

Aleksandra Pelczarska

**Radon w środowisku człowieka: pochodzenie i stężenie, metody pomiarowe, zagrożenie**

**Zawartość:**

Charakterystyka pierwiastka .....	2
Pochodzenie i stężenie .....	2
Metody pomiarowe .....	4
Zagrożenia .....	7
Normy prawne .....	8
Literatura .....	11



### Charakterystyka pierwiastka

Radon (Rn) jest promieniotwórczym pierwiastkiem chemicznym z grupy gazów szlachetnych. Występuje w środowisku naturalnie. Znanych jest 27 izotopów tego pierwiastka. Trzy najstabilniejsze z nich to:  $^{222}\text{Rn}$  ( $t_{1/2}=3,8$  doby),  $^{211}\text{Rn}$  ( $t_{1/2}=14,7\text{h}$ ),  $^{210}\text{Rn}$  ( $t_{1/2}=2,5\text{h}$ ). Pierwszy z nich, tj.  $^{222}\text{Rn}$  stanowi ok. 80% wszystkich izotopów i jest również uznawany za najbardziej niebezpieczny dla środowiska. Radon jest gazem cięższym od powietrza, bezbarwnym, bezwonny, rozpuszczalnym w wodzie.

### Pochodzenie i stężenie

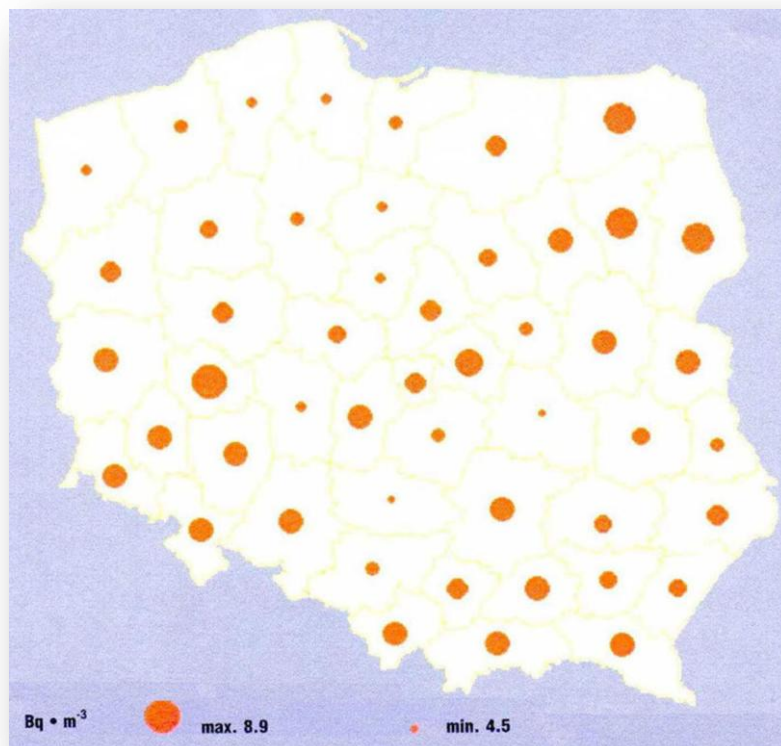
Chemicznie, radon powstaje w wyniku rozpadu promieniotwórczego radu ( $^{226}\text{Ra}$ ) ( $t_{1/2}=1622$  lat), który z kolei jest jednym z produktów rozpadu promieniotwórczego uranu ( $^{238}\text{U}$ ).

A \ Z	Rn-86	Fr-87	Ra-88	Ac-89	Th-90	Pa-91	U-92
238							$4,51 \cdot 10^9$ lat
234				$\beta$	24,10 dni	1,18 min	$2,44 \cdot 10^8$ lat
230		$\alpha$			$7,50 \cdot 10^4$ lat		
226			1622 lat				
222	3,823 dni						

Rysunek 1. Szereg uranowo-radowy. (opracowanie własne)

W środowisku radon emitowany jest do atmosfery z głównie z gleby. Zawartość uranu w skorupie ziemskiej wynosi średnio 2 ppm, co determinuje dosyć

wysoką zawartość radonu w powietrzu. Średnie stężenie Rn-222 w powietrzu w Polsce wynosi ok. 8 Bq/m<sup>3</sup>.



Rysunek 2. Stężenie radonu w powietrzu na terenie Polski (<http://www.imgw.pl>)

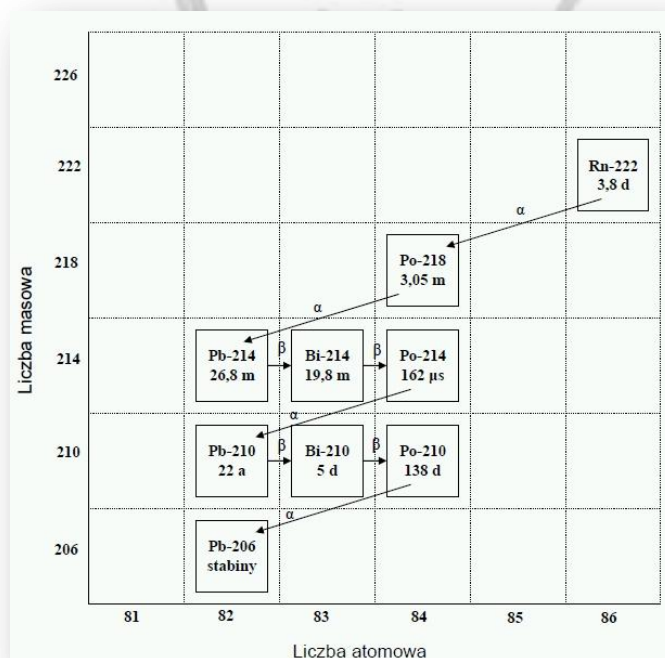
Największe stężenia radonu w powietrzu odnotowuje się w północno-wschodniej, oraz południowo-zachodniej części kraju. Z badań przeprowadzonych w budynkach mieszkalnych wynika iż największe stężenia radonu odnotowuje się w okolicach Jeleniej Góry.

Wielkość emanacji radonu z gruntu jest zależna od miejsca (rodzaj gleby, geologia podłoża) oraz warunków atmosferycznych. Drugim znaczącym źródłem radonu są materiały budowlane, wynika to z użycia do produkcji materiałów budowlanych naturalnie występujących minerałów. Ze względu na rozpuszczalność radonu w wodzie, kolejnym jego źródłem są wody gruntowe, oraz wtórnie rzeki do których wpuszczane są wody kopalniane. Nie jest to jednak zjawisko występujące w całym biegu rzeki, jedynie w pobliżu ujścia źródła tychże wód.

## Metody pomiarowe

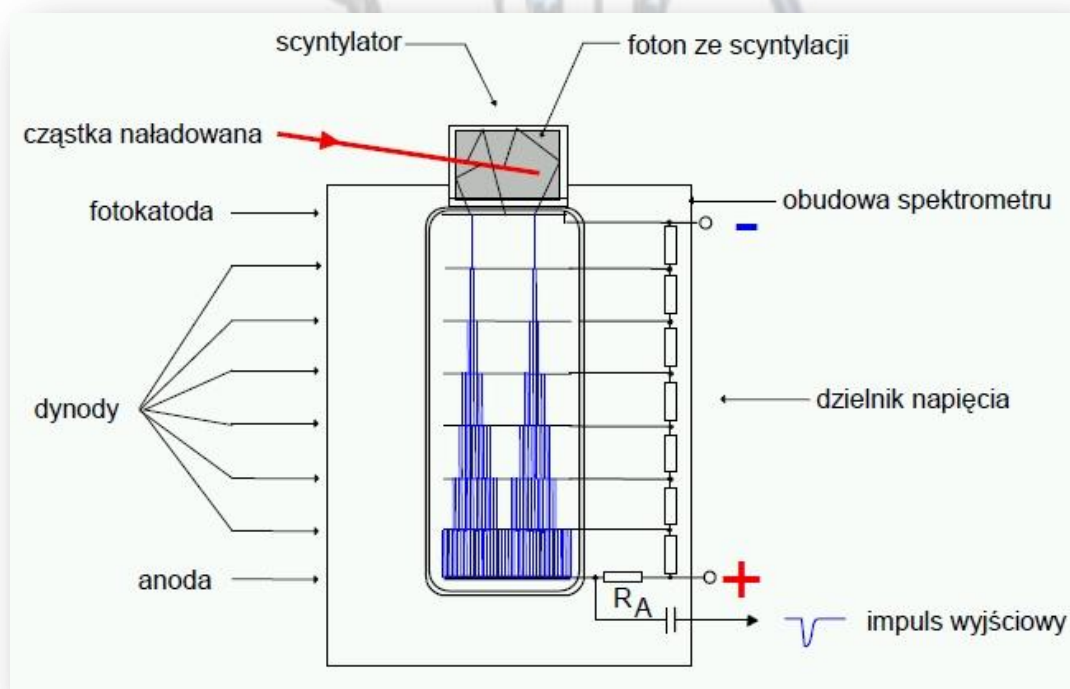
Ogólnie metody pomiarowe możemy podzielić na bezpośrednie i pośrednie. Metody bezpośrednie charakteryzują się tym, że pomiar jest dokonywany przy pomocy aparatury w miejscu, w którym ma zostać zbadane stężenie izotopu. Metody pośrednie są dwuetapowe. W pierwszym etapie w miejscu, w którym należy przeprowadzić pomiar umieszcza się detektor, który zawiera węgiel aktywowany na którym adsorbuje radon, lub specjalną folię wrażliwą na promieniowanie  $\alpha$ . Drugi etap polega na analizie detektora, zależnie od jego rodzaju.

Drugim podziałem jaki można zastosować dla metod pomiarów stężenia radonu to: pomiary krótkookresowe - od 2 do 7 dni, długookresowe - od 1 do 12 miesięcy, oraz pomiary ciągłe. W pomieszczeniach stężenie radonu ulega wahaniom dobowym a także sezonowym, oraz zmienia się wraz z wiekiem budynku, co ma szczególną wyrazistość w budynkach nowowytbudowanych. Zależnie od tego czy chcemy badać stężenia „chwilowe” czy średnie, należy stosować odpowiednie testy.



Rysunek 4. Rozpad promieniotwórczy radonu, Rn-222. (Wydział Fizyki UW, Pracownia Podstaw Fizyki, materiały do laboratorium, Zadanie 121: Radon w powietrzu, <http://szkola.igf.fuw.edu.pl/Uczniowie/121.pdf>)

Główną metodą pomiaru stężenia radonu jest pomiar promieniowania  $\alpha$  przy pomocy scyntylatora. Cząstki naładowane (np. cząstki  $\alpha$ ) wpadając do scyntylatora jonizują i wzbudzają atomy lub cząsteczki scyntylatora. Wzbudzone atomy lub cząsteczki emitują następnie fotony, które rejestrowane są za pomocą fotopowielacza. Fotopowielacz jest lampą elektronową składającą się z fotokatody, dynod i anody. Fotony ze scyntylatora padając na fotokatodę mogą z niej wybić w wyniku zjawiska fotoelektrycznego elektrony. Elektrony te przyspieszane są w polu elektrycznym wytworzonym przez napięcie (z zasilacza wysokonapięciowego) przyłożone między fotokatodą a pierwszą dynodą. Padając na powierzchnię dynody, w wyniku emisji wtórnej, wyrzucają z niej kilka elektronów. Z kolei te elektrony przyspieszane w polu elektrycznym wytworzonym pomiędzy pierwszą a drugą dynodą padając na powierzchnię dynody wybijają następne elektrony. Proces ten powtarza się na kolejnych dynodach. Mamy do czynienia z procesem lawinowego narastania (postęp geometryczny) liczby elektronów.



Rysunek 3. Scyntylator z powielaczem (<http://szkola.igf.fuw.edu.pl/Uczniowie/121.pdf>)

Jeden elektron wybity z fotokatody może w drodze do anody zostać powielony o czynnik  $10^5 - 10^9$ . Pojawiający się na anodzie ładunek powoduje

powstanie impulsu napięciowego. Impuls napięciowy po wzmacnieniu może być zarejestrowany przelicznikiem. Metoda ta może być metodą bezpośrednią i służyć do określenia np. chwilowego stężenia radonu w powietrzu, lub metodą pośrednią, gdy mierzone jest promieniowanie jonizujące detektora wcześniej umieszczonego w punkcie pomiarowym. Służy ona wtedy do oznaczenia średniego stężenia radonu w okresie pomiarowym.

W Zakładzie Geofizyki Jądrowej stosuje się następujące metody pomiaru koncentracji radonu (Rn) w powietrzu: śladową, węgla aktywnego, komór Lucasa. Metoda śladowa polega na rejestracji na kliszy śladów pozostawianych przez cząstki alfa pochodzących z rozpadu radonu; liczba śladów jest zależna od koncentracji radonu. Metoda węgla aktywnego polega na adsorpcji radonu na węglu. Zaadsorbowany radon jest następnie wymywany przez ciekły scyntylator, a powstała próbka jest mierzona na spektrometrze. Metoda komór Lucasa polega na pomiarze scyntylacji wywołanych na ściankach komór, przez cząstki alfa emitowane przez zawarty w komorze radon i jego produkty rozpadu. Pierwsze dwie metody służą do pomiaru średniej koncentracji radonu w danym miejscu, pomiar trwa do kilku tygodni. Metodą komór Lucasa wyznacza się natomiast chwilowe koncentracje radonu. Dokładność metod wynosi około 10%.

Obecnie dostępne są komercyjne detektory do pomiaru radonu. Detektor PICO-RAD zawiera węgiel aktywowany, czas ekspozycji wynosi od 2 do 7 dni. Detektor Accustar CLS 100i Short Term Radon Gas Test Kit zawiera węgiel aktywowany oraz krzemionkę jako adsorber. Czas ekspozycji wynosi 2 - 4 dni. Detektor Accustar Alpha Track Test Kit AT 100 zawiera folię CR-39.<sup>1,2,3</sup> Cząstki  $\alpha$  emitowane przez radon wnikają detektora i powodują mikrouszkodzenia folii. Komputerowa analiza obrazu folii pozwala określić stężenie radonu. Czas ekspozycji wynosi 3 - 12 miesięcy. Producent informuje, iż dokładność testu wynosi aż 2%. Istnieją również testy do pomiaru stężenia radon w wodzie, przygotowane z myślą o domostwach z własnym ujęciem wody.

<sup>1</sup> MAZUR D, JANIK M, ŁOSKIEWICZ J, OLKO P, SWAKOŃ J, Measurements of Radon Concentration in Soil Gas by CR-39 detectors, Radiation Measurements 31, 1999, 295-300

<sup>2</sup> [http://www.accustarlabs.com/shop\\_homeowner.php](http://www.accustarlabs.com/shop_homeowner.php)

<sup>3</sup> BOGACZ J, MAZUR D, SWAKOŃ J, JANIK M. The calibration of activated charcoal detectors in a small Rn exposure chamber, Radiation Measurements 33 (2001), 873-878

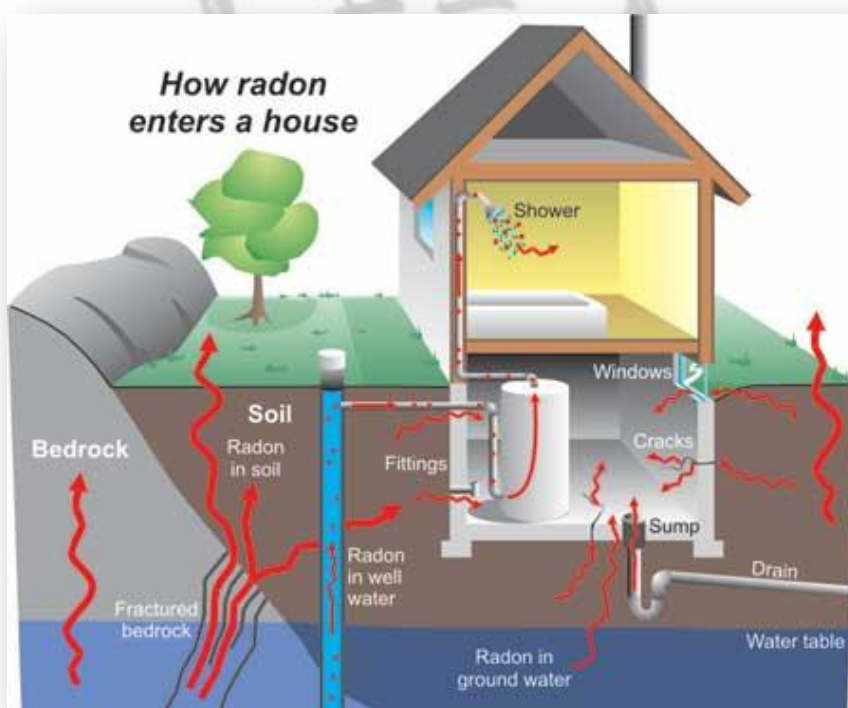


Istnieją również systemy zminiaturyzowanej aparatury przenośnej, które dokonują pomiaru bezpośredniego w czasie rzeczywistym. Systemy te mogą również działać w trybie online, tzn. dokonywać bezpośredniego pomiaru ciągłego.

W celu zbadania gruntu, np. pod budowę budynku mieszkalnego wykonuje się również badania ekshalacji, czyli wydobywania się radonu z gruntu. Za pomocą miernika rejestrowane jest narastanie stężenia radonu w komorze ekshalacyjnej i na tej podstawie obliczana jest ekshalacja radonu. Komercyjnie stosowany jest miernik AlphaGUARD PQ2000 PRO firmy Genitron, czas ekspozycji wynosi ok. 2 godzin.<sup>4</sup>

### Zagrożenia

Zdecydowanie największe oddziaływanie na człowieka ma radon znajdujący się w budynkach mieszkalnych. Sytuacja ta wynika z możliwości gromadzenia się tego gazu w dolnych partiach budynków.



Rysunek 5. Drogi wnikania radonu do wnętrza budynków.  
([http://www.homeprocanada.ca/radon/radon\\_450x397.jpg](http://www.homeprocanada.ca/radon/radon_450x397.jpg))

<sup>4</sup> USER MANUAL - Portable Radon Monitor "AlphaGUARD", Genitron Instruments 4/97

Głównym źródłem radonu w budynkach jest gleba i materiały budowlane, drugorzędnymi źródłami są woda i gaz ziemny. Budowa domu wymaga „przebicia” wierzchniej warstwy i dotarcia do głębszych warstw gleby o wyższym stężeniu radonu. Wewnątrz domu powstaje różnica ciśnień „wysysająca” radon z gruntu, tzw. „efekt kominowy”. Drogi wnikania radonu do wnętrza domu to m.in.: pęknięcia fundamentów i wylewki betonowej, pęknięcia w ścianach i nieszczelności wokół rur kanalizacyjnych. 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. Stężenie radonu w powietrzu utrzymuje się na poziomie do  $10 \text{ Bq/m}^3$  w budynkach wynosi od kilku do kilku tysięcy  $\text{Bq/m}^3$ .

### *Normy prawne*

W wielu krajach wprowadzono normy określające dopuszczające stężenia radonu w powietrzu, w pomieszczeniach i wodach pitnych np. w Czechach norma ta wynosi  $200 \text{ Bq/m}^3$ .<sup>5</sup> Również i w Polsce określono normy stężenia radonu w mieszkaniach, które nie powinny być przekroczone. Zgodnie z zarządzeniem Prezesa Polskiej Agencji Atomistyki z dnia 7 lipca 1995 r. średnie roczne stężenia radonu-222 w pomieszczeniach przeznaczonych na stały pobyt ludzi nie mogą przekraczać: a)  $400 \text{ Bq/m}^3$  w budynkach istniejących i oddanych do użytku przed 1 stycznia 1998 roku, b)  $200 \text{ Bq/m}^3$  w budynkach oddanych do użytku po 1 stycznia 1998 roku. Przepisy te jednak nie określają sposobu ich egzekwowania.<sup>6,7</sup> Zgodnie z zaleceniami Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) zaleca się podjęcie działań, mających na celu obniżenie stężenia radonu w budynku, gdy jego stężenie przekracza  $100 \text{ Bq/m}^3$ .<sup>8</sup>

Podobnie jak w wielu krajach brak w Polsce przepisów określających dopuszczalne stężenie radonu w wodzie pitnej. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO), jak również Unia Europejska, również nie wprowadziły norm dla zawartości radonu w wodzie pitnej. Zgodnie z normami Unii Europejskiej sugeruje się jedynie

<sup>5</sup> <http://www.wikipedia.pl>

<sup>6</sup> <http://www.fizyka.umk.pl/phys/ZAKLADY/PDF/MSC/Materialy/Liceum-wyr2/radon.html>

<sup>7</sup> <http://www.paa.gov.pl/index.php>

<sup>8</sup> [http://www.euro.who.int/document/aiaq/8\\_3radon.pdf](http://www.euro.who.int/document/aiaq/8_3radon.pdf)



aby kontynuować prace badawcze związane z zawartością w wodzie pitnej radionuklidów takich jak: radon-222, potas-40 oraz tryt.

W USA, pod koniec 1998 roku Państwowa Rada Badań Naukowych opublikowała raport na temat ryzyka zdrowotnego związanego z występowaniem radonu w wodzie do picia (Risk Assessment of Radon In Drinking Water. Committee on the Risk Assessment of Exposure to Radon in Drinking Water. 1998). W raporcie tym Rada rekomendowała 150Bq/l jako limit zawartości radonu w wodzie z ujęć publicznych, tj. ujęć z których korzysta co najmniej 25 osób.<sup>9</sup>

Częste wietrzenie pomieszczeń może się przyczynić do spadku stężenia radonu. Warto również zatroszczyć się o uszczelnienie niższych kondygnacji budynku.

Obserwuje się niekorzystny wpływ radonu na zdrowie, szkodliwe efekty działania radonu polegają na uszkodzeniu struktury chemicznej kwasu DNA przez wysokoenergetyczne, krótkotrwałe produkty rozpadu radonu  $^{222}\text{Rn}$ , co wywołuje rozwój komórek rakowych. Powoduje to np. zachorowania na raka płuc wśród górników.<sup>10</sup>

Wiele ogólnie dostępnych informacji jednak znacznie przecenia wpływ promieniowania jonizującego na człowieka. Słusznym wydaje się rozdzielić wpływ niskich i wysokich dawek promieniowania na człowieka. Przy dawkach poniżej około 100 mSv, aktywowane są mechanizmy obronne, tak że komórki uszkodzone wskutek wszystkich przyczyn są eliminowane lub naprawiane przez procesy o wysokiej efektywności.<sup>11</sup> Procesy te rozwinęły się wraz z powstaniem życia na Ziemi - gdyby nie one, żaden organizm nie przetrzymałby milionów uszkodzeń komórek zachodzących w każdej sekundzie w naszych ciałach. Skuteczność pobudzania tych procesów obronnych rośnie z dawką, tak że w zakresie kilkunastu i kilkudziesięciu mSv może występować efekt hormezy - redukcja uszkodzeń komórki wywołanych procesami metabolicznymi gra znacznie większą rolę niż możliwe niedoskonałości

---

<sup>9</sup> <http://www.radon.ifj.edu.pl>

<sup>10</sup> STRUPCZEWSKI A, Oddziaływanie małych dawek promieniowania na zdrowie człowieka. Biuletyn Miesięczny PSE, czerwiec-lipiec 2005, 12-27

<sup>11</sup> ACADÉMIE DES SCIENCES - Académie Nationale de Médecine: Dose-effect relationships and estimation of the carcinogenic effects of low doses of ionizing radiation, March 30, 2005

w procesach naprawczych. Jednakże uszkodzenia powodowane przez promieniowanie mają inny charakter niż uszkodzenia powodowane przez metabolizm:

1. frakcja uszkodzeń podwójnych nici DNA jest wyższa,
2. występują skupiska uszkodzeń powodowane przez rodniki wodorotlenowe,
3. rozkład uszkodzeń komórkowych jest bardziej heterogeniczny.

Przy większych dawkach, powyżej 100 - 200mSv, koncentracja uszkodzonych komórek rośnie i procesy naprawcze DNA mogą przebiegać z błędami, których prawdopodobieństwo rośnie z mocą dawki. Błędy w naprawie DNA mogą prowadzić do przeżycia komórek uszkodzonych i zapoczątkowania nowotworu. Powyżej 500mSv tempo rozmnażania komórek rośnie, by zrekompensować utratę komórek uszkodzonych przez promieniowanie. Szybkie dzielenie komórek przeszkadza w procesach naprawczych i rośnie prawdopodobieństwo błędnej naprawy i rozwoju nowotworu.<sup>12,13,14</sup>

Każdorazowo w przypadku oddziaływania danego czynnika na organizm ludzki należy jednak pamiętać o możliwości wystąpienia całego szeregu skrajnych odpowiedzi organizmu na dany czynnik. A także na niemożliwości oddzielenia innych czynników oddziałujących z organizmem w danej chwili, a niewątpliwie mających udział w generowaniu odpowiedzi.

---

<sup>12</sup> JAWOROWSKI Z. Radiation risk and ethics, Physics Today (1999) 52(9) 24-29.

<sup>13</sup> POLLYCOVE M, FEINENDEGEN LE. Radiation-induced versus endogenous DNA damage: possible effects of inducible protective responses in mitigating endogenous damage. Human Exp Toxicol 2003, 22, 290-306.

<sup>14</sup> UNSCEAR Report to the General Assembly, Annex B: Adaptive Response, United Nations, New York, 1994

## Literatura

ACADÉMIE DES SCIENCES - Académie Nationale de Médecine: Dose-effect relationships and estimation of the carcinogenic effects of low doses of ionizing radiation, March 30, 2005

BOGACZ J, MAZUR D, SWAKOŃ J, JANIK M. The calibration of activated charcoal detectors in a small <sup>222</sup>Rn exposure chamber, Radiation Measurements 33 (2001), 873-878

JAWOROWSKI Z. Radiation risk and ethics, Physics Today (1999) 52(9) 24-29.

MAZUR D, JANIK M, ŁOSKIEWICZ J, OLKO P, SWAKOŃ J, Measurements of Radon Concentration in Soil Gas by CR-39 detectors, Radiation Measurements 31, 1999, 295-300.

POLLYCOVE M, FEINENDEGEN LE. Radiation-induced versus endogenous DNA damage: possible effects of inducible protective responses in mitigating endogenous damage. Human Exp Toxicol 2003, 22, 290-306.

UNSCEAR Report to the General Assembly, Annex B: Adaptive Response, United Nations, New York, 1994

STRUPCZEWSKI A, Oddziaływanie małych dawek promieniowania na zdrowie człowieka. Biuletyn Miesięczny PSE, czerwiec-lipiec 2005, 12-27

USER MANUAL - Portable Radon Monitor "AlphaGUARD", Genitron Instruments 4/97

<http://www.fizyka.umk.pl>

<http://www.who.int/en>

<http://www.accustarlabs.com>

<http://www.homeprocanada.ca>

<http://szkola.igf.fuw.edu.pl>

<http://www.wikipedia.pl>

<http://www.imgw.pl>

<http://www.paa.gov.pl/index.php>

<http://www.radon.ifj.edu.pl>

