Pomiar taki musi być przeprowadzony także w miejscach pracy na poziomie parteru lub piwnicy na terenach, na których średnioroczne stężenie promieniotwórcze radonu w powietrzu w znacznej liczbie budynków może przekroczyć poziom odniesienia. Zgodnie z projektem nowych przepisów odnośnie do radonu w domach mieszkalnych nabywca lub najemca budynku, lokalu lub pomieszczenia, przeznaczonego na pobyt ludzi ma prawo żądać od zbywcy lub wynajmującego informacji o wartości średniorocznej stężenia radonu. Ustawodawca nakłada na ministra zdrowia obowiązek utworzenia tzw. planu radonowego dla Polski (radon action plan). Do tego celu potrzebne jest m.in. rozpoznanie „sytuacji radonowej”, czyli rozpoznanie terenów, gdzie w znacznej liczbie budynków może być przekroczony poziom odniesienia stężenia radonu. Obejmuje to także zebranie



Ryc. 2. Drogi wnikania radonu do budynku¹

wyników dotychczasowych pomiarów, wykonanie pomiarów przesiewowych, a przede wszystkim akcja informacyjna na terenie gmin, w tym szkolenia dla władz lokalnych, mieszkańców oraz dla firm budowlanych i deweloperów.

Narażenia na radon na stanowiskach pracy

Prawo atomowe określa kategorie narażenia zawodowego w zależności od dawki skutecznej promieniowania jonizującego otrzymanej przez pracownika w ciągu roku (tabela 1)⁴. Możliwość otrzymania określonej dawki promieniowania kwalifikuje daną osobę do odpowiedniej kategorii narażenia radiacyjnego A lub B, co wiąże się m.in. z koniecznością objęcia pracowników kontrolą dozymetryczną oraz obowiązkami związanymi z narażeniem na czynniki o działaniu rakotwórczym w środowisku pracy (minimalizowanie narażenia, rejestrowanie prac i pracowników narażonych, coroczne sprawozdania, uwzględnienie promieniowania jonizującego w badaniach lekarskich i programach szkoleń bhp).

W celu oszacowania narażenia zawodowego na radon należy przeprowadzić pomiary stężenia radonu w miejscach przebywania pracowników. Przy pracy stałej przyjmuje się, że roczny wymiar cza-

su pracy wynosi 2000 godzin, co wynika z 250 dni roboczych w roku i dziennego wymiaru czasu pracy wynoszącego 8 godzin dziennie. W tabeli 2 przedstawiono prognozowane dawki roczne promieniowania jonizującego na skutek inhalacji radonu w zależności od stężenia radonu i czasu pracy.

Obniżenie stężenia radonu można osiągnąć albo poprzez zwiększenie wydajności wentylacji, albo odizolowanie źródła radonu przez uszczelnienie podłoża.

Pracownicy podziemnych wyrobisk górniczych

Miejsca pracy zlokalizowane pod ziemią, takie jak kopalnie, są już objęte przepisami ochrony radiologicznej pracowników z uwagi na występowanie podwyższonych stężeń radonu i jego produktów rozpadu oraz specyficznych warunków wentylacyjnych panujących w podziemnych wyrobiskach górniczych. Ocena narażenia dokonywana jest na podstawie pomiarów dozymetrycznych w kopalniach. Prawo geologiczne i górnicze⁵ oraz akty wykonawcze także zawierają zagadnienia związane z ochroną przed naturalnym wzmożonym promieniowaniem jonizującym w górnictwie węgla kamiennego.

→ Obsługa podziemnych tras turystycznych

W Polsce funkcjonuje około 200 tras turystycznych w jaskiniach i grotach, zabytkowych kopalniach, podziemiach miast lub zabytkowych budowli, np. militarnych. Oszacowano, że obsługą takich tras może zajmować się nawet 1,5 tysiąca pracowników. Prawdopodobnie nie uwzględniono większości przewodników, gdyż najczęściej są to osoby na umowach cywilnoprawnych, samozatrudnione lub zrzeszone w organizacji obsługującej daną trasę jako firma zewnętrzna.

Wyobrażenie o narażeniu na radon pracowników obsługi podziemnych tras turystycznych dają wyniki badań stężenia radonu, przeprowadzonych przez Instytut Medycyny Pracy im. Noefera w Łodzi na 66 trasach w 259 punktach pomiarowych⁶. Średnia arytmetyczna stężenia radonu wyniosła 1610 Bq·dm⁻³; maksymalne zmierzzone stężenie wynosiło ponad 20 tys. Bq·dm⁻³. W 4 punktach wyniki przekroczyły poziom 10 000 Bq·dm⁻³. W 22 podziem-

nych trasach stwierdzono stężenie radonu przekraczające 1000 Bq·dm⁻³. Na 67% tras stężenie radonu nie przekraczało poziomu referencyjnego w pracy wynoszącego 300 Bq·dm⁻³. W przypadku sztucznych tras turystycznych obniżenie radonu może być zrealizowane za pomocą środków technicznych. Na trasach naturalnych jedynym sposobem ograniczenia narażenia pozostaje skrócenie czasu pracy pracowników.

Obsługa uzdrowisk z wodami radonowymi i uzdrowisk z wodami termalnymi

Radon uwolniony z wody do powietrza może być źródłem zagrożenia dla pracowników zatrudnionych przy wykorzystaniu wód mineralnych i termalnych. Zawartość radonu może być bardzo zmienna, zależna od pory roku i warunków klimatycznych. W Polsce najwyższe stężenia radonu odnotowano w Świeradowie Zdroju, wynoszące średnio ok. 3000 Bq·dm⁻³ (max 14 000, min 350 Bq·dm⁻³), podczas gdy np. w czeskim Jachymowie wielkość średnia wynosi ponad 60 000 Bq·dm⁻³, a w niemieckim Bad Brambach ponad 250 000 Bq·dm⁻³.

Instytut Medycyny Pracy im. Noefera w Łodzi⁷ przeprowadził badania pod kątem zagrożenia stwarzanego przez radon dla pracowników w polskich uzdrowiskach. W 2 uzdrowiskach stwierdzono stężenia przekraczające 1000 Bq·dm⁻³, co oznacza możliwość otrzymania przez pracowników dawek rocznych przekraczających 6 mSv. W 4 uzdrowiskach stwierdzano stężenia z przedziału od 500 do 1000 Bq·dm⁻³, a w kolejnych 7 uzdrowiskach stężenia z przedziału od 200 do 500 Bq·dm⁻³. Pracownicy tych uzdrowisk (około 160 osób łącznie) mogą być narażeni na dawki promieniowania istotne z punktu widzenia ochrony radiologicznej i wymagające systematycznej oceny ekspozycji na radon. W pozostałych 63 badanych uzdrowi-

skach średnie miesięczne stężenia radonu nie przekroczyły 200 Bq·dm⁻³. Kolejnymi badaniami objęto 9 uzdrowisk⁸ i tylko w 1 stwierdzono możliwość otrzymania przez pracowników dawki 3 mSv rocznie (kategoria narażenia radiacyjnego B). W pozostałych uzdrowiskach dawki rocznie nie przekroczyły wartości 0,6 mSv – a więc całkowicie bezpiecznej.

Instytut Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie prowadził pomiary stężenia radonu w uzdrowiskach z wodami termalnymi na Podhalu (Rabka Zdrój, Bukowina Tatrzańska i Szaflary)⁹. Stężenia radonu w wodach termalnych mieściły się w granicach 0,1–4,9 Bq·dm⁻³, a w powietrzu wewnętrznym tych obiektów od 20 do 92 Bq·dm⁻³. Nie prowadzi to do zagrożeń radiologicznych dla pracowników i kuracjuszy.

Należy oczekiwać, że po uchwaleniu zmian w polskim prawie atomowym zostaną określone szczegółowe obowiązki pracodawców w odniesieniu do radonu jako czynnika rakotwórczego w środowisku pracy. Badania przesiewowe prowadzone instytuty naukowe i przez uprawnione laboratoria już teraz wskazują, których pracodawców może to dotyczyć. ■

Tabela 1. Kategorie narażenia na promieniowanie jonizujące w odniesieniu do całego ciała

Roczna dawka skuteczna D [mSv]	Kategoria narażenia radiacyjnego
D ≤ 1	bez narażenia
1 < D ≤ 6	kategoria B
D > 6	kategoria A
D = 20	wartość graniczna dawki skutecznej w każdym pojedynczym roku
D = 50	wartość graniczna dawki skutecznej w pojedynczym roku pod warunkiem, że średnia dawka roczna w ciągu kolejnych 5 lat nie przekracza 20 mSv

Tabela 2. Prognozowane dawki roczne promieniowania jonizującego na skutek inhalacji radonu

Stężenie radonu [Bq·dm ⁻³]	Czas pracy rocznie [godz.]	Roczna dawka skuteczna [mSv]	Kategoria narażenia radiacyjnego
300	1000	0,9	Bez narażenia
300	2000	1,9	Kategoria B
1000	1000	3	Kategoria B
1000	2000	6	Kategoria A
2000	2000	13	Kategoria A
3000	2000	19	Kategoria A; możliwość przekroczenia wartości granicznej dawki rocznej 20 mSv
8000	2000	50	Przekroczona wartość graniczna dawki rocznej; możliwość przekroczenia wartości granicznej w pojedynczym roku 50 mSv

¹ Oprac. PK na podstawie: <http://www.newsweek.pl/polska/polska-radioaktywna,41519,1,1.html>

² Dyrektywa Rady 2013/59/Euratom z 5 grudnia 2013 r. ustanawiająca podstawowe normy bezpieczeństwa w celu ochrony przed zagrożeniami wynikającymi z narażenia na działanie promieniowania jonizującego oraz uchylająca dyrektywy 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom i 2003/122/Euratom.

³ Ustawa z 29 listopada 2000 r. – Prawo atomowe (t.j.: DzU z 2018 r., poz. 792).

⁴ Tamże, art. 17.

⁵ Ustawa z 9 czerwca 2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze (t.j.: DzU z 2017 r., poz. 2126, z zm.).

⁶ Olszewski J., Zmysłony M., Wrzesień M., Walczak K.: Występowanie radonu w polskich podziemnych trasach turystycznych. Med. Pr. 2015; 66(4): 557–563.

⁷ Olszewski J., Chodak M., Jankowski J.: Rozpoznanie aktualnego stanu narażenia na radon pracowników uzdrowisk w Polsce. Med. Pr. 2008; 59(1): 35–38.

⁸ Walczak K., Olszewski J., Zmysłony M.: Estimate of radon exposure in geothermal spas in Poland. Int. J. Occup. Med. Environ. Health. 2016; 29(1): 161–6.

⁹ Mullerova M., (Mazur J., Grządziel D., Kozak K.) et al.: Indoor radon activity concentration in thermal spas: the comparison of three types of passive radon detectors. J. Radioanal. Nucl. Chem. 2016; 310:1077–1084.



Inspiracją projektu okładki był powyższy artykuł.