

KRZYSZTOF A. PACHOCKI, BOHDAN GORZKOWSKI, ELŻBIETA WILEJCZYK<sup>1</sup>, JACEK SMOTER<sup>1</sup>

## ZAWARTOŚĆ RADONU <sup>222</sup>Rn W WODZIE DO PICIA W ŚWIERADOWIE ZDROJU I CZERNIAWIE ZDROJU

THE CONTENTS OF RADON <sup>222</sup>Rn IN DRINKING WATER OF ŚWIERADÓW ZDRÓJ AND CZERNIAWA ZDRÓJ

Zakład Ochrony Radiologicznej i Radiobiologii

Państwowy Zakład Higieny

00-791 Warszawa, ul. Chocimska 24

p.o. Kierownik: dr K. Pachocki

<sup>1</sup> Oddział Ochrony Radiologicznej

Wojewódzka Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna we Wrocławiu

Oddział Zamiejscowy w Jeleniej Górze

58-506 Jelenia Góra, ul. Kasprowicza 17

Dyrektor: lek. med. Z. Bucki

*Oznaczano ilościowo stężenia radonu <sup>222</sup>Rn w wodzie z publicznych ujęć wodociągowych zasilających miejscowości uzdrowiskowe Świeradów Zdrój i Czerniawa Zdrój oraz w wodzie z licznych ujęć indywidualnych. Radon oznaczano metodą ciekłej scyntytacji cząstek alfa. Oszacowano dawki promieniowania jonizującego otrzymywane przez osoby spożywające tą w wodę, m.in. w oparciu o przyjęte standardy spożycia.*

### WSTĘP

Uzdrowiska Świeradów Zdrój i Czerniawa Zdrój położone są na północnym stoku Gór Izerskich, w dolinie rzeki Kwisy.

Świeradów Zdrój, 450-650 m n.p.m., posiada kilka źródeł wód mineralnych należących do grupy szczaw wodorowęglanowych wapienno-magnezowych i żelazistych. Zawarty w nich rozpuszczony radon pochodzi z głębiej leżących skał metamorficznych. W uzdrowisku tym leczy się choroby reumatyczne, układu nerwowego obwodowego i układu krążenia. Radon wykorzystuje się w kąpielach, do inhalacji, a także podaje się do picia wodę radonoczynną. Skuteczność terapii radoczynnej jest potwierdzana w Świeradowie Zdroju od dwóch wieków. Pierwsze dane o zawartości radonu w wodach leczniczych Świeradowa Zdroju jakie zachowały się w dokumentach pochodzą z 1944 r. [9, 10].

Czerniawa Zdrój, 505-710 m n.p.m., posiada źródła szczaw żelazistych. Uzdrowisko przeznaczone jest głównie dla dzieci. Leczy się tu schorzenia reumatyczne, górnych dróg oddechowych, niedokrwistość, krzywicę.

Góry Izerskie mają zwartą monolityczną budowę, którą zawdzięczają w głównej mierze granitognejsom prekambryjskim. Przysłonięte są one okrywą granitu karkonoskiego. Występują tu również granity rumburskie tkwiące w gnejsach w postaci soczewek [3]. Okolice Świeradowa Zdroju zbudowane są ze skał okrywy metamorficznej, którymi w tym rejonie są różne odmiany gnejsów, granitognejsów i łupków. Wśród tych skał występują również niewielkie wtrącenia skał żyłowych. Wiek skał tego kompleksu określany jest jako prekambryjski [4].

Skały metamorficzne: granity i gnejsy charakteryzują się podwyższoną koncentracją uranu i radu, co ma decydujący wpływ na formowanie się wód radoczynnych.

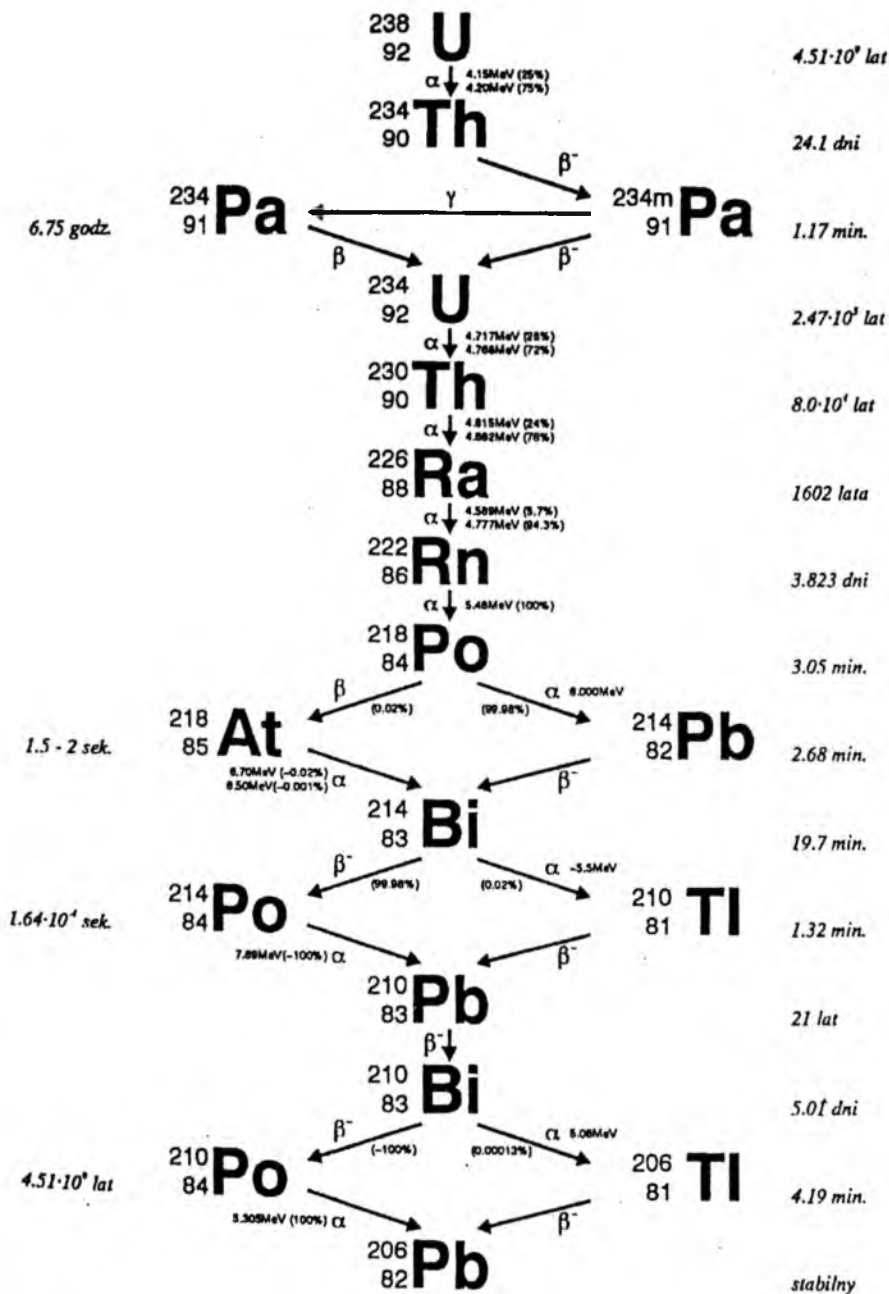
W Świeradowie Zdroju przeciętna rocznych opadów atmosferycznych wynosi 1178 mm. Z okolic Świeradowa wypływają zasobne w wodę potoki oraz naturalne wypływy wód podziemnych. Występuje tu płytki poziom wodonośny związany z przypowierzchniową strefą rumoszu zwietrzelinowego (o miąższości zwykle ok. 2–5 m). Wody te, z ujęć drenażowych oraz studni indywidualnych, często wykorzystywane są do celów komunalnych. Cechują się dobrą jakością, małą mineralizacją i przeważnie pozbawione są zanieczyszczeń. Stężenie radonu-222 w tych wodach zależne jest m.in. od czasu przebywania wód w kontakcie z materiałem skalnym, wielkości rozdrobnienia skał, współczynnika emanacji radonu ze skał oraz poziomu stężenia w skałach pierwiastków szeregu uranowo-radowego (Ryc. 1). W obszarach, w których występują uskoki skalne istnieje możliwość dopływu wód głębokiego krążenia do powierzchniowego poziomu wodonośnego, co przejawia się podwyższonym stężeniem radonu w wodzie. Powierzchnie uskokowe, a zwłaszcza miejsca ich przecinania się, uznaje się za zasadnicze obszary krążenia wód leczniczych w bloku izerskim.

W niektórych miastach i osiedlach Sudetów Zachodnich spotyka się duże stężenia radonu zarówno w wodzie do picia z wodociągów publicznych jak i z ujęć indywidualnych. W porównaniu ze stężeniami obserwowanymi w wodzie z regionu Wschodniego Niżu Polskiego są to poziomy o dwa rzędy wielkości wyższe [5–8]. Z tego powodu uznano za celowe przeprowadzenie na szeroką skalę pomiary stężenia radonu w wodzie do picia w tym regionie. Po opracowaniu, dalsze wyniki pomiarów będą sukcesywnie publikowane w następujących artykułach.

## MATERIAŁ I METODY

Próbki wody z ujęć wodociągowych przed i po uzdatnieniu oraz z ujęć indywidualnych pobierane były przez pracowników Oddziału Ochrony Radiologicznej Wojewódzkiej Stacji Sanitarno-Epidemiologicznej, Oddziału Zamiejscowego w Jeleniej Górze. Próbki wody (10 ml) pipetowane były do naczynek Packarda (pojemność 22 ml) zawierających roztwór scyntylacyjny OPTI-FLUOR O. Rozpuszczalnikiem dla scyntylatorów był dodecylbenzen, w którym woda tworzyła dolną fazę. Następnie naczynka wstrząsano przez ok. 5 sekund. Radon mający znacznie większe powinowactwo do węglowodorów aromatycznych niż do wody w ciągu 3,5 godzin przechodził do fazy organicznej. W tym czasie powstawała równowaga między radonem-222, a jego krótkożyłymi produktami rozpadu. Pomiary radonu wykonywano metodą ciekłej scyntylacji cząstek alfa przy wykorzystaniu licznika Packard Tri-Carb 1900 TR. Rejestrowane były trzy cząstki alfa i dwie cząstki beta powstające z rozpadu radonu-222 i jego pochodnych.

Opracowanie wyników wykonano przy wykorzystaniu wbudowanego w system programu komputerowego (Pico-Rad Radon Analysis Program, Nitron Inc., ver. 3.11) przeliczającego częstość zliczeń na stężenie radonu w badanych próbkach wody w jednostkach pCi/l, następnie przeli-



Ryc. 1. Naturalny szereg promieniotwórczy. Seria uranowo-radowa  
 Natural radioactive chain. Serie uranium - radium.

czanych na Bq/l. Danymi sterującymi dla tego programu były dokładna data i godzina poboru próbki wody oraz dokładna data i godzina połączenia z roztworem scyntylacyjnym, a także numer próbki i miejsce poboru. W omawianych badaniach czas poboru próbki wody i czas zmieszania z roztworem scyntylacyjnym był identyczny. Czas zliczania próbek wynosił od 15 do 40 minut. Do każdej analizy zawsze pobierano trzy równoległe próbki.

## WYNIKI I DYSKUSJA

Sieć wodociągowa w Świeradowie Zdroju zaopatrywana jest z dwóch ujęć wodnych:

- 1) Ujęcie „Bronka Czecha” zaopatruje 25% miasta. Pobór wody do stacji filtrów jest ze strumienia „Santa Maria” (wydajność ok. 1500 l/min) oraz z wód sztolniowych (wydajność 30–40 l/min). Wody sztolniowe pochodzą z ponemieckiego źródła wody radoczynnej używanej dawniej do celów gospodarczych i zabiegów leczniczych. Strumień „Santa Maria” zawiera małe stężenia radonu – 6,91 Bq/l ( $\pm 8,4\%$ ), natomiast woda sztolniowa, którą wyjątkowo i sporadycznie miesza się z wodą strumieniową, wykazuje znacznie większe stężenia radonu – około 400 Bq/l. Proporcje mieszania tych wód są różne, stąd i stężenia radonu w mieszaninie nie uzdatnionych wód są zmienne.

Największe różnice w ciągu 1998 r. jakie udało się nam uchwycić zawierały się między 10,4 Bq/l a 46,3 Bq/l. Jak wynika ze stężeń radonu w mieszaninie wód nie uzdatnionych głównym źródłem zasilania w tej Stacji jest strumień „Santa Maria”. Po uzdatnieniu wód stężenie radonu znacznie spada i nie przekracza 10 Bq/l.

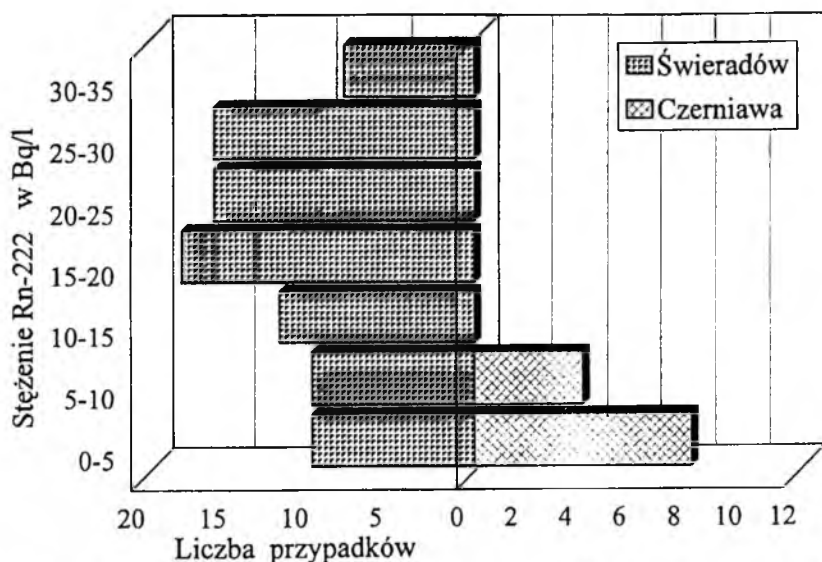
- 2) Ujęcie „Wrzos” zaopatruje 75% miasta. Pobór wody do stacji filtrów jest ze strumienia „Mirotka” (wydajność ok. 1200 l/min) oraz ze studni artezyjskiej „Leśna Droga”. Stężenie radonu w wodzie ze strumienia jest bardzo małe i wynosi ok. 2 Bq/l. Woda ze strumienia sporadycznie i w niewielkim stopniu, już po uzdatnieniu, mieszana jest z wodą artezyjską. To dodatkowe źródło zasilania wykazuje wysokie stężenie radonu – 321,2 Bq/l do 464,5 Bq/l. Uzdatnianie wody polega na jej przepuszczeniu przez złoża drobno zmielonego marmuru powodujące podwyższenie pH wody i tym samym wytrącenie się wodorotlenków np. żelaza, manganu. Następnie woda przepuszczana jest przez warstwę piasku, który adsorbuje wytrącające się osady. W celu likwidacji bakterii, glonów i innych drobnoustrojów do sieci wodociągowej wstrzykuje się bezpośrednio Alwazon 2000 zawierający wodny roztwór dwutlenku chloru ( $\text{ClO}_2$ ). Jeśli stacja uzdatniania wody zaopatrywana była tylko ze strumienia „Mirotka” wówczas stężenie radonu w wodzie uzdatnionej było niskie i wynosiło 4,2 Bq/l. W przypadku sporadycznego mieszania wody ze strumienia z wodą artezyjską ze studni „Leśna Droga” mierzone stężenie radonu wzrastało do 79,1 Bq/l (Tab. 1).

Stężenie radonu w wodzie wodociągowej w Świeradowie Zdroju wykazuje dużą zmienność. W większości wody służące do zasilania stacji filtrów należą do wód meteorologicznych, które zależnie od intensywności opadów odprowadzają większe ilości wody. Stężenie radonu w tych wodach jest niskie. Decydującym czynnikiem wpływającym na ostateczny poziom stężenia radonu w wodzie sieci wodociągowej miejskiej jest stosunek w jakim sporadycznie miesza się wody powierzchniowe z wodami płytkiego obiegu. Wyrzykowy monitoring tych wód w sieci miejskiej w ciągu roku wykazał, że najczęściej stężenia radonu w wodzie zawierały się między 15 a 30 Bq/l (Ryc. 2).

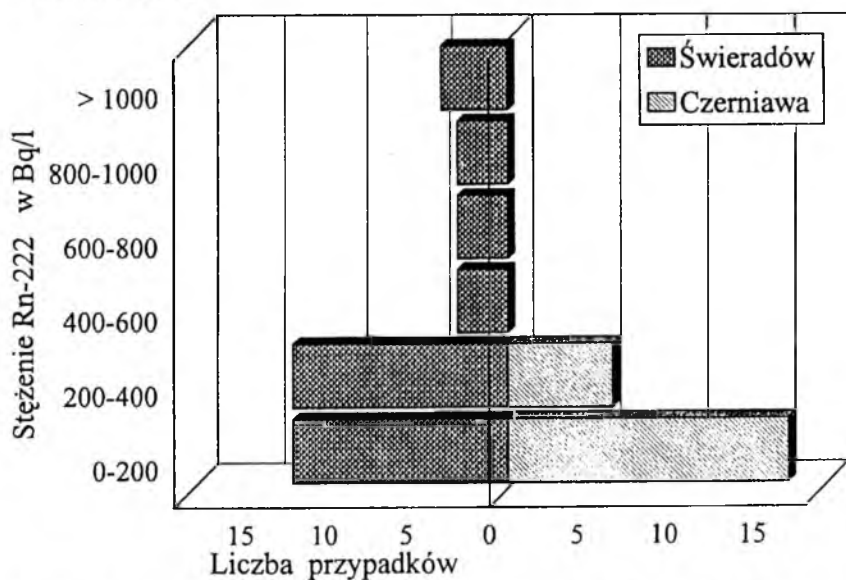
Tabela I. Stężenie radonu-222 w wodzie z ujęć wodociągowych w Świeradowie Zdroju  
Radon-222 concentrations in water from water-supply service in Świeradów Zdrój

Nazwa Stacji Filtrów	% zaopatrzenia miasta	Miejsce ujęcia	Stężenie radonu <sup>222</sup> Rn w Bq/l			
			Przed uzdatnieniem		Po uzdatnieniu	
			osobno	razem po zmieszaniu		
Bronka Czecha	25	Strumień „Santa Maria” Woda sztolniowa	6,91** (± 8,4%)	10,43* (± 9,1%)	7,26* (± 8,3%)	
			396,57** (± 4,9%)	46,33** (± 4,9%)	9,32** (± 9,4%)	
Wrzos	75	Strumień „Mirotka” Studnia artezyjska „Leśna Droga”	1,97** (± 12,1%)	-	4,21* (± 9,3%)	
			321,2** (± 5,0%)	-		
			464,5*** (± 4,9%)		79,13** (± 4,9%)	

\* marzec '98 r., \*\* wrzesień '98 r., \*\*\* marzec '99 r.



Ryc. 2. Rozkład stężenia radonu-222 w wodzie wodociągowej Świeradowa Zdroju i Czerniawy Zdroju  
 Distribution of concentrations of radon-222 in tap waters in Świeradów Zdrój and Czerniawa Zdrój



Ryc. 3. Rozkład stężenia radonu-222 w wodach studziennych w Świeradowie Zdroju i Czerniawie Zdroju  
 Distribution of concentrations of radon-222 in well waters in Świeradów Zdrój and Czerniawa Zdrój

Tabela II. Stężenia radonu  $^{222}\text{Rn}$  mierzone w sieci wodociągowej Świeradów Zdroju, na Osiedlu Budowlanych, zasilanego wodą ze studni artezyjskiej „Leśna Droga”  
 Radon-222 concentrations measured in water-supply in Świeradów Zdrój (Osiedle Budowlane) feeding of artesian well „Leśna Droga”

Lp.	Miejsce poboru wody	Stężenie radonu $^{222}\text{Rn}$ Bq/l
1.	Studnia artezyjska „Leśna Droga”	464,5 (± 4,9%)
2.	Domy przy ul. Leśnej	411,6 (± 4,9%) 390,3 (± 5,0%) 383,3 (± 5,0%) 363,8 (± 5,0%) 344,4 (± 5,0%)
3.	Domy przy ul. Budowlanych	399,5 (± 5,0%) 343,5 (± 5,0%)
4.	Domy przy ul. Młodych Techników	374,9 (± 5,0%) 365,5 (± 5,0%)
5.	Dom przy ul. Stokowej	426,7 (± 4,9%)
	Średnio w sieci wodociągowej Osiedla Budowlanych	380,4 (± 5,3%)

\* Pomiar przeprowadzono 6.04.1999 r.

Tabela III. Radon-222 w wodach leczniczych Świeradów Zdroju  
 Radon-222 concentrations in therapeutic waters of Świeradów Zdrój

1.	Dom Zdrojowy (pijalnia) Wody mieszane z trzech nawiertów 1A o głębokości 59,2 m; 2 Po głębokości 330 m oraz ze źródła Górnego – 10 m	– 652 Bq/l (± 4,8%)
2.	Zakład Radoczynny, kabina Nr 19 Wody mieszane z sześciu studni ocembrowanych o głębokości 10–12 m	– 890,9 Bq/l (± 4,8%)
3.	Pijalnia Wód mineralnych Woda mieszana: źródło Górne i źródło 1A oraz woda mineralna	– 363,2 Bq/l (± 5,0%)
4.	Dom Zdrojowy; stanowisko do degustacji	– 714,5 Bq/l (± 4,8%)
5.	Dom Zdrojowy; Źródło Górne	– 613,8 Bq/l (± 4,8%)
6.	Dom Zdrojowy; Źródło 1A	– 50,9 Bq/l (± 4,9%)
7.	Dom Zdrojowy Woda zmieszana z trzech ujęć: Górne – 10 m, oraz o głębokości 6,4 m i 6,6 m	– 475,0 Bq/l (± 5,0%)
8.	Źródło Wacław, woda do picia	– 579,8 Bq/l (± 5,0%)
9.	Źródło Wacław, woda do wanien kąpielowych	– 643,3 Bq/l (± 5,0%)
10.	Sanatorium Goplana, woda do wanien kąpielowych	– 140,5 Bq/l (± 5,0%)

Osiedle Budowlanych w Świeradowie Zdroju zasilane jest w wodę pochodzącą tylko ze studni artezyjskiej „Leśna Droga”. Jest to małe osiedle obejmujące tylko kilkadziesiąt gospodarstw domowych. Pomiar radonu w wodzie ze studni artezyjskiej oraz w wodzie pobranej w domach z tego osiedla wykonywaliśmy w miesiącach marzec –

kwiecień 1999 r. Woda ze studni „Leśna Droga” zawierała, w tym okresie, średnio 464,5 Bq/l radonu. Natomiast w wodzie z sieci osiedlowej, zasilanej z tego ujęcia, średnie stężenie radonu wynosiło 380,4 Bq/l (od 343,5 Bq/l do 426,7 Bq/l) (Tab. II).

Wodociąg publiczny w Czerniawie Zdroju (ujęcie „Łużyce”) jest zaopatrywany ze strumienia „Czarny Potok”. Wody tego strumienia wykazują bardzo małe stężenia radonu. Przed uzdatnieniem aktywność radonu wynosiła 2,46 Bq/l ( $\pm 10,1\%$ ) natomiast po uzdatnieniu aktywność nieznacznie obniżała się i wynosiła 2,22 Bq/l ( $\pm 10,2\%$ ).

Na terenie Świeradowa Zdroju oraz Czerniawy Zdroju znajdują się w użyciu liczne płytkie studnie przydomowe, o kilku metrach głębokości, sięgające pierwszej warstwy wodonośnej lub płytkie ujęcia drenujące. W tych ujęciach indywidualnych występują na ogół znacznie większe stężenia radonu w wodzie niż w sieci wodociągowej. We wszystkich studniach w Świeradowie Zdroju występuje przekroczenie zalecanego przez Amerykańską Agencję Ochrony Środowiska (US Environmental Protection Agency – EPA) limitu stężenia radonu w wodzie do picia tj. 300 pCi/l  $\approx 11$  Bq/l. Zakres obserwowanych stężeń radonu zawierał się między 42 Bq/l a 1095 Bq/l. Średnia dla wszystkich studzien wynosiła 438,5 Bq/l. Przykładem mogą być indywidualne ujęcia wody zasilające kilka domów w Świeradowie Zdroju przy ul. Strumykowej Nr 4, 6 i 8. Wody te monitorowane były przez nas od 1994 r. Zawartość radonu-222 wynosiła w nich od 206,3 Bq/l do 732,6 Bq/l. Na tej samej ulicy pod numerem 5 znajduje się budynek zamieszkały przez Siostry Zmartwychwstanki. Budynek zasilany jest w wodę z miejscowego źródła „Santa Maria”. Wodociąg miejski nie dociera tu, do budynków usytuowanych wysoko na zboczu góry. Woda gromadzona jest w głębokiej cembrowanej studni. Pomiar radonu w wodzie z tej studni wykonany w dniu 4 czerwca 1998 r. wykazał stężenie radonu na poziomie 1095 Bq/l. Biorąc pod uwagę, że woda w studni ma pewną retencję i posiada lustro wodne otwarte, należy sądzić, że woda wpływająca bezpośrednio z podłoża do studni będzie miała jeszcze większe stężenie radonu. Z tego ujęcia Sióstr Zmartwychwstanków korzystają też mieszkańcy innych budynków usytuowanych w pobliżu.

W Czerniawie Zdroju wody ze studni indywidualnych miały zakres stężeń radonu między 25,8 Bq/l a 402,4 Bq/l. Średnia dla wszystkich studzien wynosiła 165 Bq/l (Ryc. 3).

Należy także podkreślić, iż stężenia radonu w studniach indywidualnych w Świeradowie Zdroju w skrajnych przypadkach przekraczały stężenia występujące w wodach leczniczych tej miejscowości (Tabela III). Jednakże, kuracjusze poddają się terapii radonowej zwykle przez okres 2–3 tygodni. Dla niektórych stałych mieszkańców Świeradowa Zdroju „kuracja” radonowa trwa przez cały rok. Należy tu także wziąć pod uwagę, że zwykle w budynkach jednorodzinnych, jedno-dwukondygnacyjnych, które posiadają własne ujęcia wodne występuje również podniesiony poziom radonu w powietrzu.

Z tytułu spożycia przez człowieka wody ze zwiększoną zawartością radonu <sup>222</sup>Rn największą dawkę promieniowania otrzyma przewód pokarmowy a szczególnie żołądek. Również inne organy (np. wątroba, płuca), chociaż w mniejszym stopniu, będą narażone na działanie promieniowania.

Przyjmując średnie stężenie radonu w wodzie do picia na poziomie: 1095 Bq/l (Siostry Zmartwychwstanki), 380 Bq/l (Osiedle Budowlanych), 165 Bq/l (studnie indy-



widualne w Czerniawie Zdroju) oraz zakładając, iż wielkość tego spożycia (świeżej wody) przez osobę dorosłą nie przekracza 0,5 l/dzień otrzymamy roczne wchłonięcie radonu  $^{222}\text{Rn}$  odpowiednio na poziomie:  $\approx 199\ 840\ \text{Bq}$ ,  $69\ 350\ \text{Bq}$  oraz  $30\ 120\ \text{Bq}$ . Dla osoby dorosłej oszacowany roczny efektywny równoważnik dawki promieniowania jonizującego na całe ciało z tego tytułu wyniesie odpowiednio około:  $8,4\ \text{mSv/rok}$ ,  $2,9\ \text{mSv/rok}$  oraz  $1,3\ \text{mSv/rok}$ . Należy jednocześnie podkreślić, iż np. przelewanie wody, jej przetrzymywanie, itp. powoduje znaczne zmniejszenie stężenia występującego w niej radonu. Natomiast gotowanie wody powoduje prawie całkowite jego usunięcie.

#### WNIOSKI

1. Wody powierzchniowe używane do zasilania wodociągów w Świeradów Zdroju i Czerniawie Zdroju zawierają od kilkudziesięciu do kilkuset razy mniej radonu niż wody podziemne płytkiego krążenia.
2. Uważa się, iż stacje uzdatniania wody w Świeradów Zdroju powinny, do zasilania sieci miejskiej, korzystać tylko z wód powierzchniowych, ponieważ wody ze sztolni oraz studni artezyjskiej „Leśna Droga” zawierają znacznie wyższy poziom stężenia radonu. Osiedle Budowlanych powinno być zasilane z ujęcia „Wrzos”, a nie ze studni artezyjskiej „Leśna Droga”.
3. Sugeruje się, by w Świeradów Zdroju doprowadzić sieć wodociągu miejskiego do domów położonych w wyższych częściach miasta aby mieszkańcy nie musieli korzystać z płytkich studni przydomowych, mniej korzystnych pod kątem zawartości radonu w wodzie z nich pochodzącej.

**Podziękowania.** Autorzy serdecznie dziękują Pani mgr Katarzynie Kani, Inspektorowi Ochrony Radiologicznej w Uzdrawisku „Świeradów Zdrój”, za współpracę i pomoc przy realizacji powyższych badań oraz Panu Piotrowi Bielewiczowi, sprawującemu nadzór i konserwację komunalnych urządzeń wodno-kanalizacyjnych w Świeradów Zdroju, Czerniawie Zdroju i Pobiednej za udzielenie wyczerpujących informacji dotyczących ujęć i dystrybucji wody do picia.

K.A. Pachocki, B. Gorzkowski, E. Wilejczyk, J. Smoter

#### THE CONTENTS OF RADON $^{222}\text{Rn}$ IN DRINKING WATER OF ŚWIERADÓW ZDRÓJ AND CZERNIAWA ZDRÓJ

#### Summary

Radon-222 concentration in surface water, wells and tap water in Świeradów Zdrój and in Czerniawa Zdrój has been quantitative determined. The measurements were performed using the alpha liquid scintillation counting method. Radon arithmetic mean for water of individual wells in Świeradów Zdrój was found to be  $438,5\ \text{Bq/l}$  within the range between  $42\ \text{Bq/l}$  and  $1095\ \text{Bq/l}$ . The appropriate mean value for water of individual wells Czerniawa Zdrój was  $165\ \text{Bq/l}$  within the range from  $25,8\ \text{Bq/l}$  and  $402,4\ \text{Bq/l}$ . Waterworks in Czerniawa Zdrój is supplied with the surface water in which the radon concentration is low (about  $2\ \text{Bq/l}$ ). Water works in Świeradów Zdrój is supplied with the mixed water consisting from the surface water, which main characteristic is low radon concentration (below  $11\ \text{Bq/l}$ ), and from artesian well and mine gallery water with the radon concentration from  $321\ \text{Bq/l}$  to  $464\ \text{Bq/l}$  in it. This water is mixed in various ratios and therefore the radon concentration in it was within  $4\ \text{Bq/l}$  and  $79\ \text{Bq/l}$ .

## PIŚMIENNICTWO

1. *Beir IV*: Health risks of radon and other internally deposited alpha emitters. U.S. National Research Council Report, National Academy Press, Washington, D.C. 1988.
2. *Crawford-Brown D.J.*: The Biokinetics and Dosimetry of Radon-222 in the Human Body Following Ingestion of Groundwater. *Env. Geochem. Health*, 1989, 11, 10–17.
3. *Dziedzic K.* i wsp.: Surowce mineralne Dolnego Śląska. Zakład Narodowy im. Ossolińskich. Wrocław 1979.
4. *Marszałek H.*: Hydrogeologia górnej części zlewni Kamiennej w Sudetach Zachodnich. Wyd. Uniwersytetu Wrocławskiego. Wrocław 1996, 1–100.
5. *Pachocki K., Flakiewicz W., Gorzkowski B., Różycki Z., Majle T.*: Radon  $^{222}\text{Rn}$  w wodach głębinowych z terenu województwa płockiego. *Notatki Płockie* 1998, 137, 4, 50–52.
6. *Pachocki K., Gorzkowski B., Majle T., Różycki Z.*: Występowanie radonu  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie z ujęć głębinowych na terenie Pojezierza Mazurskiego. *Roczn. PZH* 1997, 48, 69–77.
7. *Pachocki K., Gorzkowski B., Majle T., Różycki Z., Peńsko J., Poręba I.*: Pomiary stężenia radonu  $^{222}\text{Rn}$  w wodzie z ujęć głębinowych na terenie Warszawy. *Roczn. PZH* 1996, 47, 285–293.
8. *Pachocki K., Gorzkowski B., Różycki Z., Majle T.*: Zawartość radonu w wodzie z ujęć głębinowych gdańskiego regionu hydrogeologicznego. *Roczn. PZH* 1999, 50, 145–155.
9. *Przylibski T.A.*: Wybrane uwarunkowania występowania radonu-222 w Sudetach. Praca doktorska, Wrocław 1997 r. Politechnika Wroclawska, Wydział Górniczy, Instytut Geotechniki i Hydrotechniki.
10. *Przylibski T.A., Żebrowski A.*: Origin of Radon in medicinal waters od Świeradów Zdrój. *Nukleonika* 1996, 41, 4, 109–116.
11. WHO: Guidelines for drinking water quality. Vol. Recommendations. Geneva 1993, 4, 114–121.

Otrzymano: 1999.05.12