

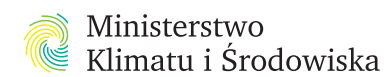
# RADON I JEGO ŹRÓDŁA

PRZEWODNIK  
MŁODEGO ODKRYWCY



# RADON I JEGO ŹRÓDŁA

PRZEWODNIK MŁODEGO ODKRYWCY



Warszawa 2020

**Autorzy: Zuzanna Podgórnka, Iwona Słonecka, Łukasz Koszuc**

Skład tekstu: Łukasz Koszuc

Korekta: Iwona Słonecka

Radon i jego źródła. Przewodnik młodego odkrywcy

Wydanie I, 2020

Wydawca:

**Fundacja FORUM ATOMOWE**

**ul. Złota 7 lok. 18**

**00-019 Warszawa**

**www.forumatomowe.org**

**fundacja@forumatomowe.org**

ISBN: 978-83-960557-5-0

Wydano na zlecenie Ministerstwa Klimatu i Środowiska

Wszelkie prawa zastrzeżone. Nieautoryzowane rozpowszechnianie całości lub fragmentu niniejszej publikacji w jakiegokolwiek postaci jest zabronione. Wykonywanie kopii metodą kserograficzną, fotograficzną, a także kopiowanie książki na nośniku filmowym, magnetycznym lub innym powoduje naruszenie praw autorskich niniejszej publikacji.

Zdjęcia: ©Fotolia, Radonova, Freeimages.com, IAEA Imagebank, njraddonmitigation.com, orau.org

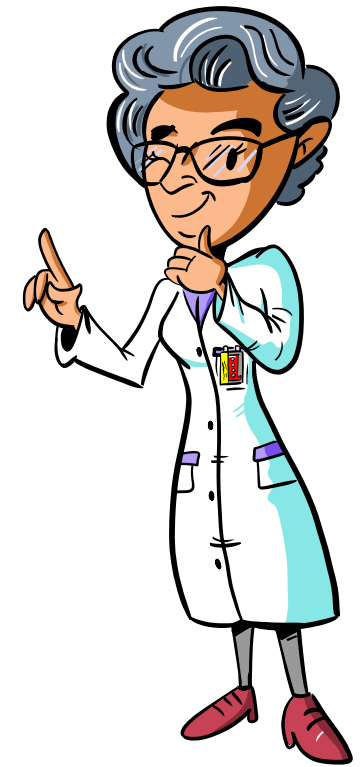
Copyright © 2020 Fundacja FORUM ATOMOWE, Ministerstwo Klimatu i Środowiska

*Drogi Czytelniku!*

*Zapraszam Cię do lektury niezwykłego przewodnika, dzięki któremu dowiesz się wiele na temat radonu, jego źródeł i wpływie na Twoje zdrowie!*

*Radon jest naturalnie występującym, promieniotwórczym gazem szlachetnym, który powstaje w wyniku przemiany promieniotwórczej radu. Radon występuje w powietrzu, glebie i w wodzie. Nie jest to pierwiastek trwały. Rozpada się emitując promieniowanie jonizujące, a konkretnie promieniowanie alfa, charakteryzujące się stosunkowo niewielką przenikliwością i zasięgiem oddziaływania. Największa część naszej „naturalnej dawki promieniowania” pochodzi właśnie od radonu i radioaktywnych produktów jego rozpadu, które wdychane są przez nas razem z powietrzem.*

*Wiedza na temat radonu i jego wpływie na nasze zdrowie jest bardzo ważna, a monitoring radonu w pomieszczeniach codziennego użytku. staje się coraz bardziej popularny.*



**Spis treści:**

Promieniotwórczość i promieniowanie jonizujące | 6

Naturalne i cywilizacyjne źródła promieniowania jonizującego | 8

Radon i jego źródła. Czy radon wpływa na nasze zdrowie? | 12

Jak zmierzyć radon? | 17

Dlaczego tworzymy mapy radonowe i jaki jest cel naszego projektu? | 20

Ciekawostki rado(no)we | 21

Gdzie znaleźć więcej informacji? | 23

# Promieniotwórczość i promieniowanie jonizujące

Promieniotwórczość? Naukowcy tym terminem określają występujące w naszym środowisku naturalne lub wywołane sztucznie przemiany jąder atomowych, w których emitowana jest energia w postaci różnych rodzajów promieniowania.

Jak można sobie wyobrazić tę przemianę pierwiastków? To trochę tak, jak gdyby brzoskwinia leżąca na stole nagle wyrzuciła z siebie pestkę i przez to stała się jabłkiem, a kropla rtęci zmieniła się w ziarenko złota. W naszym codziennym świecie brzmi to jak magia - w świecie atomów takie i podobne przemiany są jednak możliwe.

Promieniowania nie możemy zobaczyć, poczuć, usłyszeć, powąchać ani posmakować, dlatego do pewnego czasu nikt nie wiedział, że ono istnieje. Jak dokonano tego odkrycia? Prawdopodobnie był to przypadek: pod koniec XIX wieku francuski fizyk Henri Becquerel eksperymentował z zawierającymi uran próbkami skały i odkrył przy tym, że skała wysyła dziwne promieniowanie, które docierało przez opakowanie do emulsji fotograficznej i zaczerniała ją. Była to pierwsza obserwacja zjawiska promieniotwórczości. Dziś wiemy, że wśród pierwiastków występujących w przyrodzie, około 42 pierwiastki mają łącznie ponad 90 naturalnych izotopów radioaktywnych.

Rozróżniamy dwa typy promieniowania: **niejonizujące** i **jonizujące**. Promieniowanie niejonizujące nie ma wystarczającej energii, by wybić elektrony z atomów, gdy na nie pada. Promieniowanie słoneczne, fale radiowe i sygnały z telefonów komórkowych są przykładami promieniowania niejonizującego. Jednak może nadal powodować szkody, na przykład przy długim opalaniu. Promieniowanie jonizujące jest rodzajem promieniowania, o którym większość ludzi myśli, gdy słyszy słowo „promieniowanie”. Promieniowanie jonizujące może wybić elektrony z atomu, tworząc naładowane elektrycznie cząstki, zwane jonami. Z tego powodu może być ono niebezpieczne.

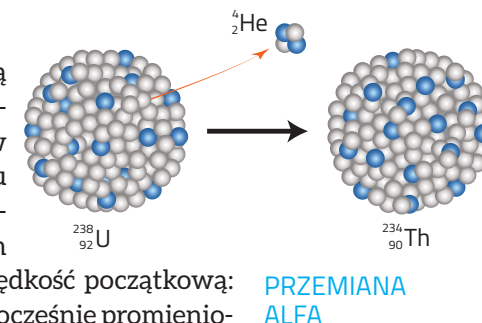
Trzy główne typy promieniowania jonizującego to cząstki alfa, beta oraz promieniowanie gamma. W jaki sposób są one wytwarzane? W izotopie promieniotwórczym pojedyncze jądra atomowe przekształcają się w inne jądra, ponieważ posiadają pewną nadwyżkę energii, na przykład są one „zbyt ciężkie”, czyli mają za dużo neutronów, aby mogły być trwałe. Mogą pozbywać się nadwyżki energii wysyłając na przykład elektrony, czyli promieniowanie beta albo paczki z neutronów i protonów, czyli cząstki alfa. Można wykazać istnienie tych wysyłanych cząstek za pomocą specjalnych urządzeń - detektorów, można je między innymi zaobserwować w komorze mgłowej.

Nikt nie jest w stanie przewidzieć, kiedy określone jądro atomowe ulegnie przemianie (rozpadowi). Może ona nastąpić np. za sekundę, jutro lub za 10 000 lat. Jedno jednak można z całą pewnością przewidzieć: ze 100 000

jąder radu dokładnie po 1620 latach 50 000, czyli 50% ulegnie przemianie. Minie nawet 4,5 miliarda lat, zanim połowa jąder bryły uranu U-238 ulegnie rozpadowi. Czas, po którym połowa jąder danego izotopu promieniotwórczego ulegnie przemianie, nazywamy **czasem połowicznego rozpadu**. Jest to bardzo ważna właściwość izotopów promieniotwórczych, o której będziemy wielokrotnie wspominać w tej książce. Czasy połowicznego rozpadu, w zależności od izotopu, mogą być bardzo różne, od ułamków sekundy do miliardów lat.

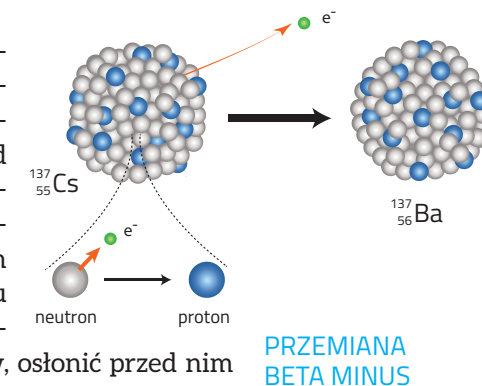
## Promieniowanie alfa

Przy rozpadzie alfa duże jądra atomowe wyrzucają z siebie jądra atomu helu-4, zwane **cząstkami alfa**. Składają się one z dwóch dodatnio naładowanych protonów i dwóch obojętnych neutronów. Przykładem izotopu emitującego promieniowanie alfa jest uran-238. Cząstki alfa emitowane w rozpadach typowych naturalnych izotopów promieniotwórczych mają całkiem dużą prędkość początkową: od 15 000 do 20 000 kilometrów na sekundę! Ale równocześnie promieniowanie to ma mały zasięg i można się przed nim osłonić za pomocą kartki papieru czy cienkiej folii aluminiowej.



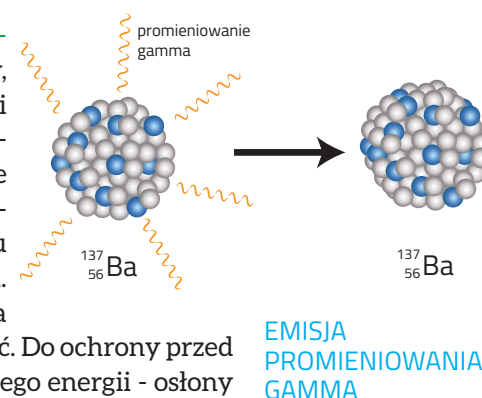
## Promieniowanie beta

Jądra atomowe mogą emitować także ujemnie naładowane elektrony, zwane **cząstkami beta minus**. Mówimy wówczas o rozpadzie beta minus (istnieje także rozpad beta plus, ale jest to zjawisko o wiele radsze wśród naturalnych nuklidów promieniotwórczych). Elektrony powstają w jądrze atomowym z przemiany neutronów w protony. Proton pozostaje w jądrze, a elektron jest wyrzucany. Tak dzieje się na przykład w przypadku cezu-137, powstaje wówczas bar-137. Zasięg promieniowania beta może wynosić w powietrzu kilka metrów, osłonić przed nim mogą płytki aluminiowe, lub warstwa tworzywa sztucznego o grubości kilku milimetrów.



## Promieniowanie gamma

Promieniowanie gamma jest **rodzajem fal elektromagnetycznych** o dużej energii, występuje m.in. wtedy, gdy podczas rozpadu alfa lub beta pozostałe po emisji jądro atomowe pozbywa się nadmiaru energii. Promieniowanie gamma powstaje także, gdy jądro atomowe przechodzi ze stanu o wysokiej energii do stanu o energii niższej. Ma o wiele większy zasięg w środowisku niż promieniowanie alfa czy beta o tej samej energii. W przeciwieństwie do posiadających masę cząstek alfa lub beta, promieniowania gamma nie można zatrzymać. Do ochrony przed promieniowaniem gamma potrzebne są - zależnie od jego energii - osłony ołowiane o grubości co najmniej 20 centymetrów albo ściany betonowe o grubości co najmniej jednego metra.



ZNAK OSTRZEGAJĄCY PRZED ŹRÓDŁAMI PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO

# Naturalne i cywilizacyjne źródła promieniowania jonizującego

Licznik Geigera to najprostsze urządzenie służące do detekcji promieniowania jonizującego. Kiedy świadomie trzyma się go tak, że nie jest zwrócony w kierunku żadnego oznaczonego źródła promieniotwórczego, lecz na przykład gdzieś „w powietrze”, to mimo wszystko licznik „tyka” dalej. Skąd bierze się promieniowanie jonizujące, które rejestruje licznik? W istocie pochodzi z trzech źródeł: z promieniowania kosmicznego, z naturalnych radioizotopów w powietrzu (przede wszystkim produktów rozpadu radioaktywnego radonu) i wreszcie z naturalnych materiałów radioaktywnych obecnych w skorupie ziemskiej, w naszym ciele czy w obudowie licznika. Do każdego z nas może również docierać promieniowanie jonizujące, będące wynikiem działalności ludzkiej – nazywamy je „antropogennym”, lub „sztucznym”.

## Promieniowanie kosmiczne

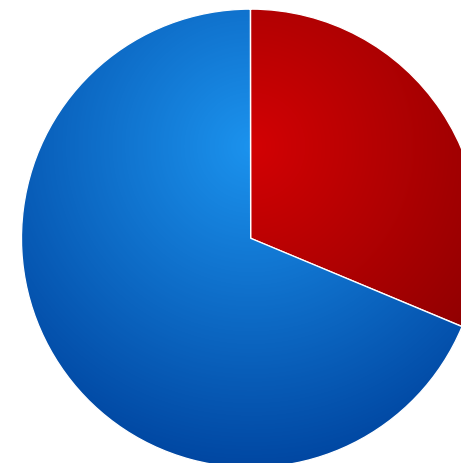
Promieniowanie kosmiczne odkryte zostało już w 1912 roku. Dziś wiadomo, że jest wiele jego źródeł – część pochodzi ze Słońca, część z wybuchów gwiazd supernowych czy np. z procesów zachodzących, być może, wokół czarnych dziur, kwazarów i gwiazd neutronowych, w wyniku których obserwujemy promieniowanie rentgenowskie czy gamma. Promieniowanie Wszechświata składa się z promieniowania elektromagnetycznego o najróżniejszych energiach oraz cząstek: protonów (87%), jąder helu (11%), elektronów (~1%); z niewielkim udziałem (~1%) jąder cięższych od helu aż do uranu. Cząstki te zderzając się z składnikami atmosfery, powodują różne reakcje jądrowe i wytwarzane są przy tym nowe rodzaje promieniowania jonizującego, tzw. „wtórne” promieniowanie kosmiczne: neutrony, elektrony, miony, piony oraz oczywiście promieniowanie elektromagnetyczne. Promieniowanie kosmiczne, które mierzy się na poziomie morza, składa się praktycznie w całości z tego promieniowania wtórnego: wśród cząstek ~80% stanowią miony, ~20% elektrony.

## Naturalne izotopy promieniotwórcze

W skorupie ziemskiej, w atmosferze, w wodzie oceanów znajdują się pewne ilości naturalnych izotopów promieniotwórczych. Skąd się biorą? Pochodzą przede wszystkim z okresu powstawania Ziemi, ponieważ znalazły się w proto-Ziemi podczas skupiania się gazów i pyłów z gwiazdnych wybuchów gwiazd supernowych. Z powodu czasu połowicznego rozpadu porównywalnego z wiekiem Ziemi (~4,5 miliarda lat) większość z tych izotopów istnieje do dziś i wciąż wysyła promieniowanie jonizujące. Z powodu istnienia naturalnych źródeł promieniotwórczych niemalże wszędzie można stwierdzić obecność promieniowania alfa, beta i gamma, w ilości oczywiście zależnej od otoczenia. Największa część naszej „naturalnej dawki promieniowania” pochodzi od gazu radonu i radioaktywnych produktów jego rozpadu, które wdychane są razem z powietrzem (przede wszystkim

63,5%  
Źródła naturalne

- 31,1% - radon
- 12,3% - promieniowanie gamma od izotopów naturalnie występujących na Ziemi
- 10,1% - promieniowanie kosmiczne
- 7,3% - promieniowanie wewnętrzne
- 2,6% - toron



36,5%  
Źródła sztuczne

- 36,3% - diagnostyka medyczna
- 0,1% - awarie w przemyśle jądrowym
- 0,2% - inne

UDZIAŁ RÓŻNYCH ŹRÓDEŁ PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO W CAŁKOWITEJ DAWCE PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO OTRZYMANEJ PRZEZ STATYSTYCZNEGO MIESZKAŃCA POLSKI W 2019 R., ŹRÓDŁO: PAŃSTWOWA AGENCJA ATOMISTYKI

kim podczas pobytu w piwnicach i jaskiniach) oraz od izotopu potasu K-40, który znajduje się zarówno w glebie jak i w ciałach ludzi lub zwierząt - na przykład w mięśniach. Również skały mogą w niektórych okolicach mieć duży wkład do „naturalnej dawki promieniowania”.

## Cywilizacyjne źródła promieniowania

Nie należy lekceważyć ekspozycji na promieniowanie jonizujące pochodzenia „cywilizacyjnego” – lub dokładniej: ekspozycji na promieniowanie jonizujące, którego źródłem są radioaktywne izotopy i inne źródła promieniowania, które nie istniałyby bez zamierzonej, lub niezamierzonej działalności człowieka. W Europie jest ona mniej więcej tak samo wysoka, jak dawka promieniowania ze źródeł, które już i tak znajdują się w przyrodzie. Największy udział w tym mają procedury medyczne – np. diagnostyka rentgenowska i radiofarmaceutyki.

Inne źródła stworzone przez człowieka są związane z technologią. Węgiel, który spalamy w elektrowniach i piecach domowych zawiera występujące naturalnie izotopy promieniotwórcze, a zatem są one również w dymach i popiołach. Materiały budowlane, takie jak cegła i kamień, również emitują naturalne promieniowanie tła, czyli nasze domy, szkoły i fabryki są źródłem promieniowania. Pewną śladową ilość promieniowania jonizującego otrzymujemy z energetyki jądrowej, jest ona jednak znacznie mniejsza niż pochodząca ze źródeł naturalnych i medycznych.

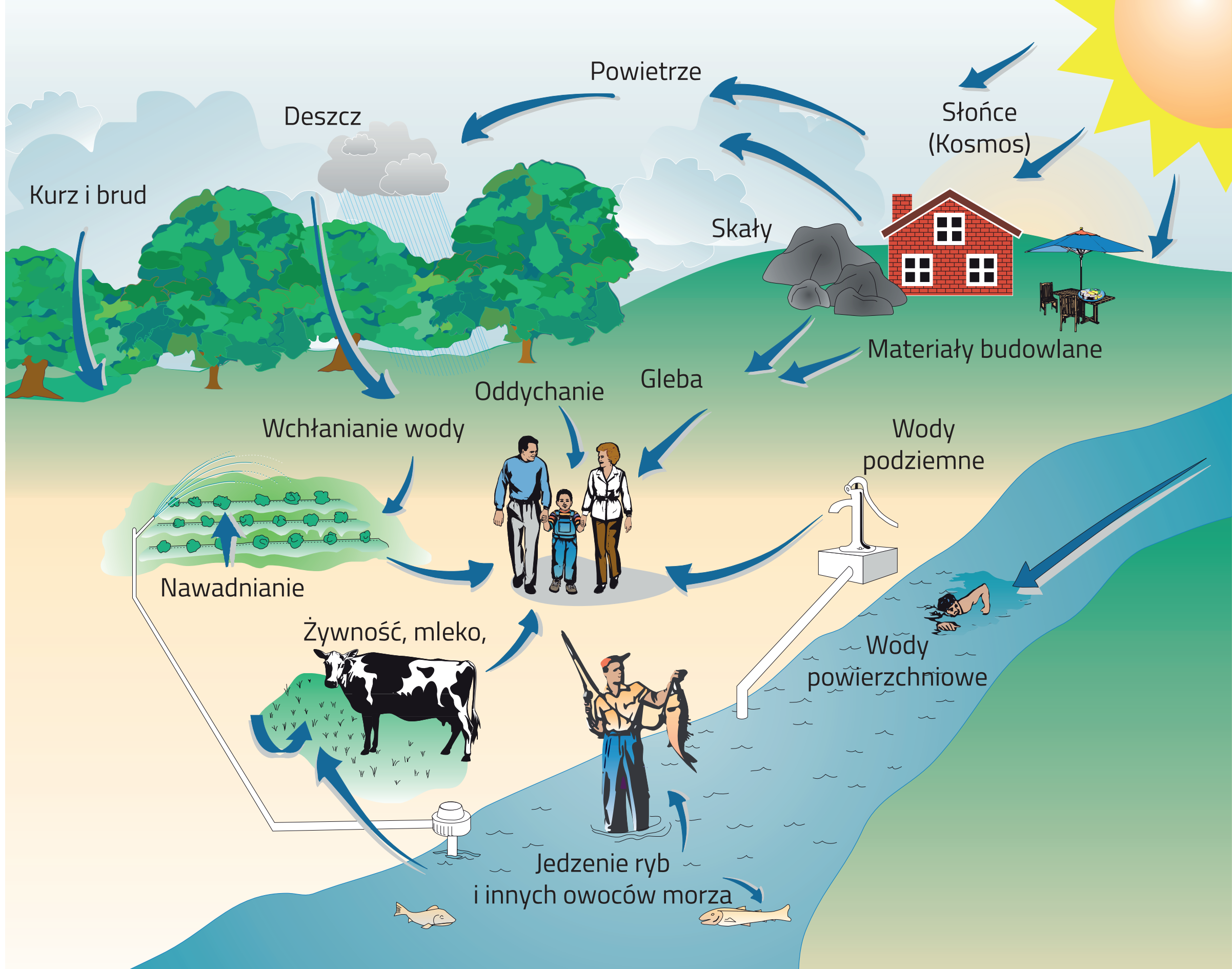
Niektóre izotopy promieniotwórcze - jak tor i izotopy uranu są początkami szeregów promieniotwórczych, w których produkty poszczególnych rozpadów też się rozpadają, aż do chwili pojawienia się trwałego produktu - izotopu niepromieniotwórczego. W naturze występują trzy

duże szeregi promieniotwórcze: szereg torowy, uranowo-aktynowy i uranowo-radowy. Czwartym szeregiem - neptunowy już „wygaś”, ponieważ okres połowicznego rozpadu najdłuższego żyjącego izotopu w tym szeregu jest krótki w porównaniu z wiekiem Ziemi.

**Zapamiętaj!**  
Głównym, „cywilizacyjnym” źródłem promieniowania jonizującego jest medycyna - przede wszystkim obrazowanie medyczne, czyli tomografia komputerowa i zdjęcia rentgenowskie.



Promieniowanie jonizujące jest w naszym środowisku!



# Radon i jego źródła

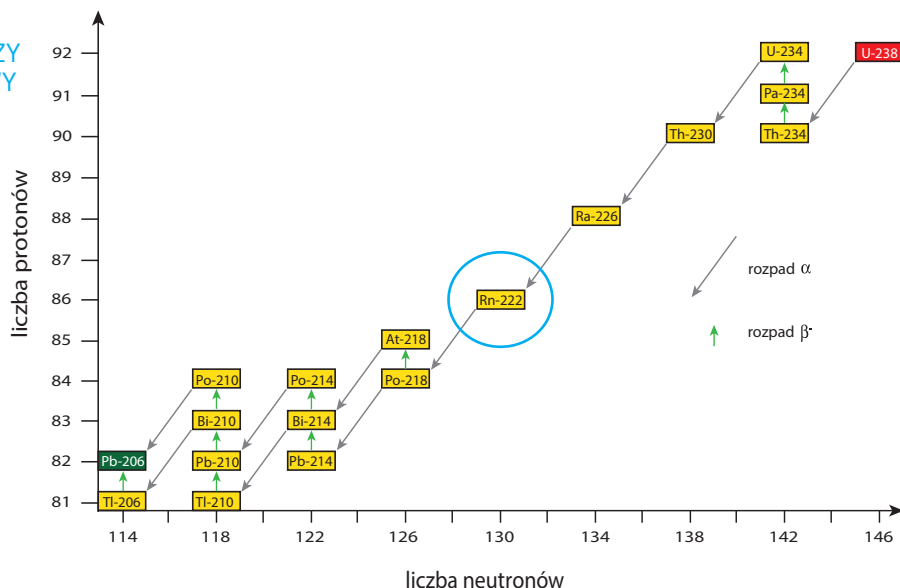
## Czy radon wpływa na nasze zdrowie?



Występujące w skorupie ziemskiej naturalne pierwiastki promieniotwórcze ulegają rozpadom, w wyniku których uwalniany jest m.in. rad, z okresem półrozpadu ok. 1600 lat, będący produktem rozpadu każdego z trzech naturalnie występujących szeregów promieniotwórczych. Rad ulega rozpadowi alfa powodując powstanie radonu.

Radon jest jedynym promieniotwórczym gazem szlachetnym występującym w środowisku. Łatwo przedostaje się z głębi ziemi na powierzchnię, gdzie miesza się z powietrzem atmosferycznym. Jest bezwonny, niepalny, łatwo rozpuszczalny w wodzie i ciężki. Jest około 8 razy cięższy niż gazy atmosferyczne. W temperaturze zbliżonej do pokojowej pozostaje bezbarwny. Liczba atomowa radonu jest równa 86, a masowa zależy od rodzaju izotopu, ponieważ znane są 4 naturalne odmiany radonu:  $^{218}\text{Rn}$ ,  $^{219}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$  oraz  $^{222}\text{Rn}$ . **Spośród nich największe znaczenie w środowisku ma  $^{222}\text{Rn}$  zwany potocznie radonem, będący produktem rozpadu szeregu uranowo-radowego.** Okres półrozpadu  $^{222}\text{Rn}$  wynosi 3,824 dnia i jest najdłuższy w porównaniu do pozostałych izotopów radonu, dla których jest liczony w sekundach. Czas półrozpadu  $^{220}\text{Rn}$  – toronu, pochodzącego z szeregu torowego wynosi 56 s,  $^{219}\text{Rn}$  – aktynonu (szereg uranowo-aktynowy) – 4 s, a dla  $^{218}\text{Rn}$  (produkt rozpadu  $^{222}\text{Rn}$ , szereg uranowo-radowy) czas ten wynosi zaledwie 35 ms, co sprawia, że nie mają one praktycznie żadnego znaczenia w środowisku z wyjątkiem toronu, ale tylko w pewnych warunkach. Czas półrozpadu toronu wystarcza na przedostanie się do wierzchnich warstw ziemi, a szczególne zagrożenie może powodować w podziemiach kopalń i sztolni.

### SZEREG PROMIENIOTWÓRCZY URANOWO-RADOWY



W wyniku promieniotwórczego rozpadu radonu emitowane jest promieniowanie alfa i powstają niebezpieczne dla organizmu człowieka produkty rozpadu radonu stanowiące metale ciężkie takie jak polon, bizmut i ołów. Poniżej przedstawiono schemat rozpadu  $^{222}\text{Rn}$ :



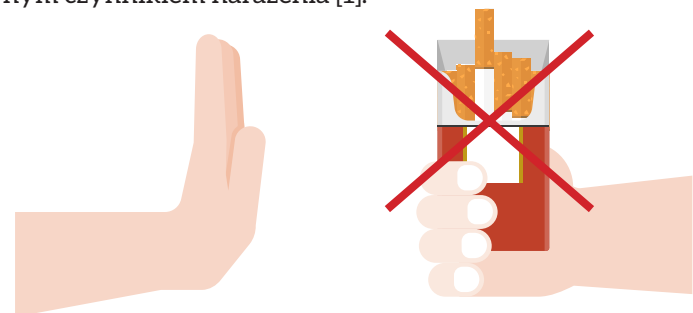
Równoważny zapis:



Cząstka alfa ( $\alpha$ ) składa się z dwóch protonów i dwóch neutronów i ma dużą zdolność jonizacji materii przy jednocześnie bardzo małym zasięgu, co daje największą skuteczność biologiczną spośród wszystkich cząstek jonizujących. Duża zdolność jonizacji prowadzi do bardzo wielu zderzeń wzdłuż toru cząstki alfa, głównie z elektronami innych atomów, aż do momentu gdy cząstka wytraci swoją energię. Przy narażeniu zewnętrznym przed promieniowaniem alfa chroni ubranie i wierzchnia warstwa naskórka, o ile na ciele nie znajdują się otwarte rany, przez które cząstki alfa mogłyby się przedostać do krwiobiegu. Największe zagrożenie występuje po wnikięciu promieniowania alfa do organizmu człowieka, gdzie nie występuje warstwa ochronna ubrania, czy skóry, więc promieniowanie alfa powoduje uszkodzenie materiału genetycznego w postaci pęknięć nici DNA. Nieodbudowane bądź błędnie naprawione pęknięcia mogą prowadzić do poważnych uszkodzeń komórek, a nawet do powstania zmian nowotworowych.

Biorąc więc pod uwagę, że podczas swojego rozpadu radon emituje wysoce jonizujące cząstki alfa oraz, że produktami jego rozpadu są izotopy metali ciężkich, które także są promieniotwórcze, a dodatkowo uwzględniając stan skupienia radonu, umożliwiający jego łatwe przemieszczanie się, można wywnioskować, że radon stanowi potencjalne zagrożenie dla ludzkiego organizmu. Najbardziej narażone są drogi oddechowe, ponieważ powietrze z radonem jest wdychane i wydychane do płuc. Szczególnie niebezpieczne jest osadzanie się w drogach układu oddechowego radioaktywnych produktów rozpadu radonu, które ulegają kolejnym procesom rozpadów, w tym alfapromieniotwórczym. Według Światowej Organizacji Zdrowia (ang. World Health Organization, WHO) radon stanowi 3 – 14% przypadków zachorowań na nowotwór płuc i zaraz po paleniu papierosów jest głównym czynnikiem narażenia [1].

Radioaktywne produkty rozpadu radonu osadzają się w naszym układzie oddechowym i dlatego są szczególnie niebezpieczne!



W PRZYPADKU PALACZY PRAWDOPODOBIEŃSTWO WYSTĄPIENIA NOWOTWORU PŁUC SPOWODOWANEGO RADONEM WZRASTA AŻ 25 KROTNIĘ [1].



**Stężenie radonu w powietrzu atmosferycznym** na zewnątrz pomieszczeń jest niewielkie i wynosi ok. 5-15 Bq/m<sup>3</sup> [1]. Znacznie większe stężenia odnotowuje się w zamkniętych pomieszczeniach budynków mieszkalnych, szkół, szpitali i innych, w których kumuluje się radon. Według WHO poziom ten może sięgać od 10 Bq/m<sup>3</sup> do nawet 10000 Bq/m<sup>3</sup> [1]. Największe wartości stężenia radonu odnotowuje się w kopalniach i jaskiniach oraz w dolnych partiach budynków, takich jak piwnice i garaże, zwłaszcza jeśli mają bezpośredni kontakt z podłożem.

**Ale w jaki sposób radon przedostaje się do pomieszczeń?** Szczególnie poprzez **nieszczelności w fundamentach, czy otwory na instalacje**. Jako gaz bez problemu może przechodzić z **podłoża pod budynkiem** nawet przez **mikropęknięcia w ścianach i podłogach**. Oprócz tego radon pochodzi też z **materiałów budowlanych, powietrza atmosferycznego, wody, czy gazu ziemnego**. Największym źródłem radonu w pomieszczeniach zamkniętych jest zdecydowanie podłoże pod budynkiem, z którego na skutek efektu kominowego, czyli zasysania radonu w wyniku różnicy ciśnień panującej na zewnątrz i wewnątrz, gaz przedostaje się do środka. Wydajność wnikania radonu do budynków zależy zarówno od stopnia nieszczelności fundamentów, jak również od rodzaju podłoża, ponieważ gleby mają różną przepuszczalność. I tak na przykład piasek czy żwir będzie znacznie łatwiejszą przeszkodą do pokonania niż czysta glina.

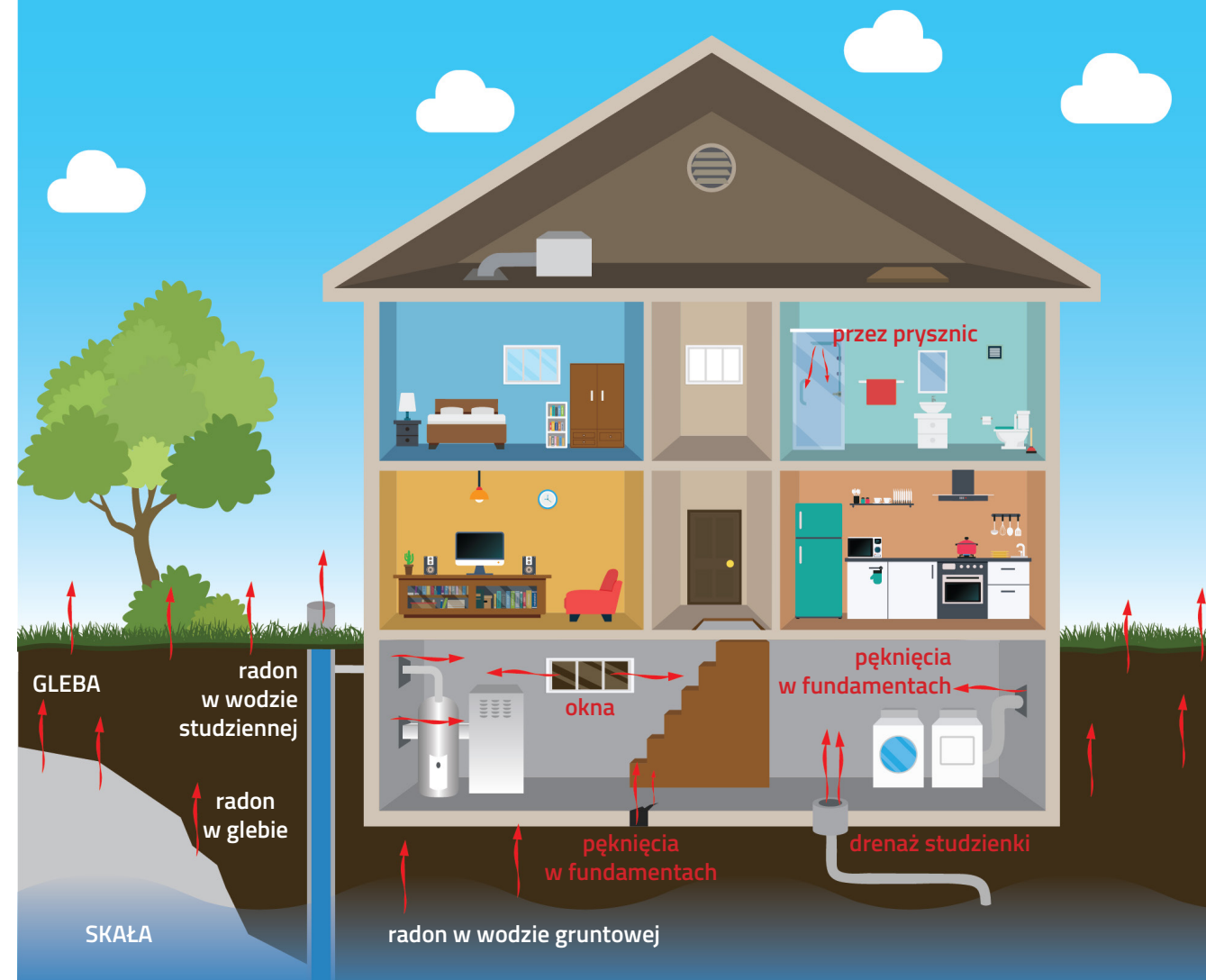
Kolejnym dużym źródłem radonu w pomieszczeniach są materiały budowlane takie jak cegły, pustaki czy beton, które mogą zawierać rad i tor, emitujące radon oraz toron bezpośrednio do pomieszczeń. Zawartość substancji promieniotwórczych w materiałach budowlanych zależy przede wszystkim od źródła ich pochodzenia, i jest znacznie wyższa dla materiałów pochodzących z Krajów Skandynawskich, w których podłoże geologiczne jest znacznie bogatsze w naturalnie występujące izotopy promieniotwórcze niż podłoże w Polsce. Aczkolwiek struktura geologiczna Polski nie jest jednorodna i zauważalne są znaczne różnice w jej budowie. Rejony górskie, zwłaszcza południowo-zachodniej Polski, czyli tereny Sudetów, stanowią duże źródło naturalnie występujących substancji promieniotwórczych, które mają jednocześnie wpływ na zwiększoną obecność radonu w powietrzu w porównaniu do rejonów centralnej, czy północnej Polski. Zgodnie z polskim prawem, stężenie naturalnych izotopów promieniotwórczych w materiałach budowlanych podlega kontroli przed wprowadzeniem ich do obrotu, a wszelkie przekroczenia od norm są niezwłocznie przekazywane organom nadzoru budowlanego [2].

Kolejne źródła radonu w pomieszczeniach zamkniętych to doprowadzane do budynków woda i gaz ziemny, które stanowią jednak zaledwie ułamki procent w ogólnym stężeniu radonu w pomieszczeniach.

**Stężenie radonu w powietrzu zależy także od pory roku oraz dnia.** Wykazano większą zawartość radonu w budynkach mieszkalnych w nocy niż w dzień [3], co tłumaczy się m.in. faktem braku wietrzenia w nocy. Zmiany stężenia radonu w zależności od pory roku zależą od położenia geograficznego, ale w przypadku Polski większe wartości w pomieszczeniach za-



## JAK RADON DOSTAJE SIĘ DO NASZCH DOMÓW?



źródło: njraddonmitigation.com

zamkniętych odnotowuje się w okresie zimowym, kiedy zmarzlina podłoża nie pozwala na jego przenikanie do powietrza, natomiast cieplejsza strefa pod i wokół budynku stanowi wówczas jego główne miejsce przenikania.

**Podsumowując, stężenie radonu w budynkach zależy od rodzaju podłoża, nieszczelności w fundamentach, wykorzystanych materiałów budowlanych, pory roku oraz wysokości, przy czym jest najwyższe w dolnych partiach, a maleje wraz z wysokością kondygnacji.**



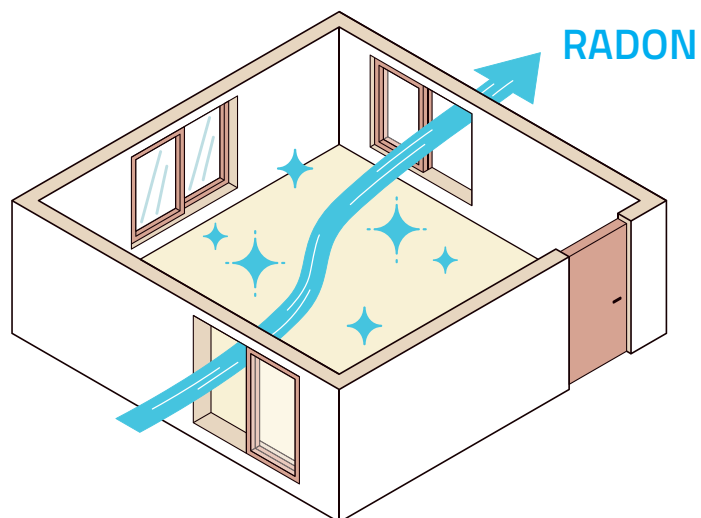
Stężenie radonu w budynkach mieszkalnych można zmniejszać poprzez systematyczne wietrzenie pomieszczeń, jednak najważniejszą kwestią jest zidentyfikowanie źródła narażenia i dostosowanie odpowiedniego rozwiązania do panującej sytuacji, zwłaszcza w przypadku stwierdzenia istotnego poziomu zawartości radonu. Czasem wystarczy pokrycie ścian dodatkową warstwą farby, a innym razem konieczna może okazać się instalacja wypompowująca powietrze spod budynku. Dla dopiero powstających budynków stosuje się m.in. odpowiednie uszczelnienie fundamentów i świadomy wybór materiałów budowlanych oraz przede wszystkim miejsca pod budowę.

Radon jest głównym źródłem narażenia od promieniowania naturalnego na świecie, a w Polsce stanowi aż 31,1% ( $^{222}\text{Rn}$ ) i 2,6% ( $^{220}\text{Rn}$ ) całkowitej dawki efektywnej otrzymywanej w ciągu roku przez statystycznego Polaka (dane z 2019 roku) [4], co daje średnią dawkę efektywną równą odpowiednio 1,2 mSv dla radonu i 0,1 mSv od toronu [4].

Zgodnie z wytycznymi Światowej Organizacji Zdrowia stężenie radonu w budynkach powinno być na poziomie niższym niż 100 Bq/m<sup>3</sup>, a gdy nie da się tego osiągnąć w danym kraju wówczas nie powinno przekraczać 300 Bq/m<sup>3</sup> [5]. Według prawa polskiego [2] poziom odniesienia średniego rocznego narażenia na radon w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi oraz miejscach pracy nie może przekraczać 300 Bq/m<sup>3</sup>. Ponieważ stężenie radonu zależy od bardzo wielu zmiennych, w tym warunków atmosferycznych i pory dnia to pomiar średniego rocznego stężenia radonu w pomieszczeniach, zgodnie z polskim prawem [2], powinien być wykonywany w czasie nie krótszym niż jeden miesiąc.

Pamiętaj, że radon jest głównym źródłem narażenia od promieniowania naturalnego na świecie i w Polsce! Radon gromadzi się w budynkach, szczególnie w piwnicach i na niskich piętrach. Jego stężenie jest największe zimą, a także z samego rana.

**Dlatego pamiętaj o regularnym wietrzeniu swojego mieszkania!**



## Jak zmierzyć radon?

Radon jest bezbarwny, nie ma zapachu, nie da się go zarejestrować żadnym z naszych zmysłów. Aby stwierdzić obecność radonu i ocenić jego ilość, używa się specjalnie do tego celu skonstruowanych przyrządów i detektorów. Co ważne, nie każdy miernik promieniowania może być używany do pomiaru stężenia radonu, a to z uwagi na rodzaj promieniowania (cząstki alfa).

Radon nie jest mierzony w prosty, bezpośredni sposób. Nie możemy uchwycić atomów radonu i ich policzyć. Wykonujemy pomiary pośrednie, czyli oceniamy zjawiska, wywołane przez promieniowanie pochodzące od radonu – np. zmianę w gazie wypełniającym komorę urządzenia pomiarowego, albo liczbę śladów na powierzchni detektora.

Istnieje kilka metod pomiaru radonu w powietrzu. Można je podzielić według różnych kryteriów, m.in. na metody aktywne i pasywne. Metody aktywne to różnego rodzaju profesjonalne przyrządy pomiarowe, które mierzą w czasie rzeczywistym, pokazując np. zmiany stężenia w czasie i wyświetlając wartość np. co godzinę, raz na 10 min itd. Takie urządzenia są kosztowne i zwykle ich używanie wymaga specjalistycznej wiedzy i umiejętności, a zatem używane są przez profesjonalne laboratoria badawcze.

Drugą grupę stanowią metody pasywne. Są to detektory, które w zależności od konstrukcji i zasady działania, umieszcza się w miejscu ekspozycji, czyli ekspozuje na powietrze zawierające radon przez określony czas. Najczęściej używa się detektorów śladowych. Nazywane są one też SSTS (Solid State Track Detectors), SSNTD (Solid State Nuclear Track Detectors), płytki/detektory CR-39 (od nazwy materiału, z którego są wykonane, a który to kiedyś służył do produkcji soczewek w okularach dla pilotów wojskowych). Czasem też nazywa się je „kliszami” lub „filmami” – to jednak ma znaczenie raczej historyczne, bo dawniej podobną funkcję pełniły nie kawałki przezroczystego polimeru a klisze przypominające dzisiejsze klisze do prześwietleń rentgenowskich.

Detektory pasywne są to najczęściej stosowane detektory do długotrwałych, niedrogich i dokładnych pomiarów stężenia radonu. Urządzenie składa się z kawałka polimeru o specjalnych właściwościach o wymiarach ok. 2,5 cm x 0,5 cm i grubości ok. 2 mm. Rozmiar i kształt detektora zależy od producenta. Płytkę umieszczoną jest w plastikowym pojemniczku tzw. komorze dyfuzyjnej i znajduje się w środku przez cały czas ekspozycji. Którędy radon dostaje się do środka? Pojemnik wygląda tak, jakby był całkowicie szczelny, ale trzeba pamiętać, że radon występuje w postaci atomów, czyli tak małych drobin, które bez problemu przedostają się pomiędzy dwoma elementami plastikowej obudowy.

**Zapamiętaj!**  
Stężenie radonu mierzymy pośrednio, oceniając zjawiska pochodzące od promieniowania emitowanego przez ten gaz szlachetny.

**Co dzieje się później?** Radon z uwagi na swoje właściwości i stosunkowo krótki czas półrozpadu, ulega przemianom w izotopy pochodne. Tej przemianie towarzyszy emisja czyli wytworzenie i wydzielenie się pewnych niewielkich ilości promieniowania. Powstałe cząstki alfa uderzają w powierzchnię płytki znajdującej się w pojemniku i uszkadzają ją na powierzchni. Wygląda ona jak zbombardowana małymi pociskami. Ślady te są tak małe, że nie widać ich gołym okiem i są ledwo dostrzegalne pod mikroskopem.

Po czasie ekspozycji, czyli po czasie, gdy detektor w pojemniku leży lub wisi w jednym miejscu przez np. 30 dni, jest on odsyłany do laboratorium do analizy.

W laboratorium najpierw odczytywany jest numer detektora, aby móc połączyć wynik odczytany z płytki z danymi dotyczącymi miejsca i czasu ekspozycji. To bardzo ważne do ustalenia ostatecznej wartości liczbowej!

Następnie płytka jest wyjmowana z pojemnika i poddawana trawieniu. Jest to proces przypominający... gotowanie. Płytki zanurzone są w stężonym roztworze zasady (NaOH, KOH – każde laboratorium ma swoją opracowaną procedurę). Roztwór musi mieć odpowiednio wysoką temperaturę, sięgającą nawet 80 czy 90°C, a „gotowanie” trwa odpowiedni czas – zwykle kilka godzin. Ten proces sprawia, że początkowo ledwo widoczne „kropki” powiększają się do takich rozmiarów, że można je zobaczyć pod mikroskopem. Ślady zazwyczaj mają kształt kropek z dziurką w środku. Mają też określoną wielkość, co pozwala ocenić (człowiekowi lub algorytmowi komputerowemu) czy dany ślad pochodzi od cząstki alfa od radonu czy od innej naładowanej cząstki lub jest po prostu zarysowaniem lub innym uszkodzeniem powierzchni. Czasami ślady przybierają kształt komety/ kropli, kiedy uderzają pod pewnym kątem, a nie prostopadle do powierzchni.

Następnie ślady są zliczane. Im więcej śladów tym większa wartość ekspozycji. Na tę wielkość składają się dwa czynniki: stężenie radonu [Bq/m<sup>3</sup>] oraz czas ekspozycji [h]. Im dłużej ekspozycja detektora i im większe jest stężenie radonu, tym większa jest liczba śladów.



PASYWNY DETEKTOR  
RADONU TYPU CR-39

Aby uzyskać ostateczną wartość stężenia, znając czas ekspozycji, wynik odczytuje się z tzw. krzywej kalibracyjnej. Jest to taki specjalny wykres, który tworzy się na podstawie odczytów liczby kropek z płytek ekspozycyjnych w znanych warunkach stężenia. Danej liczbie kropek odpowiada dana wartość ekspozycji (E). Jeśli wiemy, ile godzin trwała ekspozycja, to dzieląc E przez liczbę godzin uzyskujemy wartość średniego stężenia radonu w tym czasie.

Jak każda metoda pomiaru, detektory typu CR-39 mają swoje wady i zalety. Niewątpliwą zaletą jest niski koszt pomiaru, fakt, że można wykonać wiele pomiarów w jednym czasie. Wykonanie pomiaru jest łatwe a wyniki są dokładne i miarodajne. Ponadto komory dyfuzyjne są elementami wielokrotnego użytku, dzięki czemu minimalizuje się negatywny wpływ na środowisko. Wadą może być na przykład to, że uzyskujemy uśredniony wynik pomiaru i nie jesteśmy w stanie zaobserwować zmian stężenia radonu w czasie, a to może zmieniać się np. w ciągu doby.

ODCZYTYWANIE  
POD MIKROSKOPEM  
ŚLADÓW  
POCHODZĄCYCH  
OD CZĄSTEK  
ALFA RADONU Z  
POLIMEROWEJ PŁYTKI  
DETEKTORA TYPU  
PASYWNEGO



# Dlaczego tworzymy mapy radonowe i jaki jest cel naszego projektu?

Aby ocenić ryzyko związane z radonem w konkretnym pomieszczeniu czy konkretnym budynku należy wykonać pomiar z użyciem odpowiednich detektorów. Żadna inna metoda przewidywania stężenia radonu nie jest w 100% skuteczna, ponieważ na ostateczny wynik ma wpływ bardzo wiele różnych czynników m.in. zawartość naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w podłożu, jego przepuszczalność, nawet obecność uskoków tektonicznych, czyli takie parametry, które nie są widoczne gołym okiem. Ponadto, konstrukcja i wiek budynku, rodzaj i szczelność okien, czy budynek jest podpiwniczony, czy nie, czy ma system wentylacji i/lub klimatyzacji. A jeśli tak – to jak. Te wszystkie czynniki łącznie, z np. zwyczajami użytkowników danego budynku (częstotliwość otwierania okien), mają wpływ na narażenie człowieka spowodowane ekspozycją na promieniowanie pochodzące od radonu i jego pochodnych.

**Co ciekawe, stężenie radonu może znacznie różnić się nawet w dwóch sąsiednich i pozornie podobnych budynkach.**

Idealnym rozwiązaniem byłoby więc wykonanie pomiarów w **każdym** budynku w Polsce, co dałoby nam rzeczywisty obraz narażenia na radon w danym momencie. Tylko tak skonstruowana mapa mogłaby posłużyć do oceny narażenia konkretnych osób w zależności od miejsca ich przebywania.

Oczywiście takie idealne rozwiązanie nie może zostać zrealizowane w rzeczywistym świecie. Wykonuje się pomiary na szeroką skalę, w celu zidentyfikowania takich obszarów, na których ryzyko wystąpienia podwyższonego stężenia jest większe. Nie oznacza to jednak, że we wszystkich budynkach, poza zidentyfikowanymi obszarami, problem radonu nie występuje.

**Tworzenie map radonowych pomaga zaobserwować korelację pomiędzy pewnymi czynnikami. Np. wyraźnie widać zależność między budową geologiczną podłoża a stężeniem radonu w budynkach.**

Aby mapa mogła spełnić swoją rolę, bardzo ważne jest, aby zapewnić jednakową procedurę pomiarową, czyli wykonywać pomiary w taki sam sposób we wszystkich punktach oraz dokładnie opisać wszystkie dodatkowe okoliczności i czynniki, jakie mogą mieć wpływ na wynik (wiek budynku, konstrukcja, rodzaj okien, podpiwniczenie). W naszym projekcie wykonujemy pomiary tą samą metodą, umieszczamy je na poziomie parteru zgodnie z instrukcją, detektory są analizowane w jednakowy sposób, przez to samo laboratorium.

Wiele krajów w Europie prowadzi badania na szeroką skalę i tak w ciągu ostatnich kilku lat powstała **Europejska Mapa Radonowa**. Państwa zaangażowane w jej tworzenie opracowały międzynarodowe standardy wykonywania map tak, aby mapy w poszczególnych krajach przygotowywane były w taki sam sposób. Przyjęto jednakowy typ detektorów (detektory śladowe), czas ekspozycji minimum 30 dni, analiza w zatwierdzonym, certyfikowanym, laboratorium. Mapy są podzielone na kwadraty o boku 10 km i wartości z pomiarów w tych obszarach są uśredniane.

Dzięki temu mapy mogą być porównywane ze sobą i mogą być narzędziem do prowadzenia dalszych analiz.

**Nasz projekt Szkolna Radonowa Mapa Polski jest pierwszym projektem skierowanym do szkół, który obejmuje swoim zasięgiem całą Polskę.** Jego innowacyjność polega na tym, że uczniowie biorą aktywny udział w prowadzeniu badań poprzez rozmieszczanie detektorów i opracowanie danych dotyczących miejsca pomiaru. W efekcie powstanie mapa z wynikami z około 200 punktów pomiarowych. Co ważne, od dostarczenia detektorów do powstania ostatecznej mapy, nad całym procesem czuwać będą eksperci z certyfikowanego laboratorium.

## Rado(no)we ciekawostki

**Radon został odkryty na przełomie XIX i XX w. Co ciekawe, już kilka lat przed odkryciem radonu jako nowego pierwiastka, zaobserwowała go sama Maria Skłodowska-Curie.** Znane jej wtedy substancje radioaktywne były ciałami stałymi, jak rad. Nawet w rozprawie doktorskiej naszej noblistki pojawia się opis emanacji czyli „oparów” radu. Maria Skłodowska była więc zaledwie kilka kroków od odkrycia kolejnego nowego pierwiastka.

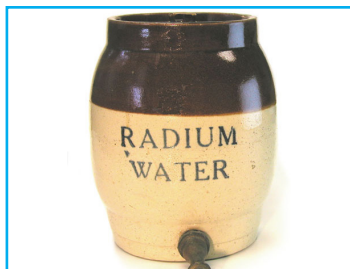
Sama promieniotwórczość jest zjawiskiem odkrytym stosunkowo niedawno, bo pod koniec XIX wieku. Dziś doskonale znamy wpływ promieniowania na organizm człowieka, wiemy jak się przed nim chronić. Ale nie zawsze tak było. Zaraz po tym jak Maria Skłodowska-Curie i jej mąż Piotr dokonali odkrycia nowego pierwiastka, radu, substancja ta była dodawana do wszystkiego. Ludzie uznali, że oto pojawiło się lekarstwo na wszystkie dolegliwości, od chorób skóry, przez problemy ze wzrokiem. Rad miał leczyć z najcięższych chorób, poprawiać samopoczucie, kondycję. Oprócz tego pięknie świecił w ciemności, nie wymagając zasilania. Dziś oczywiście przepisy nie pozwoliłyby na takie stosowanie radioaktywnej substancji, ale w czasach, gdy nikt nie znał „ciemnej strony” radu – dodawano go m.in. do maści, kremów, słodyczy, pasty do zębów. Powstawały gry i zabawki dla dzieci czy nawet piłeczki golfowe zawierające rad, co miało rzekomo sprawiać, że będą latać dalej niż jakiegokolwiek inne. To nie koniec absurdów... Rad można było znaleźć w pseudomedycznych poduszkach czy w radonatorach, czyli swego rodzaju syfonach do domowego użytku, w których można było przygotować radonową wodę. W zależności od preferencji

Nazwa nowego pierwiastka, **radu**, którą odkryłam wraz moim mężem, pochodziła od łacińskiego słowa **radius**, czyli promień - ze względu na szczególne właściwości luminescencyjne





Miernik z farbą radową



Woda radowa



Czekolada z radem



Zegarek z farbą radową



Krem do rąk z radem



Pasta do zębów z radem

– zwykłą lub gazowaną, ale zawsze... radioaktywną. Ciekawym zastosowaniem radowej farby, zwanej „nieciemnością” było wykorzystanie jej do malowania cyferblatów i wskazówek zegarków – zarówno naręcznych jak i dużych zegarów lotniczych. „Świeciły pysznie”, jakby to powiedziała Maria Skłodowska-Curie, niejednokrotnie zachwycając się też tą piękną stroną swojego odkrycia.

WYROBY  
CODZIENNEGO  
UŻYTKU  
Z DODATKIEM  
RADU

Dziś co prawda dodawanie radioaktywnych substancji do przedmiotów codziennego użytku i do żywności jest zabronione, ale czy „era radowego szaleństwa” całkowicie przeminęła?

Mówiąc o wpływie radonu na zdrowie skupiamy się na stosunkowo dużych dawkach promieniowania, mających wpływ na układ oddechowy. Liczne badania potwierdziły ten efekt.

Ale co dzieje się, jeśli mamy do czynienia z małymi dawkami promieniowania czy małymi ilościami radonu? W tej sytuacji naukowcy nie mają jednego wspólnego stanowiska. Istnieją dwie wzajemnie wykluczające się hipotezy. Pierwsza mówi, że każda ilość promieniowania może mieć niekorzystny wpływ na zdrowie i różnice w oddziaływaniu przypisuje różnej u każdego z nas wrażliwości na promieniowanie i zdolności regeneracji. Druga mówi, że małe dawki promieniowania mogą mieć pozytywny wpływ na zdrowie. Przykładem takiego podejścia są funkcjonujące nadal w południowej Polsce uzdrowiska radonowe. W tych miejscach stosuje się w ramach terapii inhalacje (wdychanie) i kąpiele radonowe oraz pije się wodę zawierająca znaczne ilości tego radioaktywnego pierwiastka. Zwolennicy radonowych terapii zachwalają ich dobroczynny wpływ, a część środowiska naukowego nadal podchodzi do nich bardzo sceptycznie.

## Gdzie znaleźć więcej informacji?

Więcej informacji o radonie można znaleźć przede wszystkim w literaturze w języku angielskim. Polecamy szczególnie:

informacje Światowej Organizacji Zdrowia [www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/radon-and-health](http://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/radon-and-health)

a także materiały źródłowe cytowane w tekście broszury:

[1] <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/radon-and-health>

[2] Ustawa Prawo Atomowe, 2019, poz. 1792

[3] K. Mamont-Cieśla, Radon – promieniotwórczy gaz w środowisku człowieka

(<http://www.if.pw.edu.pl/~pluta/pl/dyd/mtj/MTJ-W-wa/Radon-1a.pdf>)

[4] Raport roczny Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki za 2019, [www.paa.gov.pl](http://www.paa.gov.pl)

[5] World Health Organization, WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective, 2009



Fundacja FORUM ATOMOWE powstała z myślą o szeroko pojętej działalności informacyjnej i edukacyjnej w dziedzinie pokojowego wykorzystania energii atomowej, promocji fizyki i nauk pokrewnych, a także idei budowy pierwszej polskiej elektrowni jądrowej.

Fundację FORUM ATOMOWE stanowi zespół młodych, aktywnych i ambitnych ludzi, specjalistów w swoich dziedzinach, m.in. w fizyce jądrowej, ochronie radiologicznej, energetyce.

Fundacja realizuje kilka ciekawych i wartościowych projektów - największy - „Atomowy Autobus - Mobilne Laboratorium”, a także „Spotkania z Energią Atomową”, „Szkoła Radiologiczna

Mapa Polski”, magazyn „Forum Atomowe”, portal popularnonaukowy [energiajadrowa.pl](http://energiajadrowa.pl) oraz platforma e-learningowa [Nukleo.pl](http://Nukleo.pl).

Wolontariusze Fundacji trwają w przekonaniu, że tylko poprzez rzetelną, wszechstronną informację i edukację oraz szeroki bezpośredni udział społeczeństwa w debatach publicznych można uzyskać pełne poparcie dla budowy elektrowni jądrowej w Polsce oraz w innych krajach, które podejmują podobne wyzwania.

Fundacja FORUM ATOMOWE  
[www.forumatomowe.org](http://www.forumatomowe.org)  
[fundacja@forumatomowe.org](mailto:fundacja@forumatomowe.org)



ISBN 978-83-960557-5-0



Ministerstwo  
Klimatu i Środowiska

