

Katarzyna Walczak
Marek Zmysłony

SZACOWANIE DAWEK EFEKTYWNYCH POCHODZĄCYCH OD RADONU W WYBRANYCH PLACÓWKACH GEOTERMALNYCH SPA NA PODSTAWIE INFORMACJI O STĘŻENIACH RADONU

ESTIMATION OF EFFECTIVE DOSES DERIVED FROM RADON IN SELECTED SPA CENTERS THAT USE GEOTHERMAL WATERS
BASED ON THE INFORMATION OF RADON CONCENTRATIONS

Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera / Nofer Institute of Occupational Medicine, Łódź, Poland
Zakład Ochrony Radiologicznej / Department of Radiological Protection

STRESZCZENIE

Wstęp: W wodach geotermalnych znajduje się m.in. rozpuszczalny gaz – α -promieniotwórczy radon, który stanowi zagrożenie dla zdrowia człowieka, szczególnie po przedostaniu się do jego dróg oddechowych. Ośrodki SPA, które wykorzystują wody geotermalne, mogą stanowić źródło zwiększonej dawki promieniowania dla osób w nich przebywających. Celem pracy było oszacowanie dawek otrzymanych przez pracowników i kuracjuszy zażywających relaksu na podstawie informacji o stężeniu radonu dostępnych w publikacjach naukowych. **Materiał i metody:** Analizowano wartości stężeń radonu w 17 geotermalnych placówkach: 3 w Grecji, 5 w Iranie, 4 w Chinach i 5 w Indiach. Z wykorzystaniem zależności mówiącej, że 1-godzinna ekspozycja na stężenie radonu 1 Bq/m^3 przy współczynniku równowagi $F = 0,4$ odpowiada dawce efektywnej $3,2 \text{ nSv}$, oszacowano dawki otrzymane przez ludzi przebywających w SPA. **Wyniki:** Stwierdzono, że poziom stężeń radonu w SPA jest od kilku do kilkunastu razy wyższy od stężenia w zamkniętych pomieszczeniach, np. w budynkach mieszkalnych, w których nie wykorzystuje się wód geotermalnych. W 82% analizowanych SPA istniało niebezpieczeństwo otrzymania przez pracownika dawki wyższej niż 1 mSv/rok , co zgodnie z polskim prawodawstwem kwalifikuje taką osobę do kategorii B narażenia radiacyjnego (m.in. do objęcia kontrolą dozymetryczną). Dawki pochłonięte przez kuracjuszy są dużo niższe ze względu na ich krótki czas przebywania w narażeniu na radon emitowany przez wody geotermalne. **Wnioski:** Analiza stężeń radonu w placówkach SPA pokazuje, że temat ochrony radiologicznej osób pracujących przy wodach geotermalnych jest istotny. Należałoby objąć takich pracowników geotermalnych kontrolą dozymetryczną. Med. Pr. 2013;64(2):193–198

Słowa kluczowe: radon, geotermalne SPA, narażenie zawodowe, kuracjusz SPA

ABSTRACT

Background: Geothermal waters contain, among other components, soluble radon gas. Alpha radioactive radon is a health hazard to humans, especially when it gets into the respiratory tract. SPA facilities that use geothermal water can be a source of an increased radiation dose to people who stay there. Based on the available literature concerning radon concentrations, we assessed exposure to radon among people – workers and visitors of Spa centers that use geothermal waters. **Material and Methods:** Radon concentrations were analyzed in 17 geothermal centers: in Greece (3 centers), Iran (5), China (4) and India (5). Doses received by people in the SPA were estimated using the formula that 1 hour exposure to 1 Bq/m^3 of radon concentration and equilibrium factor $F = 0,4$ corresponds to an effective dose of 3.2 nSv . **Results:** We have found that radon levels in SPAs are from a few to several times higher than those in confined spaces, where geothermal waters are not used (e.g., residential buildings). In 82% of the analyzed SPAs, workers may receive doses above 1 mSv/year . According to the relevant Polish regulations, people receiving doses higher than 1 mSv/year are included in category B of radiation exposure and require regular dosimetric monitoring. Doses received by SPA visitors are much lower because the time of their exposure to radon released from geothermal water is rather short. **Conclusions:** The analysis of radon concentration in SPA facilities shows that the radiological protection of people working with geothermal waters plays an important role. It seems reasonable to include SPA workers staying close to geothermal waters into a dosimetric monitoring program. Med Pr 2013;64(2):193–198

Key words: radon, geothermal SPA, occupational exposure, worker, SPA visitor

Adres autorów: Zakład Ochrony Radiologicznej, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera,
św. Teresy 8, 91-348 Łódź, e-mail: kwalczak@imp.lodz.pl
Nadesłano 11 stycznia 2013, zatwierdzono: 15 marca 2013

WSTĘP

Wykorzystywanie wód geotermalnych jest w dzisiejszych czasach coraz bardziej popularne. Stosuje się je w wielu dziedzinach życia, m.in. w rekreacji. Wody geotermalne mogą powstawać na 3 sposoby (1):

- woda podgrzewana jest przez energię ciepłą Ziemi – ogrzewa się, przenikając przez gorące skały głęboko w skorupie ziemskiej,
- woda pochodząca z deszczu przenika do gleby i miesza się z istniejącymi już źródłami termalnymi,
- woda znajdująca się w strefach wulkanicznych ogrzewana jest przez kontakt z gorącą magmą.

Źródła wód geotermalnych sięgają daleko w głąb ziemi. Woda przesączając się przez warstwy litosfery, wypłukuje z niej różne substancje (w tym pierwiastki promieniotwórcze). W wodach geotermalnych znajduje się m.in. gazowy, rozpuszczalny w wodzie pierwiastek promieniotwórczy – radon ^{222}Rn . Jest on produktem rozpadu radu ^{226}Ra , który powstaje na skutek przemian radioaktywnych zachodzących w łańcuchu promieniotwórczym, mającym początek w naturalnym izotopie – uranie ^{238}U . Radon i niektóre produkty jego rozpadu (polon ^{218}Po , ołów ^{214}Pb i polon ^{214}Po) emitują m.in. cząstki α , które stanowią zagrożenie dla ciała ludzkiego, ponieważ jonizując cząsteczki (przekazując im dużą energię), mogą indukować zmiany w strukturze zbudowanych z nich tkanek. Zmiany takie mogą polegać m.in. na powstaniu i utrwaleniu błędów w łańcuchu DNA, a w wyniku tego – prowadzić do mutacji czy procesu nowotworzenia.

Organizm ludzki jest pokryty naskórkiem, który jest barierą ochronną przed wieloma czynnikami zewnętrznymi. Uznaje się, że sam radon przenika przez skórę w niewielkich ilościach, bo zaledwie w 5%, jednak jego przenikanie znacznie wzrasta przy podwyższonej temperaturze i wilgotności (2). Zasięg cząstek α w tkance nie przekracza kilku mikronów, dlatego można uznać, że jeśli naskórek jest nieuszkodzony, radon w wodzie nie stanowi większego zagrożenia radiacyjnego dla człowieka. Z kolei przez płuca radon jest wchłaniany w 95%. Dzieje się tak, ponieważ układ oddechowy człowieka nie jest wyściełany naskórkiem, ale delikatnym nabłonkiem, który łatwo daje się jonizować. Według publikacji Światowej Organizacji Zdrowia (World Health Organization – WHO) (3) w niektórych rejonach Europy radon jest drugim (po paleniu papierosów) czynnikiem powodującym raka płuc.

System krążenia wód podziemnych i dobra rozpuszczalność radonu w wodzie powodują, że nawet poza strefą występowania związków uranu mogą po-

wstawać nieoczekiwanie wysokie koncentracje radonu. Jest on gazem bezwonny i bezbarwny, dlatego jest niezauważalny bez użycia specjalistycznego sprzętu. Jednocześnie należy pamiętać, że zgodnie z prawem Henry'ego (które opisuje zachowania ciekłych mieszanin dwuskładnikowych) wraz ze wzrostem temperatury wody spada rozpuszczalność radonu w wodzie, a wzrasta jego stężenie w powietrzu (4). Wobec tego w słabo wentylowanych, zamkniętych obiektach placówek SPA wykorzystujących wody geotermalne stężenie radonu w powietrzu może osiągać wyższe wartości niż w innych zamkniętych pomieszczeniach, np. w budynkach mieszkalnych, gdzie radon pochodzi głównie z gruntu.

Wobec powyższych informacji rodzi się pytanie, czy w placówkach wykorzystujących ciepłe wody podziemne dawki promieniowania, na jakie narażony może być personel czy kuracjusze, nie są zbyt wysokie i czy nie należałoby wprowadzić regularnego monitoringu stężenia radonu w powietrzu w tych ośrodkach. Należy podkreślić, że w Polsce ok. 11 placówek wykorzystuje wody geotermalne do celów rekreacyjnych, a 12 znanych źródeł termalnych nie jest jeszcze eksploatowanych (5). Według danych posiadanych przez autorów niniejszego artykułu w żadnym z tych ośrodków nie mierzono stężenia radonu w powietrzu.

W niniejszym artykule zestawiono i przeanalizowano dane literaturowe dotyczące stężenia radonu w powietrzu kilkunastu placówek SPA na świecie, w których wykorzystuje się wody geotermalne do celów rekreacyjnych. Celem pracy było oszacowanie narażenia układu oddechowego zarówno kuracjuszy, jak i pracowników ośrodka.

MATERIAŁ I METODY

W ramach niniejszego badania analizowano wartości stężenia radonu zmierzone w 4 placówkach w Chinach (6), 3 w Grecji (7), 5 w Iranie (8) i 5 w Indiach (9). W ośrodkach w Indiach i Iranie ciepłe wody wykorzystuje się w basenach geotermalnych (odpowiednio: otwartych i zamkniętych), a w placówkach SPA w Grecji oferuje się kąpiele relaksacyjno-lecznicze w wannach wypełnionych wodą geotermalną. Podobnie wykorzystuje się ją w Chinach, gdzie omawiane placówki są hotelami, a wanny do rekreacyjnych kąpiele znajdują się w wyposażeniu każdego hotelowego pokoju (6).

Autorzy analizowanych publikacji nie podali, na jakiej wysokości pomieszczenia wykonano pomiary stężenia radonu w powietrzu. W niniejszej publikacji przyjęto, że próbki powietrza pobrano na wysokości

tw. strefy oddychania. Wszystkie pomiary wykonano za pomocą dozymetrii aktywnej, dzięki której wynik uzyskuje się prawie natychmiast. Dozymetria aktywna polega na tym, że pobiera się próbę z powietrza i mierzy ją za pomocą aparatury specjalistycznej w krótkim czasie od wykonania pomiaru. Następnie uwzględniając czas połowicznego zaniku mierzonego pierwiastka, oblicza się jego stężenie w powietrzu. Na podstawie danych o stężeniu można wyznaczyć dawki.

Autorzy niniejszej publikacji wyznaczyli dawki pochodzące od radonu w ośrodkach z Chin i Indii (6,9). Dane dotyczące placówek z Grecji pochodzą z publikacji Voggiannisa i wsp. (7). Z kolei dla Iranu Beitollahi i wsp. (8) podali tylko średnią wartość dawek od radonu dla wszystkich analizowanych przez nich SPA, dlatego autorzy niniejszego artykułu dokonali własnych obliczeń dawek pochodzących od radonu, ponieważ celem pracy było porównanie dawek w poszczególnych placówkach. W obliczeniach przyjęto następujące założenia:

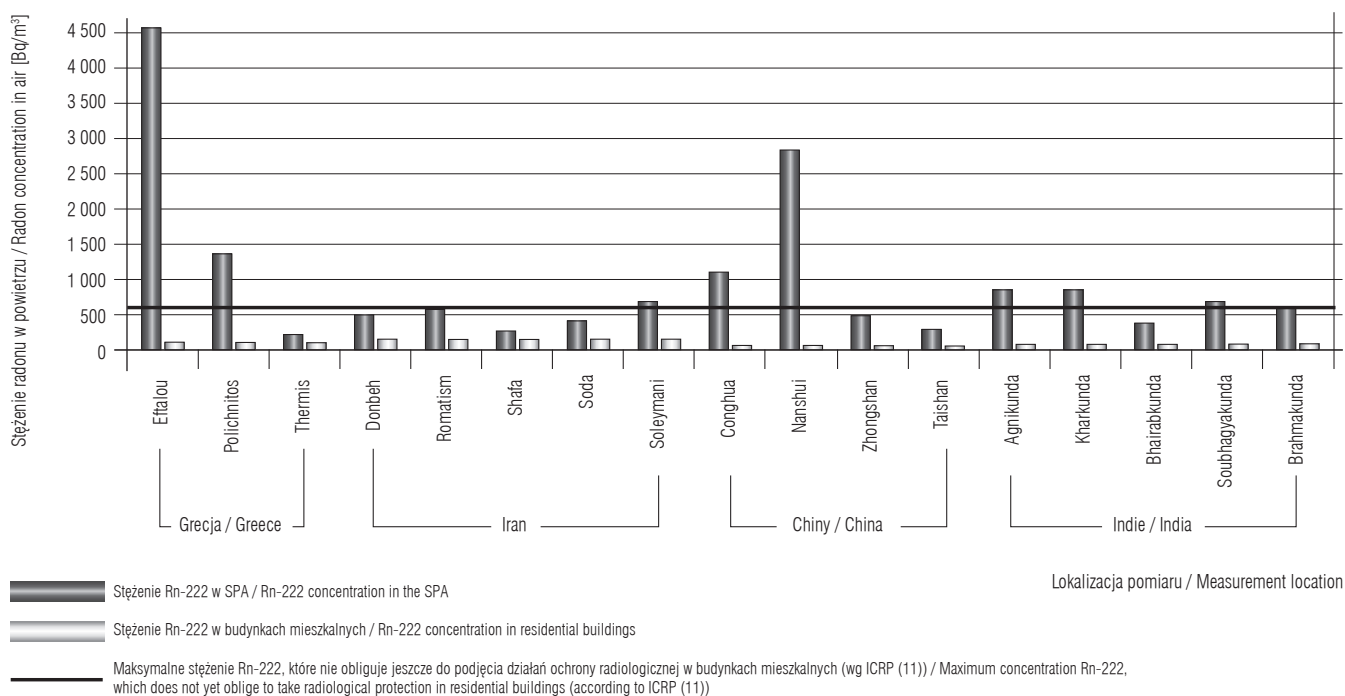
1. Ekspozycja 1-godzinna na stężenie radonu 1 Bq/m^3 przy współczynniku równowagi $F = 0,4$ odpowiada dawce efektywnej $3,2 \text{ nSv}$ (10) (współczynnik równowagi F jest zdefiniowany jako stosunek stężenia radonu do stężenia energii potencjalnej promieniowania α krótkożyłowych produktów rozpadu radonu).

2. Pracownik SPA rocznie spędza w pracy 2000 godzin, a kuracjusz korzysta z usług ośrodka geotermalnego 75 godzin rocznie (średnio z 30 wejść po 2,5 godziny). Jeśli autorzy prac źródłowych szacowali inny czas narażenia na radon, wyniki ich obliczeń dawek zostały zastąpione wynikami obliczeń własnych (w celu umożliwienia porównań).
3. Niepewność wyliczonej dawki można szacować metodą różniczki zupełnej, przyjmując, że niepewność przedziałów czasu wynosi 20%, a niepewność podanych w literaturze stężeń radonu – 10%.
4. Narażenie szacowano na podstawie stężeń radonu. Jeśli w materiałach źródłowych podanych było kilka stężeń radonu, w obliczeniach wykorzystywano wartość maksymalną (ze względu na założenia ochrony radiologicznej).

WYNIKI

Wartości stężeń radonu w powietrzu w omawianych placówkach (6–9) przedstawiono na rycinie 1., a wyniki szacowania dawek w tabeli 1.

Jak wynika z danych umieszczonych na rycinie 1. stężenia radonu w geotermalnych SPA są stosunkowo wysokie. Na wykresie zestawiono stężenie radonu



Ryc. 1. Stężenie radonu w powietrzu w placówkach SPA, w których wykorzystuje się wody geotermalne, i w mieszkaniach, w których się ich nie stosuje (6–9)

Fig. 1. Radon concentrations in the atmosphere of SPA facilities that use geothermal water and concentrations of radon in the atmosphere of dwellings that do not use geothermal water heating in individual countries (6–9)

Tabela 1. Stężenie radonu w powietrzu analizowanych placówek wykorzystujących wody geotermalne (6–9) oraz dawki, na które narażeni są ich pracownicy i kuracjusze

Table 1. Calculated values of doses to which SPA workers and visitors are exposed, and radon concentrations in the atmosphere of SPA centers that use geothermal water (6–9)

Lokalizacja (państwo, miasto) Location (country, city)	Stężenie Rn ²²² w powietrzu Radon concentrations in the atmosphere [Bq/m ³]	Dawka roczna ± błąd względny [mSv/rok] Annual dose ± relative error [mSv/year]	
		pracownik (narażenie na radon: 2000 godz. w roku) worker (exposure to radon: 2000 h/year)	kuracjusz (narażenie na radon: 75 godz. w roku) visitor (exposure to radon: 75 h/year)
Grecja / Greece			
Eftalou	4 570, 842*	4,55 ^a ±1,02	0,15 ^a ±0,02
Polichnitos	1 372, 346*	2,09 ^a ±0,47	0,07 ^a ±0,01
Thermis	227	0,76 ^a ±0,17	0,030 ^a ±0,003
Iran			
Donbeh	485	3,10 ^b ±0,69	0,12±0,01
Romatism	570	3,65 ^b ±0,82	0,14±0,01
Shafa	275	1,76 ^b ±0,39	0,07±0,01
Soda	407	2,60 ^b ±0,58	0,10±0,01
Soleymani	700	4,48 ^b ±1,00	0,17±0,02
Chiny / China			
Conghua	965, 677*	5,30±1,19	0,05±0,01
Nanshui	2 144, 172*	7,48±1,67	0,40±0,04
Zhongshan	233, 54*	0,93±0,21	0,050±0,005
Taishan	89, 28*	0,38±0,08	0,020±0,002
Indie / India			
Agnikunda	830	5,31±1,19	0,20±0,02
Kharkunda	850	5,44±1,22	0,21±0,02
Bhairabkunda	377	2,41±0,54	0,09±0,01
Soubhagyakunda	684	4,38±0,98	0,17±0,02
Brahmakunda	570	3,65±0,82	0,14±0,01

* Wyniki dla 2 różnych pomieszczeń: w Grecji jest to gabinet zabiegowy i sala odpoczynku, w Chinach – łazienka i sypialnia pokoju hotelowego / Results for 2 different areas: in Greece, it is an appropriate treatment room or rest room, in China it is a hotel bathroom or bedroom.

^a Dawki opublikowane przez Voggiannisa i wsp. (7) / Doses published by Voggiannis et al. (7).

^b Wartość średnia dla wszystkich SPA w Iranie podana przez International Atomic Energy Agency (8) wynosiła 3,23 mSv/rok / Mean value for all SPAs in Iran specified under International Atomic Energy Agency (8) was 3.23 mSv/year.

w placówkach geotermalnych ze średnim stężeniem radonu w budynkach mieszkalnych odpowiednio dla każdego państwa (12–15) (wartość globalnej średniej stężenia ²²²Rn w pomieszczeniach wynosi 27,2 Bq/m³ (16)), oraz z wartością 600 Bq/m³, która według Internatio-

nal Commission on Radiological Protection (ICRP) jest maksymalnym akceptowalnym stężeniem radonu w budynkach mieszkalnych (11).

Dane zaprezentowane na rycinie 1. wskazują, że stężenie radonu w obiektach, w których wykorzystuje

się wody geotermalne, są kilka do kilkudziesięciu razy wyższe niż w budynkach mieszkalnych, w których się ich nie używa. W 8 z 17 analizowanych przypadków stężenie radonu w SPA przekracza zalecane graniczne wartości stężenia radonu w mieszkaniach (11).

OMÓWIENIE

Przeprowadzona analiza wykazała, że wody geotermalne powodują zwiększenie dawek promieniowania używanych zarówno przez pracowników, jak i kuracjuszy. Szczególnie dotyczy to pracowników – w 14 z 17 analizowanych placówek wykazano dla nich przekroczenia dawek ponad wartość 1 mSv. W przypadku pracowników wszystkie dawki mieszczą się w zakresie 0,4–7,48 mSv, a w przypadku kuracjuszy – 0,02–0,4 mSv.

Z tabeli 1. wynika, że dawki otrzymywane przez pracowników są stosunkowo wysokie, a w jednym przypadku (Nanshui, Chiny) szacowana dawka skuteczna, jaką pracownicy mogą otrzymać od radonu znajdującego się w powietrzu pomieszczeń, jest wyższa od 6 mSv/rok. Dla porównania w Polsce Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. – Prawo Atomowe obliguje właściciela placówki, w której istnieje ryzyko otrzymania dawek powyżej 6 mSv/rok, do zakwalifikowania obszaru pracy jako terenu kontrolowanego (17). Osoby przebywające na takim obszarze kwalifikowane są do kategorii A narażenia radiacyjnego i obejmowane monitoringiem dozymetrycznym (17).

W 3 innych analizowanych placówkach (Conghua, Chiny; Agnikunda, Indie; Kharkunda, Indie) oszacowane dawki niepokojąco zbliżają się do wartości 6 mSv/rok. Należy podkreślić, że w Indiach baseny geotermalne znajdują się na świeżym powietrzu, a mimo to dawki są takie jak w geotermalnych pomieszczeniach zamkniętych. Co prawda ryzyko radiacyjne w basenach odkrytych jest mniejsze, ze względu na stałą cyrkulację powietrza, jednak gdyby te baseny zostały zabudowane, dawki mogłyby znacznie wzrosnąć.

Analiza stężenia radonu w placówkach SPA pokazuje, że temat ochrony radiologicznej osób zatrudnionych w pracach związanych z wodą geotermalną jest istotny. Warto wziąć pod uwagę, że na obliczone dawki ma wpływ wiele czynników, takich jak wentylacja, roczna zmiana zawartości radonu w wodzie, a tym samym w powietrzu, czego nie uwzględniono w niniejszej pracy. Zmiany tych czynników mogą powodować zmiany dawki, dlatego warto przeprowadzić całoroczne badania stężeń radonu na terenach placówek SPA wykorzystujących wody geotermalne i wtedy powtórnie oszacować ryzyko radiacyjne przebywających tam osób.

Niezależnie jednak od wyników badań należałoby rozważyć objęcie pracowników SPA wykorzystujących wody geotermalne kontrolą dozymetryczną. Jest to uzasadnione, ponieważ np. pomiary stężenia radonu wykonane w polskich uzdrowiskach radonowych wykazały, że w ok. 2,5% z nich istnieje możliwość otrzymania przez pracowników dawek rocznych przekraczających 6 mSv, a w ok. 5% – przekraczających 1 mSv (18).

WNIOSKI

1. Analizowane poziomy stężenia radonu w ośrodkach SPA są od kilku do kilkunastu razy wyższe od stężeń w pomieszczeniach zamkniętych (np. budynkach mieszkalnych), w których nie korzysta się z wód geotermalnych.
2. Obliczone dawki wykazały, że w 82% analizowanych placówek SPA dawki otrzymane przez pracowników były wyższe niż 1 mSv/rok. W prawodawstwie polskim kwalifikuje to takie osoby do kategorii B narażenia radiacyjnego i objęcia kontrolą dozymetryczną środowiska pracy.
3. W przypadku kuracjuszy dawki pochłonięte są znacznie niższe ze względu na krótki czas przebywania w narażeniu na radon emitowany przez wody geotermalne.
4. Wyniki niniejszej analizy wskazują, że istnieje potrzeba przeprowadzenia badań terenowych w Polsce, ponieważ w żadnym z polskich SPA wykorzystującym wody geotermalne nie wykonywano pomiarów aktywności substancji radioaktywnych w powietrzu.

PIŚMIENNICTWO

1. Gnoni G., Czemiczyniec M., Canoba A., Palacios M.: Natural radionuclide activity concentrations in spas of Argentina. The natural radiation environment: 8th International Symposium (NRE VIII). 7–12 października 2007, Buzios, Rio de Janeiro, Brazil. AIP Conf. Proc. 2008;1034(1):242–245. DOI: 10.1063/1.2991218
2. Kočański W.: Balneologia i hydroterapia. Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, Wrocław 2002
3. Zeeb H., Shannoun F.: WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. World Health Organization, Geneva 2009, s. 9
4. Hołyst R., Poniewierski A., Ciach A.: Termodynamika dla chemików, fizyków i inżynierów. Instytut Chemii Fizycznej PAN i Szkoła Nauk Ścisłych, Warszawa 2003
5. Polish Geological Institute – National Research Institute: List of Brines, curative waters and thermal waters in

- voivodeships division, thousand m^3 , m^3/h , m^3/yr (according to data from 31.12.2010) [cytowany 13 września 2012]. Institute, Warszawa 2011. Adres: http://geoportal.pgi.gov.pl/css/surowce/images/2010/pdf/brines_curative_thermal_2010.pdf
6. Song G., Zhang B., Wang X., Gong J., Chan D., Burnett J. i wsp.: Indoor radon levels in selected hot spring hotels in Guangdong, China. *Sci. Total Environ.* 2005;339(1-3): 63-70
 7. Vogiannis E., Nikolopoulos D., Louizi A., Halvadakis C.: Radon exposure in the thermal Spas of Lesbos Island – Greece. *Radiat. Prot. Dosim.* 2004;111(1):121-127. DOI: 10.1093/rpd/nch373
 8. Beitollahi M., Ghiassi-Nejad M., Esmaeli A., Dunker R.: Radiological studies in the hot spring region of Mahallat, central Iran. Tehran, Iran. *Radiat. Prot. Dosim.* 2007;123(4):505-508. DOI: 10.1093/rpd/ncl524
 9. Chaudhuri H., Das N., Bhandari R., Sen P., Sinha B.: Radon activity measurements around Bakreswar thermal springs. *Radiat. Meas.* 2010;45(1):143-146
 10. International Atomic Energy Agency: Radiation protection against radon in workplaces other than mines. Safety Reports Series no.33. IAEA, Vienna 2003, ss. 27-28
 11. International Commission on Radiological Protection: Protection against radon-222 at home and at work. ICRP Publication 65. *Ann. ICRP* 1993;23(2)
 12. Qiuju G., Boa C., Quanfu S.: A pilot survey on indoor radon and thoron progeny in Yangjiang, China. *Int. Congr. Ser.* 2005;1276:313-314
 13. Srivastava A.: An overview of an indoor radon study carried out in dwellings in India and Bangladesh during the last decade using solid state nuclear track detectors. *J. Environ. Radioact.* 2004;78(1):113-121
 14. Hadad K., Doulatdar R., Mehdizadeh S.: Indoor radon monitoring in Northern Iran using passive and active measurements. *J. Environ. Radioact.* 2007;95(1):39-52
 15. Bochicchio F., McLaughling J., Piermattei S.: European Collaborative Action: indoor air quality & its impact on man (formerly COST Project 613). Raport no. 15: Radon in indoor air. Commission of the European Communities, Directorate General for Science, Research and Development, Office for Official Publications of the European Community, Luxemburg 1995, ss. 6-7
 16. Sroor A., El-Bahi S., Ahmed F., Abdel-Haleem A.: Natural radioactivity and radon exhalation rate of soil in southern Egypt. *Appl. Radiat. Isot.* 2002;55(6):873-879
 17. Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe (tekst jednolity). *DzU* z 2012 r. nr 52, poz. 264 z późn. zm.
 18. Olszewski J., Chodak M., Jankowski J.: Rozpoznanie aktualnego stanu narażenia na radon pracowników uzdrowisk w Polsce. *Med. Pr.* 2008;59(1):35-38