

Paulina MICHALAK<sup>1</sup>

## NATURALNA PROMIENIOTWÓRCZOŚĆ RADONU – POCHODZENIE, ZAGROŻENIA ORAZ SPOSOBY REDUKCJI JEGO STĘŻEŃ W BUDYNKACH MIESZKALNYCH

W artykule przedstawiono obecną wiedzę na temat promieniotwórczości radonu i związanych z nim zagrożeń, głównie chorób nowotworowych. Radon i produkty jego rozpadu wchłaniane przez układ oddechowy człowieka wykazują działanie niekorzystne przede wszystkim na płuca. Mają one też największy udział w narażeniu radiacyjnym mieszkańców Ziemi. Podwyższone stężenia radonu obserwuje się w budynkach mieszkalnych. Powszechnie obecny w środowisku gaz przenika do budynków z podłoża, w wyniku różnicy ciśnień i temperatur. Migracja radonu z gruntu do pomieszczeń mieszkalnych odbywa się poprzez mikroszczeliny, pęknięcia i otwory konstrukcyjne w fundamentach lub nieszczelności otworów instalacyjnych. Ciepłe powietrze znajdujące się wewnątrz nagrzanego budynku działa jak pompa ssąca, wciągając radon z gleby, niższych kondygnacji budynku oraz ze ścian zewnętrznych. W artykule opisano sposoby minimalizacji jego poziomu w obiektach budowlanych, zarówno tych już istniejących jak i nowo projektowanych. Budowa geologiczna danego terenu okazuje się mieć istotny wpływ na stężenia radonu w gruncie, co się przekłada na jego zawartość wewnątrz budynków. Dokonano także analizy aktualnej sytuacji radiacyjnej kraju pod kątem występowania podwyższonego stężenia radonu. Najbardziej narażone na podwyższone stężenia radonu m.in. domy posadowione na obszarach płytkiej eksploatacji złóż rudy i węgla oraz w rejonach intensywnej eksploatacji górniczej. Na terenie Polski występuje stosunkowo niewiele takich obszarów. Przeprowadzone tam analizy wykazują jednak możliwość przekroczenia w budynkach mieszkalnych dopuszczalnego przez prawo poziomu radonu.

**Słowa kluczowe:** radioaktywność, zabezpieczenia, grunt, obiekty budowlane

### 1. Wstęp

Radioaktywność dotyczy każdego z nas, wszystko co nas otacza, promieniuje. W 1896 r. zjawisko promieniotwórczości odkrył francuski fizyk Herni Becquerel, a w 1903 r. przyznano nagrodę Nobla naszej rodaczce Marii Skłodowskiej-Curie, która wraz ze swoim mężem Piotrem Curie prowadziła dalsze

---

<sup>1</sup> Paulina Michalak, Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Budownictwa, ul. Z. Szafrana 1, 65-516 Zielona Góra, p.michalak@ib.uz.zgora.pl

badania nad pierwiastkami promieniotwórczymi, odkrywając dwa nowe – polon i rad. Od czasu wręczenia nagrody, minęło zaledwie ponad 100 lat, w czasie których poczyniono wiele dalszych obserwacji i badań. Odkryto też użyteczne zastosowania dla promieniowania. Jednym z najbardziej oczywistych jest użycie go w celach diagnostycznych i terapeutycznych (diagnostyka rentgenowska, tomografia komputerowa, radioterapia), a także zapoczątkowane przez Hevesy'ego w 1911 r. wykorzystanie znaczników promieniotwórczych, które dzisiaj używa się do śledzenia procesów przemysłowych w wykrywaniu nieszczelności, czy badaniu zużycia materiałów. Promieniowanie jonizujące znalazło swoje zastosowanie także w przemyśle, rolnictwie, geologii, ochronie środowiska oraz w badaniach naukowych. Wymieńmy tu tylko kilka przykładów: radiacyjna sterylizacja sprzętu medycznego, higienizacja i utrwalanie, modyfikacja właściwości materiałów. Na zasadzie detekcji promieniowania jonizującego działają mierniki poziomu cieczy, gęstościomierze, grubościomierze.

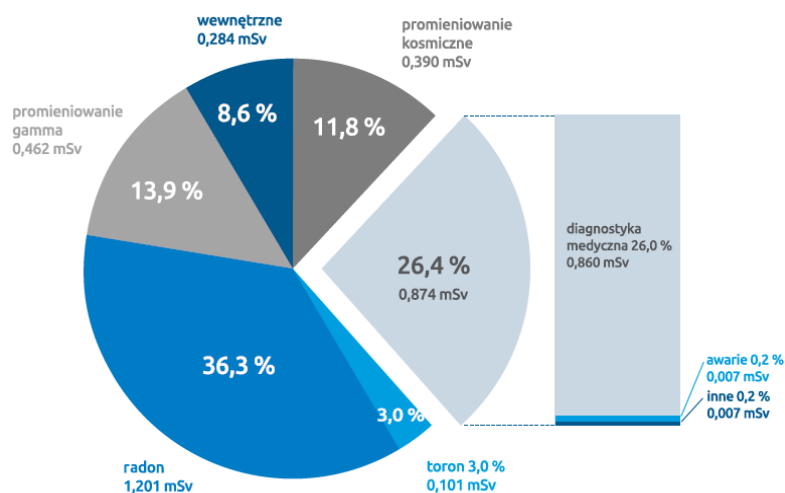
Wszelkie obawy społeczeństwa i lęki przed promieniowaniem jonizującym najczęściej (i słusznie) związane są z masową produkcją i próbami broni jądrowej przez mocarstwa atomowe, co stanowi olbrzymie zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi, a także może prowadzić do skażenia środowiska. Natomiast przetwarzanie energii jądrowej w reaktorach jądrowych nowej generacji na potrzeby produkcji energii elektrycznej (która aktualnie pokrywa już 17% całego światowego zapotrzebowania) nie powinno budzić obaw ze strony społeczeństwa, gdyż jest to jedna z najbardziej zaawansowanych i bezpiecznych technologii w przemyśle [1].

Opisane wyżej źródła promieniowania stworzone przez człowieka wnoszą dużo mniejszy wkład do rocznej dawki skutecznej promieniowania jonizującego otrzymywanej przez statystycznego mieszkańca Polski niż promieniowanie pochodzące ze źródeł naturalnych, na które składka się promieniowanie kosmiczne oraz promieniowanie radionuklidów naturalnych [2]. Szczegółowy udział różnych źródeł promieniowania przedstawiono na rys. 1.

Powszechnie obecny w środowisku radon pochodzenia naturalnego – jego izotopy (Rn-222) i toron (Rn-220) a także produkty ich rozpadu mają największe znaczenie w narażeniu radiacyjnym mieszkańców Ziemi. Dawka jaką otrzymał statystyczny mieszkaniec Polski w 2014 r. (tylko od radonu i toronu) wyniosła 1,30 mSv, z czego aż 95% to dawka wynikająca z obecności wewnątrz obiektów budowlanych [2].

## 2. Źródła radonu w budynkach

Stężenia radonu w powietrzu atmosferycznym na otwartym terenie są niskie. W 2011 r. wynosiły od 3,3  $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$  w Łodzi do 15,8  $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$  w Krakowie [3]. W domach stężenia te mogą być znacznie wyższe i osiągać wartości nawet do kilku tysięcy  $\text{Bq}/\text{m}^3$  (rejon Jeleniej Góry i Krakowa) [4]. Jest to spowodowane m.in. tzw. „efektem kominowym”, który polega na przedostawaniu się radonu do budynku w wyniku różnicy ciśnień i temperatur.



Rys. 1. Udział różnych źródeł promieniowania jonizującego w średniej rocznej dawce skutecznej, na podstawie [2]

Fig. 1. Share of various sources of ionizing radiation in the average annual effective dose, based on [2]

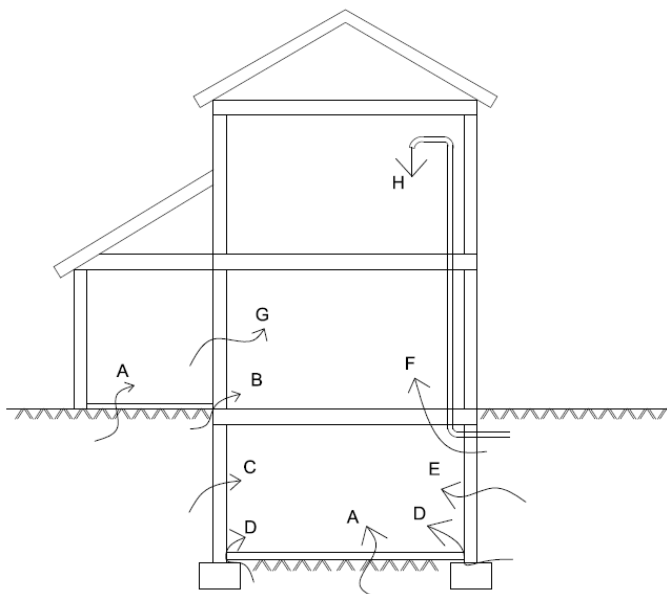
Radon i pochodne jego rozpadu odpowiadają za promieniowanie alfa wewnątrz budynków. Jest to promieniowanie o małej przenikliwości ale dużej zdolności jonizującej. Jego głównymi źródłami są przede wszystkim podłoże gruntowe oraz materiały budowlane z jakich jest zbudowany obiekt. W mniejszym stopniu źródłem radonu może być powietrze atmosferyczne, woda wodociągowa oraz gaz naturalny (ziemny), co zilustrowano w tabeli 1.

Migracja radonu z gruntu do pomieszczeń mieszkalnych odbywa się poprzez mikroszczeliny, pęknięcia i otwory konstrukcyjne w fundamentach lub nieszczelności otworów instalacyjnych. Ciepłe powietrze znajdujące się wewnątrz

Tabela. 1. Źródła radonu w modelowym budynku murowanym, na podstawie [5]

Table. 1. Sources of indoor radon in the model brick building, based on [5]

Źródło radonu	Mechanizm wnikania	Prędkość wnikania [Bq/m <sup>3</sup> /h]	Udział [%]
Podłoże gruntowe	dyfuzja, konwekcja	27,5	56
Materiały budowlane	emanacja, ekshalacja	10,0	21
Powietrze atmosferyczne (zewnątrzne)	transport	10,0	20
Woda wodociągowa	deemanacja	1,0	2
Gaz naturalny ziemny	spalanie	0,3	1



Rys. 2. Sposoby 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, na podstawie [6]

Fig. 2. Ways of entry radon into building: A – cracks in the foundations, B – connections of structural, C and E – pores and cracks in the foundations, D – floor and wall connections, F – leaks in the pipes, G – building materials, H – water used in the home, based on [6]

nagrzanego budynku działa jak pompa ssąca, wyciągając radon z gleby, niższych kondygnacji budynku oraz ze ścian zewnętrznych. Drogi wnikania radonu do budynku mieszkalnego przedstawiono na rys. 2.

Radon jest gazem szlachetnym, powstaje bezpośrednio w wyniku rozpadu promieniotwórczego pierwiastka radu (Ra-226), zawartego w skorupie ziemskiej. Rad z kolei powstaje jako produkt przemian promieniotwórczych uranu lub toru, które są składnikami skał magmowych, metamorficznych oraz pochodzenia osadowego. Stężenia radonu w wybranych formacjach geologicznych przedstawiono w tabeli nr 2.

Budowa geologiczna terenu może mieć istotny wpływ na zawartość radonu wewnątrz budynku. Potwierdzają to dane raportu rocznego Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki według których, najwyższe stężenia izotopu Ra-226 w glebie w 2014 r. zaobserwowano w województwie dolnośląskim – 128,3 Bq/kg, a jego średnia roczna wyniosła 41 Bq/kg. Drugie co do wielkości było województwo małopolskie – 57,6 Bq/kg, średnia roczna – 33,7 Bq/kg. Są to tereny bogate w złoża rud uranu oraz węgla kamiennego i brunatnego. Ich eksploatacja, a także szkody górnicze nią spowodowane, wpływają na dezintegrację warstw górotworów.

Tabela. 2. Stężenia radonu w wybranych formacjach geologicznych, na podstawie [7]

Table. 2. Concentrations of radon in selected geological formations, based on [7]

Materiał	Stężenie Ra-226 [Bq/kg]		Stężenie Ra-228 [Bq/kg]	
	średnia	zakres	średnia	zakres
Skały magmowe				
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
Skały posadowienia osadowego				
Wapień	25	0,4-223	7	0-45
Węgle	26	-	-	-
Piaskowce	19	-	-	-
Iły, iłolupki	50	14-198	35	8-223
Skały metamorficzne				
Gnejsy	50	1-1835	60	0,4-421
Łupki	37	1-657	49	0,4-368

Badania naukowe przeprowadzone na terenach Górnośląskiego Zagłębia Górniczego [8] dowodzą wysokiej korelacji pomiędzy stężeniami radonu w gruncie, a warunkami geologiczno-górnicznymi tego terenu. Wykazano, że podwyższone stężenia radonu obserwuje się m.in. w domach posadowionych na obszarach płytkiej eksploatacji złóż rudy i węgla oraz w rejonach intensywnej eksploatacji górniczej, gdzie migracja radonu do budynku jest ułatwiona poprzez naruszenie struktury gruntów, a także ewentualne uszkodzenia budynków. Przeprowadzone w 492 budynkach badania wykazały średnie stężenie radonu na parterze budynków mieszkalnych na poziomie  $46 \text{ Bq/m}^3$ , a w piwnicach  $77 \text{ Bq/m}^3$ . Najwyższe odnotowane stężenia dochodziły do  $490 \text{ Bq/m}^3$  na parterze i do  $860 \text{ Bq/m}^3$  w piwnicach.

Zgodnie z obowiązującą Dyrektywą Rady UE z dnia 5 grudnia 2013 r. [9], ujednolicającą prawodawstwo w państwach członkowskich w oparciu o najnowsze badania naukowe, ustanowiony został poziom odniesienia średniego rocznego stężenia radonu nie wyższy niż  $300 \text{ Bq/m}^3$  z możliwością zmiany tej wartości uzasadnioną warunkami krajowymi. Oznacza to, że dopuszczalna w Dyrektywie Rady UE wartość w niektórych przypadkach może być znacznie przekroczona.

### 3. Zagrożenia

Radon i produkty jego rozpadu wchłaniane są przez układ oddechowy człowieka wykazują działanie niekorzystne przede wszystkim na płuca [10]

Zatrzymane tam radioaktywne cząsteczki ulegają dalszym rozpadom emitując promieniowanie alfa oraz znikome promieniowanie gamma. Prowadzi to do uszkodzeń komórek płuc poprzez uszkodzenia DNA i mutacje, które mogą być bezpośrednią przyczyną zachorowania na raka płuc.

W latach 20. XX w. po raz pierwszy wyrażono przypuszczenie, że rozpoznany w XIX w. u niemieckich górników nowotwór płuc ma związek z narażeniem ich na wdychanie radonu. Dziś istnieją wystarczające dowody wskazujące na kancerogenne działanie radonu w stężeniach na które narażeni są górnicy w kopalniach [11]. W ostatnim czasie, obserwuje się wzrost zainteresowania występowaniem radonu w budynkach mieszkalnych i związanymi z tym zagrożeniami. Przeprowadzone badania wciąż jednoznacznie nie określiły korelacji pomiędzy występującym w pomieszczeniach budynków mieszkalnych promieniotwórczym gazem, a wzrostem liczby zachorowań na raka płuc [1]. W związku z powyższym, obecność radonu w obiektach budowlanych, szczególnie ich dolnych kondygnacjach jest od kilkunastu lat przedmiotem zainteresowań naukowców. Problemem spornym jest średni poziom jego występowania w budownictwie mieszkalnym i wpływ takiej ilości na zwiększenie ryzyka chorób nowotworowych.

Czynnikiem mającym dodatkowo niekorzystny wpływ na ryzyko zachorowania jest palenie tytoniu. W tabeli 3 przedstawiono porównanie ryzyka wystąpienia raka płuc wynikającego z ekspozycji na promieniowanie jonizujące z ryzykiem wynikającym z palenia tytoniu. Jak wynika z tych danych, prawdopodobieństwo zachorowania jest znacznie wyższe w przypadku palenia tytoniu niż z ekspozycji na promieniowanie. Jednakże uważa się, że oba czynniki są ze sobą synergiczne. Oznacza to, że u człowieka palącego papierosy, narażonego jednocześnie na wysokie stężenia radonu, ryzyko indukcji raka płuc znacząco wzrasta.

Tabela. 3. Porównanie wystąpienia raka płuc wynikającego z ekspozycji na promienie jonizujące z ryzykiem wynikającym z palenia tytoniu, na podstawie [12]

Table. 3. Comparison of lung cancer resulting from exposure to ionizing radiation risk arising from smoking, based on [12]

Względne ryzyko raka płuc	Liczba papiero- sów palona dziennie	Radon	
		kopalnie [WLM] <sup>2</sup>	mieszkania [Bq/m <sup>3</sup> ]
1,0	0	0	<40
4,6	1-9	735	4 500
7,5	10-19	1325	8 100
13,1	20-39	2470**	15 000**
16,6	≥40	3180**	19 600**

<sup>2</sup> WL (ang. Working Level) – jeden WL odpowiada dowolnej kombinacji krótkożyciowych pochodnych radonu w jednym litrze powietrza, które w trakcie rozpadu wyzwalają  $1,3 \times 10^5$  MeV w postaci energii cząstek alfa. Jednostka służąca do oceny ekspozycji na pochodne radonu. WLM (ang. Working Level Month) – ekspozycja na stężenie 1 WL przez 170 godzin (1 miesiąc) pracy. 1 WLM odpowiada  $2,08 \times 10^{-5} \text{ J/m}^3$  [Praca zbiorowa 2001]

#### 4. Sposoby redukcji stężeń radonu w budynkach

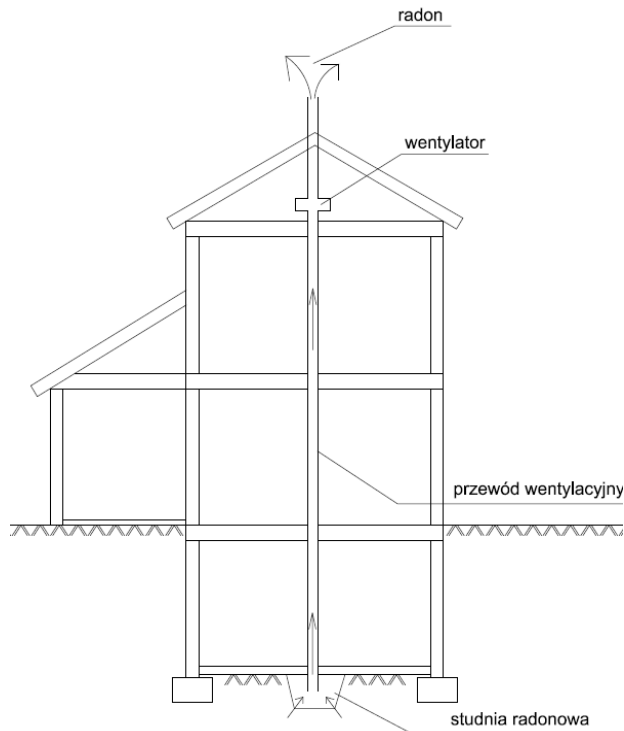
W krajach takich jak Anglia, Szwecja, Norwegia czy USA znaczna część zamieszkującego tam społeczeństwa może być narażona na bardzo wysokie stężenia radonu w swoich mieszkaniach (przekraczające nawet średnią roczną dawkę efektywną ustaloną przez międzynarodowe organizacje dla górników). Problem jest na tyle poważny, że na terenach wysokiego narażenia na promieniowanie często stosuje się techniki zabezpieczania przed radonem, tzw. budownictwo „radon safe”. W Polsce szacuje się, że około 10% powierzchni kraju to tereny wysokiego ryzyka radonowego, są to obszary południowo-zachodnie, południowe i południowo-wschodnie. W ich przypadku powinno się rozważyć zabezpieczanie nowo stawianych budynków przed radonem jeszcze na etapie budowy, bądź wdrożyć techniki redukcji stężeń radonu w obiektach już istniejących.

##### **Zabezpieczenia proponowane na etapie projektowania budynku [6]:**

- szczelna płyta fundamentowa o odpowiedniej grubości zaizolowana za pomocą: geomembran z tworzyw sztucznych, materiałów bitumicznych, wypraw hydrofobizujących oraz zapraw bezskurczowych,
- częściowa wymiana gruntu pod fundamentem oraz wymuszona wentylacja przestrzeni pod płytą fundamentową za pomocą rury montowanej przed wylaniem fundamentu,
- uszczelnienie konstrukcji na połączeniu płyty ze ścianą fundamentową (monolit),
- uszczelnienie przepustów w fundamencie doprowadzających media do budynku
- wybieranie materiałów budowlanych mających odpowiednie dokumenty dopuszczające je do stosowania w budownictwie: atest higieniczny, aprobaty.

##### **Zmiany proponowane w budynkach istniejących [6]:**

- usunięcie źródła radonu po przez wymianę gruntu wokół budynku,
  - uszczelnienie fundamentu przy podłogach, połączeniach ze ścianami fundamentowymi oraz przy przepustach doprowadzających media,
  - zastosowanie odpowiednich systemów wentylacji,
  - podwyższenie ciśnienia wewnątrz budynku do wartości wyższej niż na zewnątrz np. zastosowanie wentylacji mechanicznej,
  - zastosowanie pułapki radonowej będącej wgłębieniem w gruncie pod budynkiem z wentylatorem wyciągającym powietrze poza obrys budynku (rys.3)
- Jest to najskuteczniejsza metoda usuwania radonu w przypadku stwierdzonych przekroczeń jego stężenia.



Rys. 3. Schemat działania studni radonowej

Fig. 3. Scheme of working radon well

## 5. Podsumowanie

Radon i produkty jego rozpadu występujące w wysokich stężeniach w budynkach mieszkalnych mogą być zagrożeniem dla zdrowia ich mieszkańców. Wiedza na temat progu szkodliwości radonu na zdrowie nie jest jeszcze jasno sprecyzowana i udokumentowana. Wynika to z mnogości czynników mających wpływ na prawdopodobieństwo wystąpienia chorób nowotworowych. Na terenie Polski występuje stosunkowo niewiele obszarów o podwyższonym ryzyku radonowym. Przeprowadzone tam analizy wykazują jednak możliwość przekroczenia w budynkach mieszkalnych poziomu radonu dopuszczalnego przez Dyrektywę Rady UE [9]. W związku z powyższym należy prowadzić dalsze badania nad promieniowaniem jonizującym w budownictwie mieszkalnym. Należy również zabezpieczać nowopowstające budynki pod kątem przenikania promieniotwórczego gazu z gruntów oraz modernizować pod tym kątem budynki już istniejące.



## Literatura

- [1] Praca zbiorowa: Człowiek i promieniowanie jonizujące, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
- [2] Państwowa Agencja Atomistyki: Raport roczny. Działalność Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki oraz ocena stanu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w Polsce w 2014 roku, Warszawa 2015.
- [3] Główny Inspektorat Ochrony Środowiska: Atlas radiologiczny Polski 2011, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 2012.
- [4] Janik M.: Przenikanie radonu z gruntu do budynku. Modelowanie komputerowe i weryfikacja w budynkach mieszkalnych, praca doktorska, Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk, Kraków 2005.
- [5] Raport Komitetu Naukowego ONZ-UNSCEAR: The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations, 1993.
- [6] Korzeniowska-Rejmer E.: Radon w gruncie i techniki redukcji jego stężenia w obiektach budowlanych, Czasopismo Techniczne Ś, Środowisko, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, nr 1/2008.
- [7] Państwowa Agencja Atomistyki: Dane zebrane na podstawie pomiarów Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej wykonywanych na zlecenie Głównego Inspektora Ochrony Środowiska (GIOŚ), 2006.
- [8] Wysocka M.: Zależność stężeń radonu od warunków geologiczno-górnictwowych na terenie górnośląskiego zagłębia węglowego, Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko, nr 3/2002.
- [9] Dyrektywa Rady Unii Europejskiej z dnia 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/2003/122/Euratom.
- [10] Nazaroff W.: Nero A.: Radon and its Decay products in indoor air, John Wiley and Sons 1988.
- [11] International Agency for Research on Cancer (IARC): Summaries and Evaluations - Radon, tom 43, 1988.
- [12] UNSCEAR Report 2000, vol. II, Effects, United Nations, New York 2000.

## NATURAL RADIOACTIVITY OF RADON, ORIGIN, RISKS AND TECHNIQUES OF REDUCING ITS CONCENTRATIONS IN RESIDENTIAL BUILDINGS

### Summary

The article presents the current knowledge about radioactive radon and related risks, especially cancer. Radon and its decay products absorbed by the human respiratory system exhibit non-preferred effects, primarily on the lungs. They also have the largest share of exposure to radiation on Earth's inhabitants. Elevated radon concentration is observed in residential buildings. The gas widely present in the environment passes into buildings from the soil due to the difference of pressures and temperatures. Migration of radon from the soil to the living areas is done by mi-

crocracks, cracks and holes in the foundation or structural holes in installation. The warm air inside the heated building acts as a suction pump, pulling radon from the soil, the lower floors of the building and the walls. This article describes how to minimize its level in buildings, both existing and newly designed. The geological structure of the area appears to have a significant effect on the concentration of radon in ground, which results in the higher content inside buildings. The analysis of the current radiation situation of the country for the presence of elevated levels of radon was also made. Most exposed to elevated levels of radon are among the others houses sited in areas of shallow mining ore and coal, and in areas of intensive mining. On the Polish territory there is relatively few such areas. Analysis conducted there shows, however, that the level of radon could be exceeded in residential areas.

**Keywords:** radioactivity, protections, soil, building objects

*Przesłano do redakcji: 30.08.2016 r.*

*Przyjęto do druku: 15.09.2016 r.*

DOI: 10.7862/rb.2016.144