

WYSTĘPOWANIE RADONU  $^{222}\text{Rn}$  W WODACH LECZNICZYCHOCCURRENCE OF RADON  $^{222}\text{Rn}$  IN CURATIVE WATERS

Krzysztof A. Pachocki, Kamil Wieprzowski, Marcin Bekas, Zdzisław Różycki

Zakład Ochrony Radiologicznej i Radiobiologii  
Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego - Państwowy Zakład Higieny, Warszawa**Słowa kluczowe:** radon, promieniowanie jonizujące, rad, wody lecznicze, uzdrowisko**Key words:** radon, ionizing radiation, radium, curative waters, spa**STRESZCZENIE**

Radon jest dobrze udokumentowanym czynnikiem ryzyka indukcji nowotworów. Źródłem obecności radonu  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie jest jego prekursor w promieniotwórczym szeregu uranowo-radowym izotop radu  $^{226}\text{Ra}$ . Celem pracy było określenie poziomu występowania radonu  $^{222}\text{Rn}$  w wodach leczniczych w Polsce. Przeprowadzono pomiary ponad 220 próbek wód leczniczych. Radon oznaczano metodą ciekłej scyntylacji cząstek alfa i beta. Zakres zmierzonych stężeń zawierał się od 0,90 do 193,10 Bq/dm<sup>3</sup>. Średnia arytmetyczna ze wszystkich uzyskanych wyników wyniosła 14,51 Bq/dm<sup>3</sup>. Wartość średnia stężenia radonu w próbkach pobranych z terenu województw śląskiego i dolnośląskiego była o rząd wielkości wyższa od obserwowanych stężeń w próbkach pobranych z pozostałych obszarów objętych badaniami. Tylko dwie ze zbadanych próbek wód leczniczych, pochodzące z terenu województwa dolnośląskiego tj. woda z ujęcia J-300 z Jedliny Zdrój (116,1 Bq/dm<sup>3</sup>) oraz woda z ujęcia „Marta” w Szczawnie Zdroju (193,1 Bq/dm<sup>3</sup>) wykazały aktywność promieniotwórczą powyżej 74 Bq/dm<sup>3</sup> i mogą być z tego powodu zaklasyfikowane jako wody radonowe. Wartości te są powyżej zalecanego przez Unię Europejską (Recommendation 2001/928/Euratom) limitu dla wody do picia, wynoszącego 100 Bq/dm<sup>3</sup>. Dotychczas zarówno w ustawodawstwie krajowym jak i UE nie określono maksymalnego dopuszczalnego stężenia radonu w wodach leczniczych.

**ABSTRACT**

Radon is one of the best known human carcinogens. Natural radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) is formed by decay of uranium ( $^{238}\text{U}$ ), directly of radium ( $^{226}\text{Ra}$ ). The aim of this study was to determine the activity concentration of radon in curative waters in Poland. The measurements were performed using alpha and beta liquid scintillation method. Over 220 water samples from Polish spas have been analyzed. Arithmetic mean of radon concentration for curative waters was found to be 14.51 Bq/m<sup>3</sup> within the range between 0.90 Bq/m<sup>3</sup> to 193.10 Bq/m<sup>3</sup>. The average concentrations of radon-222 were ten times higher in water from śląskie and dolnośląskie voivodeship than other voivodeships. In two samples: water from intake J-300 in Jedlina Zdrój (116.1 Bq/dm<sup>3</sup>) and intake Marta in Szczawnio Zdrój (193.1 Bq/dm<sup>3</sup>) the level of radon 74 Bq/dm<sup>3</sup> has been reached and those samples could be classified as radon water. There are no limits for the radon concentration levels in curative waters. There are only recommendation of the Commission of the European Communities 2001/928/Euratom on the protection of the public against exposure to radon in drinking water supplies (100 Bq/l).

**WSTĘP**

Radon jest powszechnie występującym w środowisku naturalnym promieniotwórczym gazem szlachetnym, pozbawionym zapachu i smaku, nie reagującym chemicznie. Łatwo rozpuszcza się w wodzie, a jeszcze lepiej w alkoholach i innych rozpuszczalnikach organicznych. Przy podgrzaniu do temperatury wrzenia prawie całkowicie jest z nich usuwany. Stąd radon rozpuszczony w wodzie może łatwo z niej emanować np. przy korzystaniu z prysznic. Radon ulega promie-

niotwórczemu rozpadowi (z okresem półrozpadu wynoszącym 3,8 dnia) na kilka kolejnych radionuklidów będących ciałami stałymi. Radon jak i jego krótkożyciowe produkty rozpadu: polon-218, ołów-214, bizmut-214 i polon-214 są przede wszystkim emiterami cząstek *alfa* i/lub *beta*. Źródłem obecności radonu  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie jest jego prekursor w promieniotwórczym szeregu uranowo-radowym izotop radu  $^{226}\text{Ra}$ . W litosferze źródłem radonu są przede wszystkim skały zawierające minerały uranowe (radowe), lub też inne minerały, w których występuje uran (rad). Do skał takich zaliczamy kwaś-

**Adres do korespondencji:** Krzysztof A. Pachocki, Zakład Ochrony Radiologicznej i Radiobiologii, Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego - Państwowy Zakład Higieny, 00-791 Warszawa, ul. Chocimska 24, tel. 022 54 21 224, fax 022 54 21 309, e-mail: kpachocki@pzh.gov.pl

ne skały magmowe (granity) oraz skały powstałe w procesach pomagmowych (aplity, pegmatyty i in. skały żyłowe), a także inne skały metamorficzne. Uwolniony do przestrzeni porowej radon może wędrować ku powierzchni na skutek dyfuzji lub konwekcji, lub też włączyć się w strumień wód podziemnych. Wody podziemne są medium transportującym radon na odległość od kilku do ok. 100 metrów (rzadziej na odległość kilkuset metrów) od swojego miejsca powstania [4]. Stężenie radonu-222 w wodach podziemnych zależne jest m.in. od czasu przebywania wód w kontakcie z materiałem skalnym, stopniem rozdrobnienia skał, współczynnika emanacji radonu ze skał oraz poziomu stężenia w skałach radu  $^{226}\text{Ra}$  [14]. Wysoki poziom zawartości radu  $^{226}\text{Ra}$  w wodzie świadczy zazwyczaj o dużej zawartości radonu  $^{222}\text{Rn}$ , jednak wysokie stężenie radonu w wodzie nie zawsze odpowiada wysokiemu stężeniu radu-226 w tejże wodzie [7].

Aktywność promieniotwórcza wód podziemnych zmienia się w szerokim zakresie, od wartości śladowych do przekraczających nawet  $10^5$  Bq/dm<sup>3</sup>. Najwyższe stężenia radonu w wodzie obserwowane są w wodach podziemnych z rejonu występowania rud uranowych w Jachymowie, w Górach Kruszcowych w Czechach. W Polsce wody radonocenne występują rzadko i to prawie wyłącznie w Sudetach [1, 8-13]. Na zachodzie tego regionu źródła zawierające promieniotwórczy radon występują w Górach Izerskich. Wody wypływają z podłoża skał metamorficznych m.in. gnejsów z ujęć w Świeradowie Zdroju. Na wschód od Gór Izerskich, w obrębie zachodniego górskiego obrzeżenia Kotliny Kłodzkiej, w silnie splekanym zapadlisku okolic rowu tektonicznego Nysy wypływają szczawy znanego kurortu – Kudowy Zdrój. Również w zasięgu prekambryjskiego masywu Śnieżnika znajdują się źródła radonocenne, z których ujęć korzysta Łądek Zdrój. Wody radonocenne występują jeszcze, poza miejscowościami wymienionymi powyżej, w Czerniawie Zdroju, Kowarach, Sosnowce, Szklarskiej Porębie i w Przerzeczynie Zdroju. Obserwuje się także radocenne wód zdrojowych w niektórych ujęciach Długopola, Dusznik i Jeleniowa. Według rozporządzenia Rady Ministrów z 18 grudnia 2001 r. do wód leczniczych radonowych zostały zaliczone tylko wody ze złóż w uzdrowiskach: Długopole Zdrój, Jedlina Zdrój, Łądek Zdrój, Przerzeczyn Zdrój, Szczawno Zdrój, Świeradów Zdrój oraz z miejscowości Szczawina [16].

W wyniku spożycia przez człowieka wody ze zwiększoną zawartością radonu  $^{222}\text{Rn}$  największą dawkę promieniowania jonizującego otrzyma przewód pokarmowy, a szczególnie żołądek. Również inne organy (np. wątroba, płuca), chociaż w mniejszym stopniu, będą narażone na działanie promieniowania jonizującego. Zabiegi balneologiczne (w postaci kąpeli, natrysków, inhalacji, bezpośredniego spożycia) z wykorzystaniem

radonu znajdują zastosowanie np. do leczenia chorób reumatycznych, miażdżycy, nadciśnienia tętniczego krwi, chorób niedokrwiennych serca, dychawicy oskrzelowej, niektórych chorób dermatologicznych [3,12]. Kuracje lecznicze z wykorzystaniem radonu do zabiegów balneoterapeutycznych stosują uzdrowiska: Świeradów Zdrój, Łądek Zdrój oraz Przerzeczyn.

W rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 13 kwietnia 2006 r. został określony zakres badań niezbędnych do ustalenia właściwości leczniczych wód. Badania te m.in. obejmują pomiar całkowitej aktywności promieniotwórczej *alfa* i *beta*, radu  $^{226}\text{Ra}$  oraz radonu  $^{222}\text{Rn}$ . Według podanej w nim klasyfikacji fizykochemicznej swoiste, lecznicze wody podziemne (tj. wody słabo zmineralizowane zawierające poniżej 1000 mg/dm<sup>3</sup> rozpuszczonych składników stałych) zaliczane są do wód radonowych w przypadku, gdy zawierają radon jako swoisty składnik leczniczy o aktywności promieniotwórczej co najmniej 74 Bq/m<sup>3</sup> [15].

Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – Państwowy Zakład Higieny w Warszawie jest jedną z pięciu jednostek uprawnionych do potwierdzania w formie świadectwa właściwości leczniczych naturalnych surowców leczniczych, w tym wód [5, 6].

Celem pracy było określenie poziomu występowania izotopu radonu  $^{222}\text{Rn}$  w wodach leczniczych w Polsce.

## MATERIAŁ I METODY

Próbki wody leczniczej pobierane były w latach 2007 – 2008 przez przedstawicieli uzdrowisk do pojemników i dostarczane w możliwie krótkim czasie do Zakładu Ochrony Radiologicznej i Radiobiologii Narodowego Instytutu Zdrowia Publicznego – Państwowego Zakładu Higieny w Warszawie. Natychmiast po dostarczeniu tych pojemników próbki wody o objętości 10 ml przenoszono do naczynek *Packarda* (poj. 22 ml) i dodawano 10 ml roztworu scyntylacyjnego *Opti Fluor O*. Następnie naczynka z próbkami wytrząsano przez ok. 5 sekund i odczekiwano co najmniej 3 godziny, aż radon, mający większe powinowactwo do węglowodórów aromatycznych, zostanie wyekstrahowany do fazy organicznej. W tym czasie następowała równowaga promieniotwórcza pomiędzy  $^{222}\text{Rn}$  a jego produktami rozpadu.

Pomiary stężenia Rn przeprowadzono metodą ciekłej scyntylacji cząstek alfa i beta. Korzystano z licznika scyntylacyjnego *PACKARD TRI-CARB 1900 TR* (Packard – Canberra Company, USA). Rejestrowano trzy cząstki  $\alpha$  i dwie cząstki  $\beta$  powstające z rozpadu  $^{222}\text{Rn}$  i jego pochodnych. Wyniki opracowywano korzystając z programu komputerowego, w który wyposażony był system pomiarowy (*Pico-Rad Radon Analysis Program*,

Nitron. Inc. ver. 6.06, USA). Program ten przeliczał częstość zliczeń na stężenie radonu w badanych próbkach. Parametrami sterującymi dla tego programu były: data i godzina poboru próby wody, data i godzina połączenia z roztworem scyntylacyjnym, ilość zliczeń i czas pomiaru. Czas zliczania, w zależności od aktywności próbek wody wynosił 20 – 60 min. Niepewność pomiaru zawierała się w przedziale 4,8 – 9,4%.

## WYNIKI I DYSKUSJA

Przeprowadzono pomiary stężenia radonu  $^{222}\text{Rn}$  w ponad 220 próbkach wód leczniczych pochodzących z 48 ujęć. Otrzymane wyniki przedstawiono w tabelach 1 - 4 oraz na rycinie 1. Pogrupowano je według odpowiadających rejonów geograficznych. Zakres zmierzonych stężeń zawiera się w przedziale od 0,90 do 193,10 Bq/dm<sup>3</sup>. Średnia arytmetyczna z wszystkich uzyskanych wyników wynosi 14,51 Bq/dm<sup>3</sup>, natomiast dla poszczególnych rejonów geograficznych średnie te przedstawiały się następująco: dla województwa podkarpackiego - 4,19 Bq/dm<sup>3</sup>, dla województw zachodniopomorskiego i kujawsko-pomorskiego - 5,03 Bq/dm<sup>3</sup>, dla województw mazowieckiego, lubelskiego, świętokrzyskiego i łódzkiego - 2,60 Bq/dm<sup>3</sup> oraz dla próbek z obszaru województw śląskiego i dolnośląskiego - 53,32 Bq/dm<sup>3</sup>. Wartość średnia stężenia radonu w próbkach pobranych z terenu województw śląskiego i dolnośląskiego jest więc o rząd wielkości wyższa od obserwowanych stężeń w próbkach pobranych z pozostałych obszarów objętych badaniami (ryc. 1. A-D). Stężenia radonu  $^{222}\text{Rn}$  w próbkach pobranych z tych województw zawierały się w przedziale od 11,9 do 193,10 Bq/dm<sup>3</sup> (Tab. 4). W próbkach z pozostałych województw stwierdzono dużo niższe stężenia: od 0,90 Bq/dm<sup>3</sup> (ujęcie RZ 2 w Rymanowie Zdroju w województwie podkarpackim), do 17,5 Bq/dm<sup>3</sup> (w wodzie pobranej ze studni nr 3, znajdującej się na terenie Szpitala w Inowrocławiu) (Tab. 1 - 3).

Tylko dwie ze zbadanych próbek wód leczniczych, pochodzące z terenu województwa dolnośląskiego tj. woda z ujęcia J-300 z Jedliny Zdrój (116,1 Bq/dm<sup>3</sup>) oraz woda z ujęcia „Marta” w Szczawnie Zdroju (193,1 Bq/dm<sup>3</sup>) wykazały aktywność promieniotwórczą powyżej 74 Bq/dm<sup>3</sup> i mogą być z tego powodu zaklasyfikowane jako wody radonowe (Tab. 4) [15]. Należy jednocześnie zaznaczyć, że wartości te są powyżej zalecanego przez Unię Europejską limitu dla wody do picia, wynoszącego 100 Bq/dm<sup>3</sup> [2]. Dotychczas w polskim, jak i europejskim ustawodawstwie nie określono maksymalnego dopuszczalnego stężenia radonu w wodach leczniczych, co może mieć istotne znaczenie dla zdrowia kuracjuszy. Woda z ujęcia J-300 w Jedlinie Zdroju pobierana jest z głębokości 298,2 m npt. Pochodzi z piaskowców górne-

go karbonu. Środowiskiem mineralizowania się wody z ujęcia „Marta” w Szczawnie Zdroju jest także kompleks utworów karbońskich. Z tym jednak, że w tym przypadku woda pobierana jest z niedużej głębokości ok. 5,0 m. Podwyższone poziomy stężenia radonu  $^{222}\text{Rn}$  zaobserwowano także w trzech pozostałych ujęciach („Młynarz”, „Mieszko”, „Dąbrówka”) znajdujących się na terenie Szczawnia Zdroju. Wody z tych czterech ujęć („Młynarz”, „Mieszko”, „Dąbrówka” oraz „Marta”) wypływają samoczynnie ze szczelin skalnych zlokalizowanych na podobnej głębokości (od 3,5 m do 5,0 m ppt). Posiadają także zbliżony skład chemiczny (całkowita mineralizacja nie przekracza 0,4%), a ujęcia znajdują się w niedalekiej odległości od siebie. Wypływy wód leczniczych w Szczawnie Zdroju zlokalizowane są wzdłuż potoku Szczawnik w pasie o długości ok 80 m. Źródło „Marta” jest najdalej wysunięte w kierunku północnym w odległości około 30 m od źródła „Mieszko” i około 80 m od źródeł „Dąbrówka” i „Mieszko”. Zastanawia fakt, że w wodzie z ujęcia „Marta” stężenie radonu  $^{222}\text{Rn}$  (193,1 Bq/dm<sup>3</sup>) jest o rząd wielkości większe od stężeń w pozostałych trzech ujęciach, które zawierają się w przedziale 24,3 - 29,2 Bq/dm<sup>3</sup>. Wytłumaczenia tego zjawiska można doszukiwać się w skomplikowanej budowie tektonicznej rejonu Szczawnia Zdroju. Powszechnie wiadomo, że wody z ujęć: Młynarz, Mieszko, Dąbrówka oraz Marta są wodami płytkiego krążenia z licznymi uskokami, spękaniami, szczelinami. Z tego powodu drogi krążenia wód i gazu są bardzo trudne do ustalenia. Możliwe, że przy ujęciu wody „Marta” znajduje się jakaś lokalna szczelina, przez którą wydostaje się radon. Wody lecznicze Szczawnia Zdroju znajdują zastosowanie w leczeniu chorób przewodu pokarmowego, układu moczowego oraz oddechowego.

Podwyższone stężenia radonu stwierdzono również w próbkach pochodzących z uzdrowiska w Ustroniu znajdującego się na terenie Beskidu Śląskiego. (Tab. 4). W 12,96% solance wypływającej z ujęcia U-3A stwierdzono stężenie radonu 25,60 Bq/dm<sup>3</sup>. Natomiast w próbce solanki 10,05% pochodzącej z ujęcia U-3 stężenie radonu wynosiło 36,89 Bq/dm<sup>3</sup>. Ustrońskie solanki wydobywane z odwiertów U-3 oraz U-3A napełniają cztery baseny Zakładu Przyrodoleczniczego, gdzie są rozcieńczane do stężeń 3–4%. Baseny te są miejscami ćwiczeń kinezyterapeutycznych. Uważa się, że kąpiele solankowe w basenach zmniejszają pobudliwość nerwów czuciowych i ruchowych, zwiększają ukrwienie skóry oraz normalizują ciśnienie krwi.

Stężenia radonu w próbach wody pobranej z trzech ujęć w Jeleniej Górze – Cieplicach wynoszą odpowiednio: 11,9 Bq/dm<sup>3</sup> w wodzie z odwiertu C-2, 18,9 Bq/dm<sup>3</sup> w wodzie ze źródła Nr 1 „Marysienka” oraz 52,5 Bq/dm<sup>3</sup> dla wody pobranej ze źródła Nr 4 „Nowe” (Tab. 4). Wody pobierane z cieplickich wód termalnych posiadają, jako jedyne w Polsce, temperatury docho-

Tabela 1. Stężenia  $^{222}\text{Rn}$  w wodach leczniczych z terenu województwa podkarpackiego  
 $^{222}\text{Rn}$  concentrations in curative waters from podkarpackie voivodeship

Nr ujęcia	Miejscowość poboru próbki wody	Nazwa ujęcia wody	Stężenie $^{222}\text{Rn}$ [Bq/dm <sup>3</sup> ]	Odchylenie standardowe SD [Bq/dm <sup>3</sup> ]	Dane charakteryzujące próbkę wody				
					Rodzaj wody	Głębokość ujęcia próbki wody [m]	Wydajność z ujęcia Q [m <sup>3</sup> /h]	Wiek ujmowanego poziomu wodonośnego	Litologia
1	Latoszyn	W-1	4,60	0,30	0,26 % siarczanowo-wapniowa	28,0	1,3	trzeciorzęd	piaskowce, gipsy, łupki
2	Lubatówka	Lubatówka 12	2,32	0,17	1,89% kwasowęglowa, chlorkowo-wodorowęglanowo-sodowa, jodkowa	960,0	5,5	trzeciorzęd	piaskowce
3		Lubatówka 14	3,10	0,22	1,84 % chlorkowo-wodorowęglanowo-sodowa, jodkowa	820,0	5,5		piaskowce
4	Iwonicz Zdrój	Klimkówka 27	1,17	0,09	1,29% kwasowęglowa, wodorowęglanowo-chlorkowo-sodowa, jodkowa	481,6	0,54	-	
5		Karol 2	2,35	0,18	0,16% wodorowęglanowo-chlorkowo-sodowa	39,1	0,75	trzeciorzęd	piaskowce
6		Emma	5,87	0,38	0,53% chlorkowo-wodorowęglanowo-sodowa, jodkowa	283,7	5,5		-
7		Elin 7	4,24	0,29	0,62% kwasowęglowa, chlorkowo-wodorowęglanowo-sodowa, jodkowa	230,0	5,5		piaskowce
8		Iwonicz II	4,04	0,28	0,57% kwasowęglowa, chlorkowo-wodorowęglanowo-sodowa, jodkowa	394,8	2,0		piaskowce
9		Zofia 6	3,18	0,22	1,16% kwasowęglowa, chlorkowo-wodorowęglanowo-sodowa, jodkowa	333,0	2,5		-
10		Tytus	9,09	0,59	0,81%, kwasowęglowa, chlorkowo-wodorowęglanowo-sodowa, jodkowa	2,5	-		piaskowce, łupki
11	Klaudia	9,47	0,61	0,82%, kwasowęglowa, chlorkowo-wodorowęglanowo-sodowa, jodkowa	2,5	-	-		piaskowce
12	Celestyna	9,75	0,62	0,84%, kwasowęglowa, chlorkowo-wodorowęglanowo-sodowa, jodkowa	2,5	-	piaskowce, łupki		
13	Rymanów Zdrój	RZ2	0,90	0,08	0,83%, wodorowęglanowo-chlorkowo-sodowa, jodkowa	600	-	trzeciorzęd	piaskowce, łupki
14		RZ 4	1,06	0,10	0,64%, chlorkowo-wodorowęglanowo-sodowa, jodkowa	400	-		piaskowce
15		RZ 5	1,25	0,11	0,63%, kwasowęglowa, wodorowęglanowo-chlorkowo-sodowa, jodkowa	562	-		piaskowce
16		RZ 6	5,99	0,46	0,32%, kwasowęglowa, chlorkowo-wodorowęglanowo-sodowa, jodkowa	250	-		piaskowce
17	Horyniec Zdrój	Róża III	4,00	0,30	0,08% woda lecznicza swoista, siarczkowa	29,0	26,4	trzeciorzęd	piaski
18		Róża IV	3,70	0,30	0,065% woda lecznicza swoista, siarczkowa	29,0	26,4		piaskowce
19	Polańczyk	IG-1	3,50	0,17	0,2% mineralna woda wodorowęglanowo-sodowa	1000,0	0,5	trzeciorzęd	piaskowce, łupki
<b>ŚREDNIA</b>			<b>4,19</b>	<b>0,29</b>					



Tabela 2. Stężenia  $^{222}\text{Rn}$  w wodach leczniczych z terenu województw zachodniopomorskiego i kujawsko-pomorskiego  
 $^{222}\text{Rn}$  concentrations in curative waters from zachodniopomorskie and kujawsko-pomorskie voivodeship

Nr ujęcia	Województwo	Miejscowość poboru próbki wody	Nazwa ujęcia wody	Stężenie $^{222}\text{Rn}$ [Bq/dm <sup>3</sup> ]	Odchylenie standardowe SD [Bq/dm <sup>3</sup> ]	Dane charakteryzujące próbkę wody					
						Rodzaj wody	Głębokość ujęcia próbki wody [m]	Wydajność z ujęcia Q [m <sup>3</sup> /h]	Wiek ujmowanego poziomu wodonośnego	Litologia	
20	zachodniopomorskie	Połczyn Zdrój	IG-1	9,60	0,69	7,5% woda chlorkowo-sodowa - solanka, jodkowa	1235,0	-	trias	piaskowce	
21		Kołobrzeg	Podczele 1 – Anastazja	2,87	0,21	6% woda chlorkowo-sodowa – solanka, jodkowa, żelazista	333,6	17,0	jura	piaskowce, iłowce	
22			B-2 – Bogusław	2,67	0,20	6% woda chlorkowo-sodowa – solanka, jodkowa	203,5	7,6		piaskowce	
23			Nr 6 – Emilia	2,20	0,17	5,4% woda chlorkowo-sodowa – solanka, jodkowa	65,8	3,97		-	
24			Nr 7 – Warcisław	8,62	0,52	5,6% woda chlorkowo-sodowa – solanka, jodkowa	40,5	31,15		piaski	
25			Świnoujście	IV a – XXX-lecia	3,16	0,24	4,42% mineralna woda chlorkowo-sodowa – solanka, jodkowa, żelazista	260,1		11,0	piaski
26		V – Jantar		3,47	0,26	4,46% mineralna woda chlorkowo-sodowa – solanka, jodkowa, żelazista	246,5	9,3	kreda	piaski	
27		VI – Teresa		3,28	0,25	4,44% mineralna woda chlorkowo-sodowa – solanka, jodkowa	271,2	3,8	piaski, mułki		
28		kujawsko-pomorskie	Wieniec Zdrój	3E	3,30	0,20	0,37% siarczanowo-chlorkowo-wapniowo-sodowa, siarczkowa	130,9	27,0	jura	wapienie
29			Ciechocinek	Nr 11 (Grzybek)	2,73	0,21	4,68% woda chlorkowo-sodowa - solanka, jodkowa	405,0	60,0	jura	piaskowce
30				Nr 14	2,40	0,19	4,34% woda chlorkowo-sodowa - solanka, jodkowa	757,0	135,0		-
31				Nr 16	5,02	0,33	5,33% woda chlorkowo-sodowa - solanka, jodkowa	1378,0	70,0		-
32				Nr 19 A	3,69	0,28	0,32% woda chlorkowo-sodowa	34,0	9,0		-
33	Inowrocław		Szpital, ul. Poznańska 97, studnia nr 3	17,50	0,90	0,28% woda chlorkowo-sodowa, wapniowa	64,0	22,8	-	-	
<b>ŚREDNIA</b>				<b>5,03</b>	<b>0,33</b>						

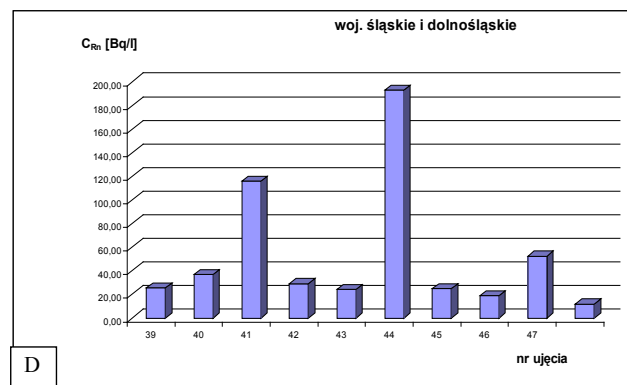
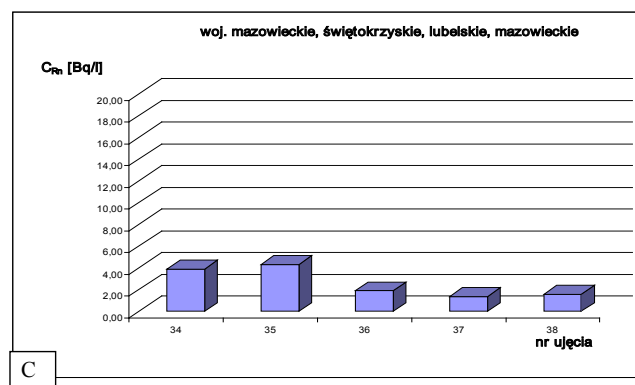
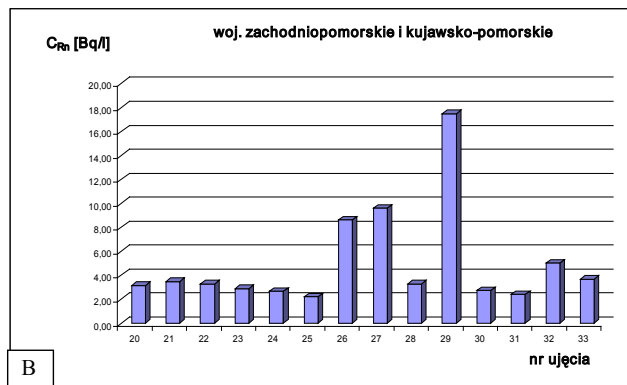
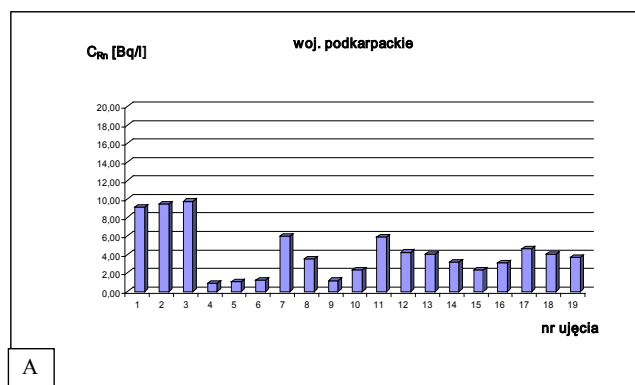
dzące do 90°C. Stosuje się je w leczeniu schorzeń: narządu ruchu (reumatologia, ortopedia, neurologia, osteoporoza), układu moczowego (urologia, nefrologia) oraz okulistyce.

Mimo, iż radon jest udokumentowanym czynnikiem ryzyka indukcji nowotworów lekarze balneolodzy tego

efektu na ogół nie biorą pod uwagę, wychodząc z założenia, że dla pacjentów i turystów, którzy w uzdrowisku przebywają krótki czas narażenie na radon stanowi niewielkie obciążenie radiacyjne. Ryzyko to jednak istnieje i wymaga oceny, zarówno w stosunku do pacjentów, personelu obsługującego pacjentów (np.

Tabela 3. Stężenia  $^{222}\text{Rn}$  w wodach leczniczych z terenu województw mazowieckiego, lubelskiego, świętokrzyskiego i łódzkiego $^{222}\text{Rn}$  concentrations in curative waters from mazowieckie, lubelskie, świętokrzyskie and łódzkie voivodeship

Nr ujęcia	Województwo	Miejscowość poboru próbki wody	Nazwa ujęcia wody	Stężenie $^{222}\text{Rn}$ [Bq/dm <sup>3</sup> ]	Odchylenie standardowe SD [Bq/dm <sup>3</sup> ]	Dane charakteryzujące próbkę wody				
						Rodzaj wody	Głębokość ujęcia próbki wody [m]	Wydajność z ujęcia Q [m <sup>3</sup> /h]	Wiek ujmowanego poziomu wodonośnego	Litologia
34	mazowieckie	Konstancin Jeziorna	Warszawa IG-1	3,88	0,27	7,5% chlorkowo-sodowa, żelazista, jodkowa, solanka, hipotermalna,	1725	9,12	jura	piaskowce
35	lubelskie	Nałęczów	Barbara	1,36	0,09	słabo zmineralizowana, żelazista	17	-	kreda	opoka, margle
36			Celiński	1,57	0,10	-	-	-		wapienie
37	świętokrzyskie	Wielin	Wielin 2 (Malina)	4,30	0,30	3,97% chlorkowo-sodowa, siarczkowa, jodkowa, solanka	166	2,57	jura	wapienie, margle
38	łódzkie	Uniejów	PIG-AGH-2	1,90	0,10	0,6% woda mineralna chlorkowo-sodowa, termalna	2000	68,0	kreda	-
<b>ŚREDNIA</b>				<b>2,60</b>	<b>0,17</b>					

Ryc. 1. Stężenie  $^{222}\text{Rn}$  w wodach leczniczych z poszczególnych ujęć  
 $^{222}\text{Rn}$  concentration in curative waters from analyzed intakes

inhalatorium radonowe), jak również w niektórych przypadkach także w stosunku do stałych mieszkańców miejscowości uzdrowiskowych, gdzie występuje radon o podwyższonych stężeniach. Mechanizm leczniczego działania radonu i jego pochodnych na organizm ludzki nie jest dobrze rozpoznany, podobnie jak i dawkowanie.

Brak jest także jednoznacznego potwierdzenia słuszności teorii hormezy radiacyjnej tj. korzystnego wpływu małych dawek promieniowania jonizującego na żywe organizmy. Do efektów leczniczego stosowania radonu należy zatem podchodzić z dużą ostrożnością.

Tabela 4. Stężenia  $^{222}\text{Rn}$  w wodach leczniczych z terenu województw śląskiego i dolnośląskiego  
 $^{222}\text{Rn}$  concentrations in curative waters from śląskie and dolnośląskie voivodeship

Nr ujęcia	Województwo	Miejscowość poboru próbki wody	Nazwa ujęcia wody	Stężenie $^{222}\text{Rn}$ [Bq/dm <sup>3</sup> ]	Odchylenie standardowe SD [Bq/dm <sup>3</sup> ]	Dane charakteryzujące próbkę wody				
						Rodzaj wody	Głębokość ujęcia próbki wody [m]	Wydajność z ujęcia Q [m <sup>3</sup> /h]	Wiek ujmowanego poziomu wodonośnego	Litologia
39	śląskie	Ustroń	U-3 A	25,60	1,24	12,96% chlorkowo-sodowo-wapniowa, fluorkowa, jodkowa, żelazista, solanka termalna	1837,0	-	dewon	wapienie, dolomity
40			U-3	36,89	1,81	10,05% chlorkowo-sodowo-wapniowa, jodkowa, żelazista, solanka termalna	-	-		wapienie
41	dolnośląskie	Jelenia Góra - Cieplice	źródło Nr 1 „Marysieńka”	18,90	1,00	0,06% fluorkowa, krzemowa, hipertermalna (słabozmineralizowana)	52,0	0,5	karbon	granit
42			źródło Nr 4 „Nowe”	52,50	2,50	0,06% fluorkowa, krzemowa, hipertermalna, (słabozmineralizowana)	37,5	1,0		granit
43			odwiert C-2	11,90	0,70	0,06% fluorkowa, krzemowa, hipertermalna, (słabozmineralizowana)	750,0	10,0		granit
44		Jedlina Zdrój	J-300	116,10	5,70	0,11% szczawa wodorowęglanowo-wapniowa-magnezowo-sodowa, fluorkowa, żelazista, radonowa	298,2	5,0	karbon	piaskowce
45		Szczawno Zdrój	Mieszko	29,20	1,50	0,36% szczawa wodorowęglanowo-sodowa	3,5	0,19	karbon	szarogłazy
46			Dąbrówka	24,30	1,20	0,20% szczawa wodorowęglanowo-sodowo-wapniowa	3,5	0,06		
47			Marta	193,10	9,30	0,27% szczawa, wodorowęglanowo-sodowa, radonowa	5,0	0,126		
48			Młynarz	24,70	1,30	0,27% szczawa, wodorowęglanowo-sodowo-magnezowo-wapniowa	4,5	0,054		
<b>ŚREDNIA</b>				<b>53,32</b>	<b>2,63</b>					

### WNIOSKI

1. Wartość średniego stężenia radonu  $^{222}\text{Rn}$  w badanych próbkach wód leczniczych jest zróżnicowana i zależna o rejonu geograficznego, z którego pochodziła badana woda. Najwyższe wartości obserwowano w wodzie z województw: śląskiego i dolnośląskiego.
2. Tylko dwie ze zbadanych próbek wód leczniczych wykazały aktywność promieniotwórczą powyżej 74 Bq/dm<sup>3</sup> i z tego powodu mogą zostać zaklasyfikowane jako wody radonowe.
3. Ryzyko radiacyjne związane z występowaniem radonu w leczniczych wodach radonowych istnieje i wymaga oceny, zarówno w stosunku do pacjentów, personelu obsługującego pacjentów, jak również w niektórych przypadkach także w stosunku do stałych mieszkańców miejscowości uzdrowiskowych, gdzie występuje radon o podwyższonych stężeniach.

## PIŚMIENNICTWO

1. Bem H., Olszewski M., Kaczmarek A.: Concentration of selected natural radionuclides in the thermal groundwater of Uniejów, Poland. *Nukleonika* 2004, 49, 1-5.
2. Commission Recommendation 2001/928/Euratom of 20 December 2001 on the protection of the public against exposure to radon in drinking water supplies. *Official Journal of the European Communities* L 344/2001, 85-88.
3. Kochański J.W.: Przegląd badań nad leczniczym zastosowaniem radonu-222 w polskich uzdrowiskach. *Folia Medica Lodziensia* 2002, 29, 31-68.
4. Kozłowska B., Walencik A., Dorda J.: Natural radioactivity and dose estimation in underground water from the Sudety Mountains In Poland. *Radiation Protection Dosimetry* 2008, 128, 331-335.
5. Obwieszczenie Ministra Zdrowia z dnia 14 stycznia 2008 r. w sprawie wykazu jednostek uprawnionych do potwierdzania właściwości leczniczych naturalnych surowców leczniczych i właściwości leczniczych klimatu. *Dz. Urz. MZ* Nr 1/2008, poz. 4.
6. Obwieszczenie Ministra Zdrowia z dnia 17 lipca 2007 r. w sprawie wykazu jednostek uprawnionych do potwierdzania właściwości leczniczych naturalnych surowców leczniczych i właściwości leczniczych klimatu. *Dz. Urz. MZ* Nr 12/2007, poz. 65.
7. Pachocki K.A., Gorzkowski B., Majle T., Różycki Z., Peńsko J., Poręba I.: Pomiarystężenia radonu  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie z ujęć głębinowych na terenie Warszawy. *Roczn. PZH* 1996, 47, 285-293.
8. Pachocki K.A., Gorzkowski B., Wilejczyk E., Smoter J.: Zawartość radonu  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie do picia w Świeradowie Zdroju i Czerniawie Zdroju. *Roczn. PZH* 2000, 51, 43-52.
9. Pachocki K.A., Gorzkowski B., Różycki Z., Wieprzowski K., Bekas M., Wilejczyk E., Smoter J.: Radon  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie do picia z terenu Pogórza Karkonoskiego. *Roczn. PZH* 2003, 255-261.
10. Pachocki K.A., Gorzkowski B., Różycki Z., Wieprzowski K., Wilejczyk E., Smoter J.: Radon  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie do picia z terenu Pogórza Izerskiego. *Roczn. PZH* 2002, 53, 371-376.
11. Pachocki K.A., Gorzkowski B., Różycki Z., Wilejczyk E., Smoter J.: Radon  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie do picia z obszaru Jeleniej Góry. *Roczn. PZH* 2001, 52, 237-246.
12. Pachocki K.A.: Radon w środowisku. *Ekologia i Zdrowie*, Warszawa, 1995.
13. Przylibski T.A., Żebrowski A.: Origin of radon in medicinal waters of Świeradów Zdrój. *Nukleonika* 1996, 41, 109-116.
14. Radon w środowisku życia, pracy i nauki mieszkańców Dolnego Śląska. *Polski Klub Ekologiczny Okręg Dolnośląski*, Wrocław, 2006.
15. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 kwietnia 2006 r. w sprawie zakresu badań niezbędnych do ustalenia właściwości leczniczych naturalnych surowców leczniczych i właściwości leczniczych klimatu, kryteriów ich oceny oraz wzoru świadectwa potwierdzającego te właściwości. *Dz. U.* z 2006r, nr 80, poz. 565.
16. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 grudnia 2001 r. w sprawie złóż wód podziemnych zaliczonych do solanek, wód leczniczych i termalnych oraz złóż innych kopalin leczniczych, a także zaliczenia kopalin pospolitych z określonych złóż lub jednostek geologicznych do kopalin podstawowych. *Dz. U.* z 2001r, nr 156, poz. 1815.

Otrzymano: 16.12.2008

Zaakceptowano do druku: 15.05.2009