

MATERIAŁ OPRACOWANY NA POTRZEBY „KRAJOWEGO PLANU DZIAŁANIA W PRZYPADKU DŁUGOTRWAŁYCH ZAGROŻEŃ WYNIKAJĄCYCH Z NARAŻENIA NA RADON W BUDYNKACH PRZEZNACZONYCH NA POBYT LUDZI ORAZ W MIEJSCACH PRACY (MON POL. Z 12 LUTEGO 2021, POZ.169)”

Raport został opracowany w ramach zadań badawczych prowadzonych przez Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego PZH – Państwowy Instytut Badawczy finansowanych przez Ministra Zdrowia na podstawie umowy nr NIZP PZH-PIB/2021/1094/1056, ujętych w zadaniu 9 pn.: Opracowanie i realizacja programów w zakresie profilaktyki pierwotnej i wtórnej oraz promocji zdrowia.

AUTOR: DR HAB. MAŁGORZATA DOBRZYŃSKA, PROF. NIZP PZH – PIB WRAZ Z ZESPOŁEM ZAKŁADU ZAKŁAD HIGIENY RADIACYJNEJ I RADIOBIOLOGII NIZP PZH — PIB.



NARODOWY
INSTYTUT
ZDROWIA
PUBLICZNEGO
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY



Spis treści

POCHODZENIE I WYSTĘPOWANIE RADONU	3
WPŁYW RADONU NA ZDROWIE	5
RADON A PALENIE TYTONIU.....	9

Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego PZH - Państwowy Instytut Badawczy

ul. Chocimska 24, 00-791 Warszawa, Polska

Tel: +48 22 54 21 400, +48 22 54 21 200

www.pzh.gov.pl, e-mail: pzh@pzh.gov.pl

Regon: 000288461, NIP: 525-000-87-32

Pochodzenie i występowanie radonu

W skorupie ziemskiej występują naturalnie pierwiastki promieniotwórcze. Promieniotwórczość naturalna powstaje na drodze rozpadów jąder atomowych naturalnych pierwiastków radioaktywnych obecnych w glebie, skałach, powietrzu i wodzie. Jądra atomowe samorzutnie rozpadają się emitując przy tym cząstki α lub β albo promienie γ . Naturalne pierwiastki radioaktywne obecne są w minerałach, przyswajanych przez rośliny i zwierzęta oraz używanych jako materiały konstrukcyjne. Syntetyzowane są w atmosferze skąd przenikają do hydrosfery wskutek reakcji składników atmosfery z promieniowaniem kosmicznym. Ponadto, przenikają do środowiska wskutek działalności przemysłowej człowieka (1).

Szeregi promieniotwórcze to ciągi radionuklidów (radionuklid – jądro pierwiastka promieniotwórczego) powstających jeden z drugiego w wyniku naturalnych, spontanicznych przemian jądrowych α i β , kolejnych rozpadów promieniotwórczych. Szereg kończy się nuklidem stabilnym. W przyrodzie istnieją szeregi uranowo-radowy, torowy i uranowo-aktynowy. Te trzy szeregi składają się z 43 nuklidów promieniotwórczych (izotopów) będącymi odmianami 12 pierwiastków chemicznych. Wśród nich jest 11 metali ciężkich (uran, rad, protaktyn, tor, polon, ołów, bizmut, aktyn, tal, astat, frans), a jeden (radon) jest gazem. Jednym z produktów rozpadu promieniotwórczego **uranu (^{238}U)**, jest odkryty przez laureatkę Nagrody Nobla Marię Skłodowską-Curie promieniotwórczy **rad (^{226}Ra)**, którego produktem rozpadu jest **radon (Rn)** (1-2).

Radon został odkryty w 1900 roku przez Fridricha Ernsta Dorna. Początkowo nazywany był emanacją. Dopiero w 1923 roku Międzynarodowy Kongres Nauki o Promieniotwórczości nadał mu obecną nazwę. **Radon** powstający z rozpadu radu występuje w środowisku naturalnie **emituje głównie promieniowanie α i w mniejszym stopniu β** . W związku z tym, że jest gazem, może wydostać się z skorupy ziemskiej do atmosfery wchodząc w skład powietrza atmosferycznego. Radon rozpada się tworząc tak zwany szereg krótkożyciowych, również promieniotwórczych pochodnych, do których należą m.in. izotopy polonu, bizmutu i ołowiu. Produkty rozpadu radonu, które są ciałami stałymi, łatwo przyłączają się do aerozoli istniejących w powietrzu i w wyniku oddychania dostają się do płuc. Stąd wynika potencjalne zagrożenie dla zdrowia człowieka (3).

Najczęściej występującym w przyrodzie izotopem radonu jest ^{222}Ra . Izotopy to odmienne

postacie pierwiastków chemicznych, posiadające tę samą liczbę atomową (liczba protonów jądrze), ale inną liczbę masową (łączna liczba protonów i neutronów w jądrze). Radon i jego krótkożyłowe produkty rozpadu, będące reaktywnymi izotopami metali ciężkich, odpowiadają za **niemal połowę dawki promieniowania jonizującego** otrzymywaną przez mieszkańców Polski od źródeł naturalnych. **Roczna całkowita dawka skuteczna promieniowania jonizującego**, która określa stopień narażenia całego ciała na promieniowanie nawet przy napromieniowaniu tylko niektórych partii ciała, otrzymana przez statystycznego mieszkańca Polski **w 2020 roku** wynosiła **3,96 mSv**. Wielkość dawki utrzymuje się na zbliżonym poziomie przez kilka ostatnich lat. **Narażenie od źródeł naturalnych stanowi 61,9% całkowitej dawki skutecznej** i wynosi **ok. 2,45 mSv/rok**. Największy udział w tym narażeniu ma **radon i produkty jego rozpadu**, od których statystyczny mieszkaniec Polski otrzymuje dawkę wynoszącą **ok. 1,20 mSv/rok** (4).

Radon jest gazem bezbarwnym, bezwonny, pozbawionym smaku, niepalnym, jest ośmiokrotnie cięższy od powietrza. Rozpuszcza się w wodzie oraz w rozpuszczalnikach organicznych, świeci w ciemności i jest prawie całkowicie obojętny chemicznie. Najlepiej rozpuszcza się w zimnej wodzie, jego rozpuszczalność spada wraz ze wzrostem temperatury (2, 5).

Emisja radonu uzależniona jest od budowy geologicznej. Na podstawie typu podłoża można spodziewać się podwyższonego stężenia tego gazu. Podwyższonego stężenia radonu można spodziewać się tam gdzie występuje uran, rad lub tor, a zwłaszcza w regionach, gdzie występują granity, zmetamorfizowane skały magmowe oraz łupki, w których występują złoża uranu. Dlatego, w Polsce podwyższone stężenie radonu występuje w Sudetach, gdyż tam zlokalizowane były do lat 70 XX wieku kopalnie uranu. Typowa wartość aktywności właściwej radu w przypowierzchniowej warstwie skorupy ziemskiej wynosi około 35 Bq/kg, natomiast w Polsce kształtuje się w zakresie 5 – 120 Bq/kg, a średnia wartość wynosi ok. 26 Bq/kg (6).

Średnie stężenie ^{222}Rn w powietrzu atmosferycznym w Polsce wynosi ok. 10 Bq/m³ i różni się w zależności od obszaru kraju. Przykładowo wynosi, w Kowarach ok. 30 Bq/m³, w Świeradowie Zdroju ok. 24,1 Bq/m³, w Karpaczu ok. 8,7 Bq/m³, w Warszawie ok. 2,7 Bq/m³. Na podstawie wyników dotychczasowych badań można przypuszczać, że obszary podwyższonego ryzyka obejmują 10% obszaru kraju, gdzie stężenie radonu w gruncie przekracza 50 Bq/m³. Są to regiony południowe (7).

Wpływ radonu na zdrowie

Od 2015 roku z inicjatywy *Europejskiego Stowarzyszenia Radonowego (European Radon Association)* w dniu urodzin Marii Skłodowskiej-Curie (7 listopada) obchodzony jest *Europejski Dzień Radonu*. Celem Europejskiego Dnia Radonu jest **zwiększenie świadomości społeczeństwa na temat występowania radonu i związanych z tym konsekwencji zdrowotnych**.

Radon dostaje się do organizmu człowieka głównie wraz z wdychanym powietrzem atmosferycznym. Wdychana dawka tego pierwiastka zależy między innymi od jego stężenia w powietrzu, szybkości oddychania, obszaru płuc i głębokości wniknięcia do nich promieniotwórczych cząstek. Sam radon, jako gaz szlachetny nie stanowi dużego zagrożenia, gdyż nie wchodzi w reakcje z innymi cząsteczkami. Jest on jednak pierwiastkiem krótkożyciowym (okres połowicznego rozpadu to około 3,8 doby) i rozpada się na szereg innych pierwiastków, które są ciałami stałymi i mogą osadzać się w pęcherzykach płucnych, a następnie ulegać dalszym rozpadom podczas których emitowane są cząstki α i β . Szkodliwość radonu jest więc wynikiem stosunkowo szybkiego jego rozpadu, prowadzącego do powstania kilku krótkożyciowych pochodnych (^{222}Rn , ^{218}Po , ołów ^{206}Pb), również radioaktywnych. Pochodne radonu są wdychane wraz ze znajdującymi się w powietrzu pyłami, dymem tytoniowym, łącząc się z cząsteczkami płynu tworząc tzw. aerozole promieniotwórcze. **Do pęcherzyków płucnych dostają się jedynie cząstki najmniejsze, posiadające średnicę poniżej 0,1 μm . Cząstki o większych średnicach osadzają się w górnych drogach oddechowych, skąd mogą być usunięte podczas kaszlu w ciągu kilku godzin.** Najmniejsze cząstki migrują do pęcherzyków płucnych, emitują stąd promieniowanie α . Mogą przebywać tam przez miesiące lub lata, przyczyniając się do napromieniowania narządów wewnętrznych. **Drobne cząstki promieniotwórcze, mogą przenikać z pęcherzyków płucnych do krwi lub naczyń limfatycznych, a następnie przemieszczać się do węzłów chłonnych.** Rozpad pochodnych radonu (poprzez emisję cząstek α) na ściankach płuc ma istotny wpływ wielkość dawki otrzymanej przez organy wchodzące w skład układu oddechowego. Ich zatrzymanie w płucach może powodować uszkodzenia radiacyjne, prowadzące do rozwoju choroby nowotworowej. W ten sposób mogą zwiększać ryzyko występowania nowotworów płuc. **Promieniowanie jonizujące, a dokładnie radon i jego pochodne wdychane z powietrzem atmosferycznym są drugim po paleniu tytoniu czynnikiem decydującym**

o zapadalności na nowotwór płuc (8-12).

Głównym skutkiem zdrowotnym występowania radonu w wysokich stężeniach są choroby nowotworowe układu oddechowego. Emitowane podczas rozpadów promieniowania α i β mają zdolność jonizacji, czyli powodowania szeregu uszkodzeń w wyniku zderzeń z makrocząsteczkami takimi jak, białka, tłuszcze czy kwasy nukleinowe oraz stymulowania powstawania zwiększonej ilości szkodliwych wolnych rodników. Najbardziej niebezpiecznymi uszkodzeniami, wywołanymi przez promieniowanie, są zmiany w DNA, które mogą zakłócić prawidłowe funkcjonowanie całej komórki i w rezultacie prowadzić do powstania nowotworu. Ze względu na długi czas przebywania pochodnych radonu w pęcherzykach płuc, narząd ten jest szczególnie narażony na ich działanie. **Najważniejszym uszkodzeniem są zmiany w DNA, które mogą prowadzić do indukcji nowotworów układu oddechowego, głównie płuc oraz białaczki (13-14).**

Końcowym produktem procesów rozpadu radonu jest stabilny ołów ^{206}Pb , który może na stałe zostać wbudowany w organizm. Odkłada się on w pęcherzykach płucnych, z których przechodzi do krwiobiegu, a następnie wraz z krwią przenika do innych narządów. Przy dużym wchłanianiu tego pierwiastka, z czasem może dojść do objawów tzw. **ołowicy** i w rezultacie do uszkodzenia nerek, wątroby oraz układu nerwowego (15).

Już w XIX wieku opisano zwiększoną zapadalność na raka płuc wśród górników. Jednak dopiero w 1921 roku, analizując przypadki raka płuc u górników z czeskich i niemieckich kopalni, stwierdzono możliwy związek tej choroby z radonem. Podobne wyniki uzyskano w badaniach na zwierzętach narażanych na różne stężenia radonu i jego pochodne. Analiza zbiorcza *Komitetu Narodowej Akademii Nauk do spraw Biologicznych Efektów Promieniowania Jonizującego (BEIR)* przeprowadzona na przełomie XX i XXI wieku potwierdziła związek zwiększonej zapadalności na nowotwory płuc z narażeniem na radon (16-17).

Radon może osiągać szkodliwe stężenie również w pomieszczeniach mieszkalnych i biurowych. Przeprowadzona przez *Światową Organizację Zdrowia (WHO)* i opublikowana w 2009 roku analiza wyników badań na populacjach europejskiej, chińskiej i amerykańskiej, obejmująca łącznie 11 712 osób z rakiem płuca i 20 962 osób zdrowych, wykazała zależność liniową pomiędzy czasem narażenia i stężeniem radonu, a ryzykiem rozwoju raka płuca (18).

Udowodniono, że stałe narażenie na wdychanie radonu i jego pochodnych jest szkodliwe, jednak

od wielu lat wiadomo też, że **radon może działać prozdrowotnie**. W związku z tym, jest wykorzystywany w medycynie, głównie w zabiegach kąpielowych, do płukania jamy ustnej, do picia i inhalacji. Do terapii radonowych wykorzystuje się wody lecznicze pochodzące z naturalnych źródeł lub z odwiertów, rzadziej z wyrobisk po kopalniach uranowych. Za wody radoczynne uznaje się te o zawartości radonu powyżej 74 Bq/l, a za posiadające działanie lecznicze podczas kąpeli te o zawartości Rn powyżej 370 Bq/l (19-21).

Działanie wód radonowych opiera się na założeniu, że niewielkie dawki promieniowania indukują naprawę DNA w komórkach. Wykazano, że przy dawkach poniżej 100 mSv aktywowane są mechanizmy obronne prowadzące do eliminowania uszkodzonych komórek lub do naprawy uszkodzeń DNA. Według światowych obserwacji **korzystne działanie małych dawek promieniowania przeważa nad potencjalnym ryzykiem**. Przykładem są mieszkańcy japońskiego regionu Misasa, którzy korzystają ze znanych od 800 lat naturalnie radioaktywnych gorących źródeł (9,5 kBq/l, temp. 65°C). Pomimo, że tamtejsza ludność korzysta z nich nawet kilka razy dziennie, nie stwierdzono w tej populacji zwiększonej liczby mutacji, bezpłodności czy zaburzeń w obrazie morfologii krwi. Wręcz przeciwnie, częstość zgonów z powodu nowotworów jest tam prawie dwukrotnie niższa niż w okolicznych miejscowościach. Prozdrowotne działanie radonu potwierdza słuszność teorii, tzw. hormezy radiacyjnej, która zakłada, że niewielkie dawki promieniowania działają stymulująco na naprawę DNA w organizmie i aktywują mechanizmy ochronne neutralizujące wolne rodniki. To samo promieniowanie w dużych dawkach jest szkodliwe (22-23).

Uznaje się, że działanie terapii radonowej jest dwuetapowe. W pierwszym etapie działa bezpośrednio i krótkotrwale promieniowanie α , emitowane podczas rozpadu radonu. Obejmuje to czas stosowania zabiegu i krótki czas po jego zakończeniu. W drugim etapie oddziałuje promieniowanie β i γ , pochodzące z dalszych rozpadów pochodnych radonu. To działanie zaczyna się po zastosowaniu kilku zabiegów i polega na bezpośrednim lub pośrednim działaniu na gruczoły wydzielania wewnętrznego. Efekt tego oddziaływania można zauważyć po około 2 tygodniach od rozpoczęcia kuracji, a jego utrzymywanie się nawet przez 2-3 miesiące po zakończeniu terapii (24).

Badania naukowe potwierdzają korzystne działanie kąpeli radonowych w chorobach obwodowego układu nerwowego, reumatycznych i narządu ruchu. Stosuje się je także w niewydolności wieńcowej, dychawicy oskrzelowej, nadciśnieniu tętniczym i chorobach naczyń obwodowych, a także w zaburzeniach okresu przekwitania oraz niepłodności męskiej i żeńskiej. W wyniku terapii radonem

następuje zwiększenie wydzielania hormonów kory nadnerczy (adrenaliny i noradrenaliny), a także hormonów płciowych żeńskich i męskich. Zabiegi tego typu dobrze także wpływają na skórę. Poprawiają jej ukrwienie i elastyczność, radon ma także działanie antyalergiczne, przeciwzapalne i przeciwświądowe. Przede wszystkim jednak, kąpiele w wodach radoczynnych dają efekty przeciwbólowe, utrzymujące się nawet do 12 miesięcy po zakończeniu kuracji. Dlatego radonoterapia jest pomocna w leczeniu zmian zwyrodnieniowych stawów, kręgosłupa, a także w stanach po urazach i złamaniach (25).

Istnieją jednak przeciwwskazania do stosowania inhalacji i kąpeli radonowych, z których najważniejsze to istniejące już choroby nowotworowe, niewydolność krążenia czy padaczka. Ponadto, brakuje badań potwierdzających całkowite bezpieczeństwo stosowania inhalacji radonowych. Jednak, przede wszystkim ich pozytywny i długotrwały wpływ przeciwbólowy, a przy tym możliwość ograniczenia stosowania środków farmakologicznych oraz inne korzyści zdrowotne sprawiają, że są one nadal chętnie stosowaną terapią w leczeniu wielu schorzeń (11).

Radon a palenie tytoniu

Szkodliwość palenia tytoniu jest już powszechnie znana. Uważa się, że aktywne palenie odpowiada za około 90 % zachorowań na raka płuc. Natomiast, niewiele osób zdaje sobie sprawę, że kolejnym decydującym o zapadalności na nowotwór płuc czynnikiem jest promieniowanie jonizujące, a dokładnie wdychanie promieniotwórczego pierwiastka jakim jest radon. Radon i jego pochodne są odpowiedzialne za znaczną liczbę nowotworów płuc (26-27).

Według Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) radon jest drugim, tuż po paleniu tytoniu, najgroźniejszym czynnikiem wywołującym raka płuc na świecie, a u osób niepalących może być nawet główną przyczyną nowotworu. Często narażenie to uważane jest za porównywalne z paleniem tytoniu. W związku z doniesieniami odnośnie związku narażenia na radon z ryzykiem wystąpienia raka płuc, w 1988 r. Międzynarodowa Agencja do Spraw Badań nad Rakiem (IARC) zakwalifikowała radon do grupy 1 kancerogenów. W 2005 r. Amerykańska Agencja ochrony Środowiska (EPA) uznała ekspozycję na radon w pomieszczeniach za drugi po paleniu tytoniu czynnik ryzyka wystąpienia nowotworu płuc u osób palących oraz jako pierwszy u niepalących. Wzrost liczby przypadków raka płuc można zaobserwować już przy stężeniu radonu poniżej 200 Bq/m³. Według Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) od 3 do 14 % przypadków raka płuc na świecie jest spowodowane przez radon w pomieszczeniach. Natomiast, Komitet Naukowy Organizacji Narodów Zjednoczonych ds. Skutków Promieniowania Atomowego (UNSCEAR) szacuje, że radon powoduje 1 na 10 przypadków nowotworów płuc. Z kolei badania polskie sugerują, że radon jest przyczyną 9 % przypadków raka płuc (18, 26, 28-31).

Ponadto, radon istotnie zwiększa ryzyko nowotworu u palaczy i odwrotnie, palenie sprzyja rozwojowi raka płuc przy narażeniu na radon i jego pochodne. Występuje tu zjawisko synergizmu, czyli wzajemnego wzmocnienia się działania dwóch czynników szkodliwych. Niekorzystny wpływ radonu i palenia tytoniu łącznie jest większy niż suma efektów obu czynników. Ryzyko wystąpienia raka płuc u palaczy narażonych na działanie radonu jest ok. 6-10 razy wyższe niż w przypadku osób niepalących (17, 28, 32).

Według Agencji Ochrony Środowiska, (EPA) ekspozycja na radon na poziomie do 148 Bq/m³ w ciągu całego życia spowoduje rozwój raka płuca u 7 osób spośród 1000 niepalących i aż u 63 osób

spośród 1000 palących tytoń. Wyniki szwedzkich badaczy potwierdziły, że w przypadku jednakowych stężeń radonu ryzyko wystąpienia raka płuc u osób, które nigdy nie paliły było czterokrotnie niższe niż dla ogółu populacji i dziesięciokrotnie niższe niż ryzyko nowotworu u palących jedną paczkę papierosów dziennie (16, 33).

Osoby palące wdychają radon pochodzący z dymu papierosowego. Toksyczny dym papierosowy, wdychany w pomieszczeniu o wysokim stężeniu radonu wnika głęboko do płuc. Tytoń może być nawożony fosfatami zawierającymi uran, z którego w wyniku rozpadu powstają: rad-226, radon-222, ołów-210 i polon-210. Zawartość tych pierwiastków radioaktywnych w dymie tytoniowym może być różna w zależności od rejonu upraw, sposobu nawożenia i technologii wytwarzania papierosów, dlatego trudno określić, jaką dawkę promieniowania wdychają palacze. Jednak amerykańscy lekarze szacują, że człowiek palący półtorej paczki papierosów dziennie przez rok otrzymuje dawkę promieniowania odpowiadającą 300 zdjęciom rentgenowskim (34).

Palenie bierne jest uważane za trzecią, po nadużywaniu alkoholu i aktywnym paleniu papierosów, przyczyną śmierci, której można uniknąć. W związku istniejącymi obecnie zakazami palenia w miejscach publicznych, na bierne wdychanie dymu tytoniowego jesteśmy najbardziej narażeni we własnych domach, jeśli mieszkamy z osobą aktywnie palącą. Udowodniono, że osoba codziennie wdychająca bierne dym tytoniowy ma wyższe o 15 % ryzyko zgonu w porównaniu do osoby, która nie przebywa z osobami palącymi. Osoby bierne wdychające dym tytoniowy również pochłaniają wspomniane wcześniej pierwiastki promieniotwórcze zawarte w tytoniu, w tym radon, gdyż co najmniej połowa z tych izotopów ulatnia się do otoczenia. Uważa się, że dzieci są 1,5-2 razy bardziej wrażliwe na działanie wdychanego radonu i jego pochodnych niż osoby dorosłe. Badania przeprowadzone w Wielkiej Brytanii wykazały, że narażenie na radon w pomieszczeniach powoduje 1100 zgonów na raka płuc rocznie u osób palących obecnie i w przeszłości. **palącymi** (2, 35-36).

Piśmiennictwo

1. Encyklopedia Fizyki (praca zbiorowa) (1974) T.III. Warszawa. PWN
2. Cothorn CR, Smith, Jr., JE (1987) „Environmental Radon”, Environmental Science Research, Volume 35, Plenum Press, New York.
3. Radionuclide Data (1997) Environmental Measurements Laboratory, U.S. Department of Energy. Section 5. Vol. I. 28th Edition
4. Raport Roczny Prezesa PAA 2021
5. Eisenbud M, Gessell T (1997) “Environmental Radioactivity from Natural, Industrial and Military Sources”, Academic Press, USA, 4th Edition
6. Atlas Radiologiczny Polski (2011). Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej. Biblioteka Monitoringu Środowiska 2012.
7. Szot Z (1993) Rad i Radon w środowisku oraz skutki ich wniknięcia do organizmu człowieka. Postępy Techniki Jądrowej, Vol. 36, Z. 1-2, Warszawa
8. Toxological profile for radon (2012) Agency for Toxic Substances and Disease Registry, U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry
9. Fuks L., Mamont-Cieśla K., Kusyk M. (2000) Badania polskich węgli aktywnych przeznaczonych do sorpcji i detekcji radonu. Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa
10. Mostafa A.M.A, Tamaki K., Moriizumi J. i wsp.(2011) The weather dependence of particle size distribution of indoor radioactive aerosol associated with radon decay products. *Radiat Prot Dosim* 146(1-3): 19-22.
11. Biłska I. (2016) Wpływ radioaktywnego radonu i jego pochodnych na zdrowie człowieka. *Environ Med*, 19, 1: 51-56.
12. Biermann AH, Sawyer SR (1995), *Attachment of Radon Progeny to Cigarette-Smoke Aerosols*, Lawrence Livermore National Laboratory.
13. Field RW (1999). „Radon Occurrence and Health Risk”. Department of Occupational and Environmental Health, Department of Epidemiology College of Public Health, university of Iowa
14. Rericha V, Kulich M, Rericha R, Shore DL, Sandler D (2006) Incidence of leukemia, lymphoma, and multiple myeloma in Czech uranium miners: a case-cohort study. *Environ Health Perspect* 114 (6), s. 818–822.
15. Dumieński M. (2008) Narazenie na ołów. Broszura dla pracowników wykonujących pracę w narażeniu na ołów. Fundacja na rzecz dzieci „Miasteczko Śląskie”, Miasteczko Śląskie.
16. Lebecka J (1995) Radon w kopalniach. Bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna. *Biuletyn informacyjny PAA*, 23: 21-39.
17. Harat A, Rogala D, Leksowski K (2014) Rak płuca w kontekście czynników cywilizacyjnych i polityki zdrowotnej Polski oraz Unii Europejskiej. *Pielęgniarstwo polskie*. 2(52): 144-149.
18. World Health Organization (2009) WHO Handbook on indoor radon: a public health perspective. Geneva:WHO; 1-94.
19. IMU. Instytut Medycyny Uzdrowiskowej (1988) Tymczasowa instrukcja stosowania naturalnych tworzyw balneoterapeutycznych zawierających radon-222 i pochodnych. Poznań
20. Konys J, Mackiewiczowa U (1972) Wpływ promieniowania niskich aktywności na ustrój pracowników zatrudnionych przy zabiegach radonowych w Łądku Zdroju i Świeradowie Zdroju. *Balneologia Polska*. tom XII, z. 1/2: 39-46.
21. Kochański JW (1992) Kuracja w Łądku Zdroju. Łądek Zdrój.
22. Academie de Science – Akademie Nationale de Medicine (2005) Dose-effect relationships and estimation of the carcinogenic effects of low doses of ionizing radiation
23. Morinaga H.(1998) Medical experiences in the Japanese radon spa Misasa. *Z. Phys. Med. Baln. Med. Wochenschr.* 97: 332-333.
24. Halawa B. (1987) Mechanizm działania radonu na organizm ludzki w świetle badań własnych. *Problemy Uzdrowiskowe*. 1-2: 45-52.

25. Franke A., Reiner L., Resch K. L. (2007) Long-term benefit of radon spa therapy in the rehabilitation of rheumatoid arthritis: a randomized, double-blinded trial. *Rheumatol Int*; 27(8): 703-713.
26. Kim S.H., Hwang W.J., Cho J.S., et al. (2016) Attributable risk of lung cancer deaths due to indoor radon exposure. *Ann Occup Environ Med*. 28;1 - 8.
27. Allison W (2009) Radiation and reason: the impact of sciences on a culture of fear. York Publishing Service.
28. Lino AR, Abrahao CM, Amarante MP, et al. (2015) The role of the implementation of policies for the prevention of exposure to Radon in Brazil - a strategy for controlling the risk of developing lung cancer. *Ecancer medical science* 14; 9: 572.
29. Noh J, Sohn J, Cho J et al (2016) Residential radon and environmental burden of disease among nonsmokers. *Ann Occup Environ Med*. 28, 1-12.
30. Melloni BBM (2014) Lung cancer in never-smokers: radiation exposure and environmental tobacco smoke. *Eur Respir J*, 44(4), 850-2.
31. UNSCEAR (2011) Sources of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the effects of Atomic Radiation. Report of General Assembly with annexes. New York, United Nations.
32. Adamczyk-Lorenc A (2007) Tło hydrogeochemiczne radonu w wodach podziemnych Sudetów. Politechnika Wrocławska, Wrocław.
33. Yoon JY, Lee JD, Joo SW, et al. (2016) Indoor radon exposure and lung cancer: a review of ecological studies. *Ann Occup Environ Med*, 28; 1-15.
34. Papastefanou C (2009) Radioactivity of tobacco leaves and radiation dose induced from smoking. *Int J Environ Res Public Health*. 6(2): 558-567.
35. Glantz SA, Palmrey WW (1991) Passive smoking and heart disease. *Epidemiology, physiology and biochemistry Circulation* 83: 1-12.
36. AGIR (2009) Radon and public health. Report of Independent Advisory Group on Ionizing Radiation. Chilton, Doc. HPA, RCE-11, 1-240.