

Zbigniew Paweł Zagórski

Bać się radonu?

Choć z radonem żyjemy od zarania dziejów, to dopiero w ostatnich latach zaczęliśmy go zauważać. Co więcej - prasa, radio i telewizja coraz częściej straszy nas tym pierwiastkiem.

W naturze istnieje w stanie mniej lub więcej bliskim równowagi cały szereg uranowy (ryc. 1), a w nim gazowy radon, który z łatwością, jako gaz szlachetny i w dodatku łatwo rozpuszczalny w wodzie, przenika przez warstwy geologiczne i w końcu przez glebę. Radon jest obiektem żywego zainteresowania geologów, również polskich w związku z występowaniem ogromnych stężeń tego nuklidu w wodach uważanych za lecznicze, np. w Świeradowie i Łądku Zdroju. Badanie wędrówek radonu ma również znaczenie czysto poznawcze dla nauk o Ziemi.

Powszechnie uważa się, że uran jest pierwiastkiem rzadko występującym w przyrodzie. Złoża o dużej zawartości tego pierwiastka, jak np. soczewka rudy uranowej w słynnym Cigar Lake w Kanadzie, są rzadkością. Natomiast sam uran jako pierwiastek jest wszechobecny na naszym globie (średnio 2 ppm, czyli 2 g na tonę w skorupie ziemskiej). W związku z tym radon też jest niemal wszędzie, jakkolwiek występuje z różną intensywnością.

Tuż po II wojnie światowej „tropiono” radon świadczący o obecności złóż uranu. Na ogromnych przestrzeniach północnej Kanady zakładano na noc pułapki z węglem aktywnym, by rano zmierzyć zawartość radonu w adsorbencie. Dziś uranu, podobnie jak innych surowców, szuka się nadal, choć metodami bardziej wyrafinowanymi.

W ostatnich latach wzrosło zainteresowanie radonem, ponieważ uważa się, że jest źródłem radioaktywnego skażenia domów, a więc stanowi zagrożenie zdrowia ich mieszkańców. Badanie tego zjawiska nie jest łatwe,

gdyż radon bywa bardzo kapryśny. Znany jest przypadek skażenia tym pierwiastkiem domku w jednym z osiedli austriackich, zbudowanego na niewidocznym uskoku tektonicznym. Właśnie szczeliną tego uskoku radon dostawał się do jego wnętrza. Do anegdotycznych już należy przypadek wykrycia rutynowym detektorem, przy wejściu do elektrowni jądrowej Limerick w USA, skażenia radonem pracownika, który przyniósł je na domowej odzieży. W cza-

się ewakuacji ludności z okolic Czarno-byla okazało się, że jedna z grup została przesiedlona w okolice znacznie bardziej skażoną, tyle że radonem, którego obecności tam nie podejrzewano.

Podstawą oznaczania zawartości radonu w otoczeniu jest pomiar radiometri czny. Łatwość wykrywania i ilościowego oznaczania promieniotwórczości opiera się właśnie na tym, że każdy rozpad nuklidu promieniotwórczego wyzwala dużą energię, która powoduje zmiany w otaczającej materii. Efekt ten można jeszcze wzmocnić, dzięki czemu osiągamy czułość pomiaru nieosiągalną żadną inną metodą. Zmiana w kryształku bromku srebra zostaje powielona w procesie wywołania, a kwanty świetlne wytworzone w scyntylatorze zostają zwielokrotnione w postaci prądu fotopowielacza itp. Pojedyncze bekerele w litrze powietrza powinny być więc łatwe do zarejestrowania. Okazuje się, że nie jest to takie proste, zwłaszcza że aktywność badanej próbki zmienia się w czasie wskutek różnych okresów półtrwania i energii emitowanego promieniowania. Ryc. 2 przedstawia symulację komputerową narastania i zaniku elementów łańcucha promieniotwórczego.

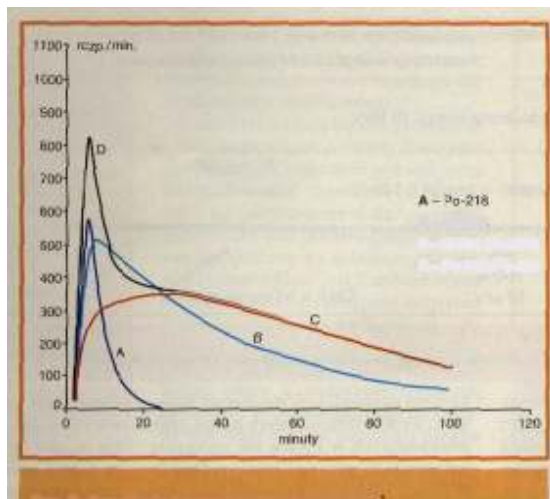
Mimo wielu trudności problem ten rozwiązano. W Polsce stymulatorem badań nad konstrukcją aparatów pomiarowych było górnictwo, domagające się przenośnego urządzenia, którego obsługa byłaby porównywalna z łatwością obsługi miernika metanu. Wymagała tego nie tylko ocena narażenia górników, ale również kontrola przewietrzania kopalni. W Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie opracowano taki przyrząd (ryc. 3).

Można oznaczać radon dokładniej, jednak zabiera to dużo więcej czasu i bardziej

skomplikowanej aparatury, jak np. komory Lu-casa, przedstawionej na ryć. 3. Jej istotą jest warstwa scyntylatora (najczęściej klasyczny siarczek cynku z dodatkiem srebra) oraz fotopowie-łącz zliczający poszczególne błyski. Przy okazji: jeżeli mamy gdzieś w domowych rupieciach siary (sprzed 50 lat) zegarek ze świecącymi cyframi i wskazówkami, to prawdopodobnie jest to farba radioaktywna. Po przystosowaniu oka do ciemności przez 15 minut przyłożmy do cyferblatu mocną lupę, by zaobserwować rozpady jąder atomowych. Wyrzucane w tym procesie cząstki pobudzają luminofor do świecenia.

Wiedząc, że radon skaża powietrze, pokażmy się oszacować, na co narażała się Maria Skłodowska-Curie. Rzecz jasna pracowała ona bez komór rękawicowych i przy słabym przewietrzaniu pomieszczeń, gdzie znajdowały się niemal gramowe ilości soli radowych krystalicznych oraz rozpuszczonych w roztworze, a więc materiał, z którego radon ulatniał się bardzo łatwo.

Jeżeli pobieramy np. 100 ml powietrza nasycanego radonem z naczynia zawierającego 200 kBq radu, czyli około 5 jg i rozprowadzamy je w objętości 1 m³, to uzyskujemy górną granicę dopuszczalnego stężenia radonu pozwalającego pracować przez 8 godzin. Nasza wielka rodaczka musiała więc oddychać powietrzem o zawartości radonu 10 min razy większej od dziś dopuszczanej. Przyjąwszy różne „okoliczności



łagodzące”, takie jak przybliżony sposób obliczeń, samorzutne wietrzenie pomieszczenia, niepełną absorpcję radonu i produktów jego rozpadu, dochodzimy do wniosku, że Maria Skłodowska-Curie musiała otrzymać niewiarygodnie dużą dawkę.

Można było to sprawdzić, badając radiometrycznie szczątki Marii, kiedy przenoszono je do Panteonu, jednak nie zgodziła się na to jej rodzina. Wyborowanie dziury w potrójnej trumnie i zbadanie aktywności powietrza, o czym donosiła prasa, nie miało większego sensu, a doprowadziło, niestety, do nieuzasadnionych wniosków, jakoby głównym narażeniem na promieniowanie jonizujące Marii Skłodowskiej-Curie był nie rad i polon, a jej praca przy

aparatach rentgenowskich na froncie I wojny światowej. Dodajmy, że córka Marii, Ewa De-nise Curie-Labouisse, narażona już w życiu płodowym na pro-

mieniowanie jonizujące, ma dziś 94 lata i cieszy się dobrym zdrowiem.

Zanim omówię wpływ radonu na żywy organizm, przyjrzyjmy się oddziaływaniu cząstek alfa emitowanych przez ten nuklid. Promieniowanie przenikliwe, jak gamma lub przyspieszone elektrony do energii 1 MeV, stosowane w obróbce radiacyjnej, zaznacza ślad swojej obecności w materii w ogromnych odstępach, których nie obejmuje ryć. 4. Dopiero mniejsze energie elektronów, jak pokazane zostało na rysunku, elektrony 40 keV, a tym bardziej cząstki ciężkie jak deuterony i alfa, zaznaczają swój

śląd bardzo gęsto. Szczególnie uwolnienie energii w bezpośredniej bliskości powoduje potężne zmiany chemiczne. Jak widać na rysunku, wyjątkowo niebezpieczne są pod tym względem cząstki alfa. W razie trafienia we fragment DNA następuje całkowita nieodwracalna jego destrukcja.

Uszkodzenia dominujące w przypadku promieniowań przenikliwych są najczęściej samonaprawialne, dzięki czemu życie na Ziemi przetrwało w znakomitej formie i to przystosowane do znacznie większych aktywności dawniej występujących, np. wskutek rozpadu potasu 40. Nie wchodząc głębiej w zagadnienia radiobiologii, poprzestańmy na stwierdzeniu, że promieniowanie gęsto jonizujące jest wielokrotnie groźniejsze od promieniowania przenikliwe-



go, np. emitowanego przez cez 137, uwolniony podczas katastrofy w Czarnobylu. Nie należy jednak zapominać, że promieniowanie mało przenikliwe, działając z zewnątrz, może uszkodzić tylko skórę. Szczególnie niebezpieczeństwo radonu polega jednak na tym, że przedostając się do płuc atakuje organizm bezpośrednio od środka, zwłaszcza gdy jest to wspomagane dymem z papierosów. Maria Skłodowska-Curie miała opory z przyjęciem istnienia gazu radioaktywnego i długo (jeszcze w czasie przyznawania jej pierwszej Nagrody Nobla) opowiadała się za koncepcją, że aktywacja materiału nieaktywnego następuje wskutek sąsiedztwa materiału radioaktywnego. To miało wpływ na higienę jej pracy. A przecież wystarczyłoby zwykłe dygestorium chemiczne (oszlona „szafa” z wyciągiem powietrza - przyp. red.) znane już wówczas, ale tego prostego urządzenia nie widać w dokumentacji laboratorium państwa Curie. Na domiar złego otwarte preparaty radu były rozstawione w całym pomieszczeniu, co dawało w ciemności piękne efekty świetlne, jak pisze Amerykanka Susan Quinn w swojej świetnej książce o Marii pt. Życie Marii Curie (niebawem ukaże się ona w serii „Na ścieżkach nauki” - przyp. red.). Głównym narażeniem Marii było więc wdychanie powietrza zawierającego radon, natomiast Piotra - noszenia i fridlszeniach preparatów - roznał licznych oparzeń, nic, na ile mogło to przy-ó~"It:go tragicznej śmierci, (łomo, zginął przejechany przez konną platformę, a dolegliwości o wodowane oparzeniami na pewno irzytepiały jego ostrożność. Spróbujmy opisać działanie radonu la ludzki organizm. Zwróćmy uwagę, że zauważalnych efektach można mówić iero wtedy, gdy dawki promieniowania przekraczają o kilka rzędów wielkości poziom uważany za bezpieczny. Wpływ małych dawek (poniżej 0.1 greja dla człowieka) jest obiektem spekulacji od paniki aż do przypuszczeń, że są ne wyjątkowo korzystne dla organizmu (E^{atrz}: Dobroczynne promieniowanie, 3/1997).

5 a człowieka na promieniowanie zależy od wielu czynników, m.in. od trybu życia, toteż dobrą orientację dają

badania epidemiologiczne dużych populacji. Wyniki skrupulatnych badań przeprowadzonych w Polsce nie wykazują katastrofalnego zagrożenia radonem. W latach 1985-1990 z powodu raka płuc zmarły na Górnym Śląsku aż 9624 osoby, wśród nich 8118 mężczyzn. W tej ostatniej grupie było 811 górników. Podobnie, na 1036 zmarłych na raka krtani 104 było górnikami. Być może w pozostałej grupie niektóre zgony można przypisać radonowi uwalnianemu w mieszkaniach, ale przy dużej zawartości uranu w polskim węglu, wyraźnie odbiegającej od ubogiego w uran za to bogatego w siarkę węgla w USA, przytoczone liczby nie wydają się szczególnie groźne. Uran i radon jako jego pochodna są obecne na Ryć. S. Autor artykułu przy źródle wody radonowej w Kudowie Zdroju. Leon Marchlewski (1869-1946), którego imieniem nazwano źródło, od roku 1906 był profesorem chemii lekarskiej na Uniwersytecie Jagiellońskim. Jego prace są cytowane do diii w światowej literaturze chemicznej



każdym etapie energetyki opartej na węglu - od wydobycia, poprzez wody kopalniane pompowane do rzek, pyły przechodzące do atmosfery w czasie spalania, pyły z filtrów i popioły, aż do materiałów budowlanych produkowanych z dodatkiem popiołów. Dodajmy, że duże ilości radonu emitowane są z nawozów fosforowych i odpadów tego przemysłu, takich jak fosfogipsy. Nie ma miejsca, by szczególnie zaznaczyć czytelników z wpływem radonu na zdrowie człowieka, a zwłaszcza na zachorowania na raka płuc. Za najlepsze dla syntezy naszej wiedzy na ten temat trzeba uznać prace międzynarodowych zespołów kierowanych przez J. H. Lubina z USA, opublikowane w trzech prestiżowych pismach w 1995 roku („Journal of National Cancer Institute”, „Health Physics” i „Radiation Research”). Badano dwie populacje skrajne - górników dołowych w kopalniach uranu i innych minerałów emitujących dużo radonu oraz osoby narażone na radon obecny w mieszkaniach. W pierwszej grupie zebrano dane epidemiologiczne obejmujące 1.2 mln osobo-lat (górników dołowych w Australii, Chinach, Czechach, Francji, Kanadzie, Szwecji i USA). Zanotowano w niej 2701 przypadków śmierci na raka płuc. U najbardziej narażonych górników około 40% tych zgonów można przypisać ekspozycji na działanie łańcucha radonowego. Badania uwzględniające inne czynniki wykazują, że radon jest w badanej populacji przyczyną 70% śmierci na raka płuc wśród osób nigdy nie palących, a także „tylko” 39% wśród palących. Jeżeli chodzi o radon obecny w mieszkaniach, to Lubin przypuszcza, że może on być przyczyną 10% śmierci na raka płuc. Radon można oskarżać o spowodowanie 11% zgonów na raka płuc wśród osób nigdy nie palących, ale o 30% śmierci wśród palaczy. A więc mamy do czynienia ze zjawiskiem synergii, czyli wzajemnego wzmacniania działania dwóch czynników szkodliwych. Zauważono to już wcześniej także w przypadku palaczy narażonych na wdychanie włókien azbestowych. Modele ryzyka opracowane przez Lubina stwierdzają, że zredukowanie stężenia radonu we wszystkich amerykańskich mieszkaniach do poziomu zalecanego przez EPA (Environmental Protection Agency), po-

Podobnie jak w innych państwach, również i w Polsce określono stężenia radonu mieszkaniowego, które nie powinny być przekraczane. Prezes Państwowej Agencji Atomistyki zarządził („Monitor Polski” nr 35 z 26 lipca 1995 roku. póź. 419), że dla budynków starych oraz tych, które powstaną przed 1 stycznia 1998 roku dopuszcza się 400 Bq/m³, a dla wybudowanych po roku 1998 już tylko 200. Oznaczenia stężenia radonu w mieszkaniach można wykonać rutynowymi dozymetrami przesyłanymi do zainteresowanych, a następnie interpretowanymi w odpowiednich laboratoriach (wszystko listownie, bez konieczności wizyty w mieszkaniu). Badania takie wykonuje odpłatnie m.in. Państwowy Instytut Higieny w Warszawie, Zakład Ochrony Radiologicznej i Radiobiologii, ul. Chocimska 24, 00-791 Warszawa, tel. 49-77-74, fax 49-29-64.

dobnego do nakazanego ostatnio u nas zarządzeniem prezesa Państwowej Agencji Atomistyki, mogłoby zmniejszyć liczbę zgonów na raka płuc o 2-4%.

Niewielkie efekty działania radonu doprowadziły nawet do pewnego rozdrożnienia myślenia o nim: czasem może być szkodliwy, a czasem błogo stawiony. To ostatnie dotyczy radoczynnych wód „leczniczych”. U nas przeżywają one rozkwit (ryt. 5) zapoczątkowany u zarania wieku promieniotwórczości. Pozytywnych efektów leczniczych trudno się doszukać, a powinny one być wyraźne, skoro np. źródło „Wojciech” w Łądku Zdroju wyrzuca co godzinę radon o aktywności miliona bekereli! O ile kuracjusze przebywają w uzdrowiskach dość krótko, to dawki otrzymane przez personel w Świeradowie i Łądku Zdroju wielokrotnie przekraczają uznane za bezpieczne. Szczegółowe badania personelu posunęłyby naszą wiedzę o radiobiologii działania radonu. Niestety, o ile mi wiadomo, nikt ich do tej pory nie przeprowadził.

Każdego nieprzyjaciela, nawet domniemanego, należy jednak raczej przeceniać niż lekceważyć. Niejasny wpływ radonu na nasze zdrowie sugeruje, by unikać, jeśli to możliwe, wdychania tego gazu. Wszelkie zalecenia muszą być jednak poprzedzone rozpoznaniem występowania radonu i wielkości jego emisji. Nie ulega wątpliwości, że elektroniczny miernik górniczy - opisany wcześniej - nie nadaje się do tego celu. Pomiar zawartości radonu w mieszkaniu takim przyrządem może doprowadzić do błędnych wniosków. Potrzebny jest więc raczej detektor uśredniający stężenie w dłuższych okresach, czyli w pewnym sensie sumujących dawkę. Wiele dozymetrów pracuje

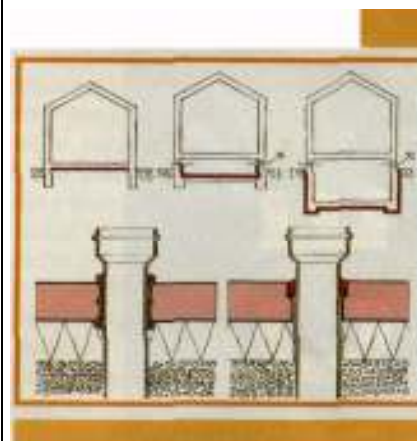
właśnie na tej zasadzie, np. błona fotograficzna, wywołana po dłuższym czasie ekspozycji, spełnia dobrze to zadanie dla promień iowań przenikliwych.

Doskonale nadają się dla promieniowań małego zasięgu polimery doznające niewidocznych uszkodzeń pod wpływem bombardowania cząstkami ciężkimi, czyli promieniowaniem korpuskularnym. Folia z poli (allilo-diglikolo-węgla-nu), wystawiona na działanie gazu zawierającego radon, jest bombardowana cząstkami alfa, a następnie trawiona stężonym roztworem wodorotlenku sodu przez kilka godzin. Po przemyciu i wysuszeniu w obrazie mikroskopowym widać wżery o charakterystycznych kształtach. Prostopadłe trafienie cząstka daje wżer kołowy, natomiast ukośne - kształt kropli (ryc. 6).

Obraz wżerów może wywołać panikę: czyż tak nie wyglądają nasze płuca po zaciągnięciu się radonem? Oczywiście, ale jeszcze gorzej wyglądają po zapaleniu papierosa, wskutek wdychania pyłów i wielu substancji obecnych w naszym otoczeniu. Gdyby nie mechanizmy obronne, to życie - nie tylko ludzkie - szybko by zamarło. Przed działaniem produktów rozpadu radonu dobrze broni nas dość szybka naturalna wymiana komórek błony śluzowej.

Folie do oznaczania radonu cieszą się ogromną popularnością, ponieważ nie sposób sprzedać domu w USA bez analizy w jego piwnicach stężenia radonu. Dokładne przesledzenie miejsc ukazywania się radonu w domu wymaga nawet kilkadziesiąt dozymetrów. Głośny jest przypadek domostw we wsi Umhausen, w dolinie Otztal w Tyrolu, gdzie stężenie radonu dochodziło do 270 kBq/m³, czy h prawie tysiącrotnie przekraczało uznane za dopuszczalne. Progi wędrowni tego gazu można jednak odciąć, co pokazuje ryc. 7. Najprostsza radą jest zalecenie jak najczęstsze wentrowania mieszkań.

Ostatnio pojawia się wiele publikacji dziennikarskich na temat radonu, które podobnie jak artykuły o katastrofie w Czarnobylu i jej skutkach gmatwają sprawę. O radonie wypowiadają się działacze różnych towarzystw psychotronicznych, pogłębiając chaos informacyjny. Niektórzy autorzy prawdopodobnie świadomie przekraczają informacje. Dziennikarka „Trybuny Śląskiej” w numerze z 16.09.1994 r. napisała, że *polowa dzieci śląskich choruje na nowotwory spowodowane radonem*. Tymczasem oryginalna informacja, na którą się powoływała, mówiła, że *być może polowe wszystkich dziecięcych nowotworów na*



Ryc. 7. Skandynawowie radzi, fok bronie się przed radonem: odizolować domek od ziemi, a niezbędne przepusty uszczelnić

Śląsku można przypisać radonowi. Warto podkreślić, że i to stwierdzenie jest raczej wątpliwe. Związek radonu z zachowaniem na nowotwory moim zdaniem nigdy nie będzie udowodniony z taką pewnością statystyczną jak wspomniany wpływ palenia tytoniu.

Często autorzy pomijają wiadomości, które nie pasują im do założonego obrazu katastroficznych skutków działań ludzkich. Nie zauważyłem, by przy okazji opisywania skutków Czarno by l a któryś z dziennikarzy dostrzegł, że erupcja wulkanu Mt. St. Helens w USA w roku 1980 spowodowała wyrzut 1.1 x 10¹⁷ bekereli radonu (czyli około 3 min kiurów), który dla wszystkich form życia jest znacznie szkodliwszy niż uwolnione, mniej groźne izotopy w pożarze czarnobylskim!

ZBIGNIEW PAWEŁ ZAGÓRSKI

Prof. dr hab ZBIGNIEW PAWEŁ ZAGÓFSKI pracuje w Instytucie Chemii (Techniki Jądrowej w Warszawie