

KRZYSZTOF A. PACHOCKI, BOHDAN GORZKOWSKI, ZDZISŁAW RÓŻYCKI,
ELŻBIETA WILEJCZYK¹, JACEK SMOTER¹

RADON ²²²Rn W WODZIE DO PICIA Z OBSZARU JELENIEJ GÓRY

RADON-222 IN DRINKING WATER FROM JELENIA GÓRA AREA

Zakład Ochrony Radiologicznej i Radiobiologii,
Państwowy Zakład Higieny w Warszawie
ul. Chocimska 24, 00–791 Warszawa
Kierownik Zakładu: dr *K. Pachocki*

¹ Sekcja Ochrony Radiologicznej,
Oddział Zamiejscowy w Jeleniej Górze
Wojewódzka Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna we Wrocławiu
ul. Kasprowicza 17, 58–500 Jelenia Góra
Kierownik Oddziału: lek. med. *Z. Bucki*

Oznaczano ilościowo stężenia radonu ²²²Rn w wodzie ze wszystkich ujęć (podziemnych i powierzchniowych) zasilających obszar Jeleniej Góry. Radon oznaczano metodą ciekłej scyntylacji cząstek alfa. Oszacowano, m.in. w oparciu o przyjęte standardy spożycia, dawki promieniowania jonizującego otrzymywane przez osoby spożywające tą wodę.

WSTĘP

Miasto Jelenia Góra leży w Kotlinie Jeleniogórskiej, w obrębie jednostki geologicznej Bloku Karkonoszy, który składa się z dwóch jednostek tektonicznych: granitu karkonoskiego oraz metamorfiku izerskiego, stanowiącego prekambryjską osłonę masywu granitowego.

Kotlina Jeleniogórska stanowi klasyczny przykład kotliny śródgórskiej. Rozległa powierzchnia denna kotliny, o urozmaiconej rzeźbie, znajduje się na wysokości 300 – 450 m n.p.m. Od południa ograniczona jest Masywem Karkonowskim, od zachodu Pogórzem Izerskim, od północy Górami Kaczawskimi, a od wschodu Rudawami Janowickimi. Długość Kotliny wynosi ok. 15 km, szerokość zaś ok. 12 km [4].

W Kotlinie Jeleniogórskiej występuje płytki poziom wodonośny, o miąższości ok. 2–5 m, zwany poziomem rumoszu zwietrzelinowego. Odgrywa on doniosłą rolę w krążeniu wód, gdyż jest pierwszym recypientem infiltrujących wód opadowych.

W skład obecnego organizmu miejskiego Jeleniej Góry wchodzi historycznie ukształtowane w średniowieczu jednostki osadnicze o zróżnicowanej genezie powstania: Cieplice, Sobieszów, Czarne, Garbary, Maciejowa, Raszyce (ob. część Zabobrza), Strupice, Malinnik, Konradów, Goduszyn. Zaopatrzenie w wodę tego miejskiego zespołu, zarówno na potrzeby komunalne jak i przemysłowe, opiera się na eksploatacji płytkich wód infiltracyjnych przy pomocy ujęć sączkowo-drenażowych, ujęć brzegowych oraz

czierpanych ze studni wierconych, w korzystnych warunkach hydrogeologicznych czwartorzędu. Głębokość studni sięga maksymalnie 13–14 m.

Jak wiadomo skały metamorficzne: granity i gnejsy charakteryzują się podwyższoną koncentracją uranu i radu co ma wpływ na formowanie się wód radonoczynnych. Powyższe uwarunkowania geologiczne były powodem rozpoczęcia wykonywania pomiarów radonu w wodzie do picia na tym obszarze. Generalnie, w ostatnim czasie rośnie zainteresowanie badaniami poziomu stężenia radonu ^{222}Rn w wodzie pitnej [11]. W Polsce rutynowe pomiary prowadzi się tylko w wodach uzdrowiskowych pochodzących z terenu Sudetów [3, 9, 10, 14].

Radon łatwo rozpuszcza się w wodzie oraz w rozpuszczalnikach organicznych, np. węglowodorach alifatycznych, aromatycznych czy alkoholach. Ropa naftowa i gaz ziemny są naturalnym absorbentem radonu. Gazy lub pary wydobywające się z głębszych warstw litosfery na jej powierzchnię ułatwiają wędrówkę radonu do atmosfery lub hydrosfery. Radon obecny jest we wszystkich zbiornikach wodnych. Wody głębinowe zawierają go znacznie więcej niż wody powierzchniowe.

Wraz ze swoimi produktami rozpadu (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po) stanowi on największe źródło dawki otrzymywanej przez ogół ludności (głównie drogą inhalacyjną) z naturalnych źródeł promieniowania jonizującego [1, 2].

MATERIAŁ I METODY

Próbki wody z Jeleniej Góry oraz terenu Kotliny Jeleniogórskiej pobierane były z każdego ujęcia przed i po uzdatnieniu (po trzy próbki). Następnie, w możliwie krótkim czasie, przekazywane były do Zakładu Ochrony Radiologicznej i Radiobiologii Państwowego Zakładu Higieny w Warszawie, w celu wykonania pomiarów zawartości w nich radonu ^{222}Rn . Pomiary radonu wykonywano metodą ciekłej scyntylacji cząstek alfa i beta przy wykorzystaniu licznika Packard Tri-Carb 1900 TR [6, 7, 8]. Czas zliczania próbek wynosił od 15 do 40 minut, a błąd oznaczania (zależnie od mierzonej aktywności) kształtował się w przedziale 5 – 12%.

Ujęcia wód

Próbki wody pochodziły z wszystkich ujęć zasilających sieć wodociągową zespołu miejskiego Jelenia Góra (Tab. I).

Ujęcie „GRABARÓW”

Ujęcie „Grabarów” zlokalizowane jest w prawobrzeżnej części Jeleniej Góry, w pasie nadbrzeżnym rzeki Bóbr. Eksploatacja ujęcia wody Grabarów oparta jest o pobór wody:

- powierzchniowej i infiltracyjnej pochodzącej z rzeki Bóbr, oraz
- podziemnej, ujmowanej w dwóch różnych systemach.

System pierwotny jednostopniowy (zrealizowany w latach 70-tych) stanowi ujęcie za pomocą 9 studni szybowych, zasilanych z infiltracji brzegowej rzeki Bóbr oraz dopływu podziemnego. System ten układem lewarowym doprowadza wodę do studni zbiorczej mieszczącej się w pompowni.

Nowy (zrealizowany w latach 80-tych) jest systemem dwustopniowym, w którym w stopniu pierwszym woda powierzchniowa z rzeki Bóbr doprowadzana jest grawitacyjnie do 9 stawów infiltracyjnych (zalewowych), a w stopniu drugim za pomocą drenażu poziomego i pionowego, zlokalizowanego w dwóch barierach między stawami, ujmowana woda pochodząca z infiltracji oraz z dopływu podziemnego doprowadzana jest układem lewarowym do studni zbiorczej w pompowni.

W obydwu systemach ujmowanie wody następuje z czwartorzędowej warstwy wodonośnej zbudowanej głównie ze żwirów, piasków i otoczków o zmiennej granulacji, których miąższość waha się od 8 do 10 m. Warstwa ta zalega bezpośrednio na górnokarbońskich granitach karkonoskich i ich wietrzelinach, których miąższość może osiągać kilka metrów. Ujęcie „Grabarów” zaopatruje w wodę około 60% mieszkańców Jeleniej Góry (jednostki administracyjne: Zabobrze, Śródmieście, Grunwaldzka, Sudecka, Łomnicka).

Ujęcie „CEGLANA”

Ujęcie „Ceglana” zlokalizowane jest w zachodniej części Jeleniej Góry w byłych Cieplicach Śląskich Zdrój, w dolinie rzeki Kamiennej. Ujęcie to bazuje na wodach podziemnych z czwartorzędowej warstwy wodonośnej wykształconej głównie w postaci żwirów z otoczkami. W pobliżu warstwy osadów czwartorzędowych do głębokości od 9 m do 11 m występuje górnokarboński granit karkonoski w formie zwietrzeliny. Woda z warstwy wodonośnej ujmowana jest pięcioma studniami szybowymi o głębokości około 10 m posadowionymi na stropie granitu. Dopływ wody do studni następuje przez ściany boczne i dno. Ujęcie „Ceglana” zaopatruje w wodę około 2% mieszkańców Jeleniej Góry (osiedle „Centralna”, „Za torami”, „Spółdzielcza”).

Ujęcie „POD KARPACZEM”

Ujęcie położone jest około 1 km na północ od centrum Karpacza, ale nie służy dla jego potrzeb. Zlokalizowane jest w zalesionym międzyrzeczu rzeki Łomnicy i Płonicy, na wysokości fabryki papieru w Miłkowie. Ujmuje ono wody drenażowe i częściowo powierzchniowe poprzez system ciągów drenażowych i studni kopanych, wybudowanych w czwartorzędowych utworach kamienisto-żwirowych, zalegających na stropie granitu. Ujęcie to składa się z 16 studni, z czego dla Jeleniej Góry wykorzystywanych jest 6 studni o głębokości 7 – 8 m. Posiada 3 studnie zbiorcze, z czego tylko jedna pracuje dla Jeleniej Góry (zasila jednostki administracyjne: „Sudecka”, „Czarne” oraz częściowo „Głowackiego”). Dwie pozostałe studnie zbiorcze zasilają w wodę Mysłakowice, Łomnice, Wojanów i Dąbrowice. Ujęcie „Pod Karpaczem” zasilają około 3% mieszkańców Jeleniej Góry.

Ujęcie „ŚNIEŻNE KOTŁY”

Znajduje się na południowych krańcach Jeleniej Góry – Jagniątkowa (administracyjnie w granicach Jeleniej Góry), na terenie Karkonoskiego Parku Narodowego. Ujmuje wody drenażowo-powierzchniowe w strefie źródłiskowej rzeki Wrzosówki. Ciągi drenażowe ułożone są w strefie rumoszu granitowego i zwietrzeliny na głębokości 4 do 6 m. Ujęcie to zasilają w wodę Michałowice będące częścią miasta Piechowice. Ujęcie to nie zaopatruje w wodę miasta Jelenia Góra.

Ujęcie „PODGÓRZYN”

Zlokalizowane jest w centralnej części miejscowości Podgórzyn (gmina Podgórzyn) na prawym brzegu rzeki Podgórznej. Ujmuje ono bezpośrednio wody powierzchniowe rzeki Podgórznej. Zasilają jednostki administracyjne Jeleniej Góry: Nowe Cieplice, Centralna, Głowackiego i Śródmieście. Udział w zasilaniu miasta określa się na 16%.

Ujęcie „LEŚNICZÓWKA”

Znajduje się na terenie jednostki administracyjnej miasta Jelenia Góra – Jagniątkowa, na obszarze granicznym nadleśnictwa Śnieżka i Karkonoskiego Parku Narodowego. Ujmuje bezpośrednio wody powierzchniowe z potoku Sopot. Zasilają jednostki administracyjne Jeleniej Góry – Jagniątków i górną część Sobieszowa. Udział w zasilaniu miasta określa się na 4%.

Ujęcie „KAMIENNA WIEŻA”

Znajduje się na terenie jednostki administracyjnej miasta Jelenia Góra – Jagniątkowa w obszarze Karkonoskiego Parku Narodowego. Ujęcie to ujmuje bezpośrednio wody powierzchniowe

cieku „Polski Potok”. Zasila jednostki administracyjne Jeleniej Góry: Jagniątków i Sobieszów. Udział w zaopatrzeniu w wodę całego rejonu wynosi 2%.

Ujęcie „GÓRZYNIEC”

Znajduje się na terenie Nadleśnictwa Szklarska Poręba w gminie Stara Kamienica. Ujmuje bezpośrednio wody powierzchniowe rzeki Mała Kamienna. Zasila miasto Piechowice oraz jednostki administracyjne Jeleniej Góry: Sobieszów, Stare Cieplice oraz Nowe Cieplice. Udział w zasilaniu całego rejonu określa się na 11%.

Ujęcie „CENTRUM – JELCHEM”

Zlokalizowane jest około 1 km na południowy zachód od centrum Jeleniej Góry, na lewym brzegu rzeki Kamiennej. Ujmuje bezpośrednio wody powierzchniowe z rzeki Kamiennej. Ujęcie to ma charakter ujęcia awaryjnego. Zaopatruje około 2% mieszkańców Jeleniej Góry.

WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Większość zaopatrzenia w wodę obszaru Jeleniej Góry pobierana jest z ujęć zlokalizowanych na terenie miasta. Ujęcie Grabarów położone jest w pasie nadbrzeżnym rzeki Bóbr. Większość wody ujmowana jest ze studzien posadowionych na gruncie złożonym ze żwirów, piasków i otoczków. Pod tą warstwą wodonośną występują granity i ich zwietrzliny. Materiał geologiczny przez który przepływa woda zawiera pierwiastki szeregu uranowo-radowego, stąd ekshalacja radonu, który dobrze rozpuszcza się w wodzie. Podczas rozpadu atomów radu-226 następuje emisja cząstek alfa oraz powstają atomy radonu-222. Obojętny atom radonu może dyfundować tak długo, aż ulegnie rozpadowi lub, aż wydostanie się z cząsteczki minerału. Atomy radonu, które wydostały się z kryształów macierzystych mogą przemieszczać się w powietrzu oraz w zbiornikach wodnych na znaczne odległości. Spadek ciśnienia atmosferycznego wpływa na zwiększenie ekshalacji radonu z gruntu. Współczynnik dyfuzji radonu i szybkość jego transportu w blokach skalnych są minimalne. Wody z ujęcia w Grabarowie monitorowane w okresie od 1995 r. do 2000 r. wykazywały stężenia radonu przed uzdatnieniem od 179,6 Bq/l do 289,0 Bq/l. Po uzdatnieniu, przed wprowadzeniem do sieci wodociągowej, wykazywały stężenia radonu nieco niższe, od 177,7 Bq/l do 231,8 Bq/l (Tab. I).

Wody powierzchniowe zawierają zwykle niskie stężenia radonu. Woda z rzeki Bóbr w Jeleniej Górze, przed studniami szybowymi (infiltracyjnymi) zawierała 2,3 Bq/l radonu, natomiast stawy zalewowe usytuowane obok studni drenażowych wykazywały stężenia radonu w wodzie od 1,3 Bq/l do 2,6 Bq/l. Wody z tych stawów, przechodząc do studni przez warstwę żwirów i piasków nasycają się radonem, który również może dyfundować z podłoża na którym usytuowane są studnie zawierające rumosz granitowy oraz z głębiej położonych warstw podłoża granitowego. Stężenia radonu w wodzie pobieranej ze studzien drenażowych zawierały się w przedziale od 83,2 Bq/l do 350,4 Bq/l. Natomiast w studniach szybowych (infiltracyjnych) wynosiły od 17,2 Bq/l do 258,6 Bq/l (Tab. II).

Wykonano również blisko 130 pomiarów radonu w wodzie wodociągowej (pobieranej z kranu) docierającej do domów mieszkalnych w północnych rejonach Jeleniej Góry, gdzie zasilanie sieci miejskiej w wodę pochodzi z ujęcia w Grabarowie. Prawie wszystkie stężenia radonu mieściły się w zakresie od 100 Bq/l do 250 Bq/l. Średnia dla wszystkich pomiarów wynosiła 163 Bq/l. Jest to nieco niższa wartość od średniej stężenia radonu jaka była mierzona, na ujęciu w Grabarowie, w wodzie bezpośrednio po uzdat-

Tabela I. Stężenia radonu- ^{222}Rn w ujęciach wód zasilających sieć wodociagową obszaru Jeleniej Góry
Radon ^{222}Rn concentration in tap water of Jelenia Góra from different water-supply stations

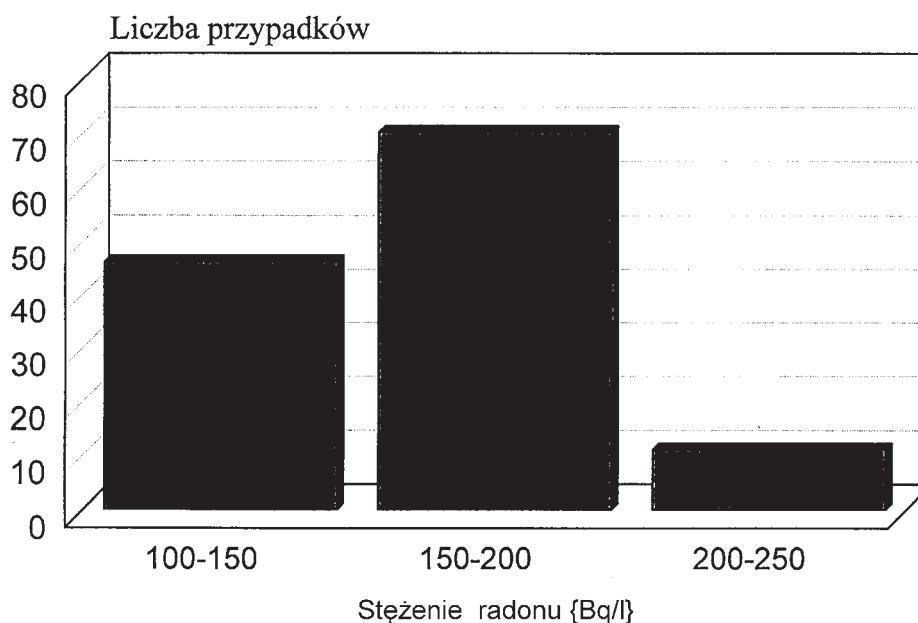
Nazwa ujęcia	% zaopatrzenia Jeleniej Góry	Stężenie radonu ^{222}Rn w wodzie (zakres) Bq/l (\pm SD)	
		Przed uzdatnieniem	Po uzdatnieniu
Grabarów	60,0	179,6–289,0 (\pm 4,9)	177,7–231,8 (\pm 5,0%)
Podgórzyn*	16,0	1,3–1,9 (\pm 12,4%)	1,4–2,9 (\pm 12,4%)
Górzyniec*	11,0	0,9–1,3 (\pm 12,4%)	1,1–3,0 (\pm 12,4%)
Leśniczówka*	4,0	2,6–3,0 (\pm 9,6%)	3,1–3,2 (\pm 9,6%)
Pod Karpaczem	3,0	154,4–216,4 (\pm 5,0%)	137,2–196,4 (\pm 5,2%)
Centrum-Jelchem*	2,0	3,3–5,5 (\pm 9,3%)	1,9–3,9 (\pm 9,6%)
Ceglana	2,0	70,9–73,4 (\pm 5,2%)	40,4–41,9 (\pm 7,7%)
Kamienna Wieża*	2,0	3,8–4,5 (\pm 9,7%)	5,2–7,5 (\pm 9,5%)
Śnieżne Kotły	nie zasila	93,2–101,1 (\pm 5,4%)	86,8–89,0 (\pm 5,7%)

* ujęcia powierzchniowe

Tabela II. Stężenia radonu- ^{222}Rn w wodzie z poszczególnych miejsc poboru w stacji uzdatniania wody w Grabarowie
Radon ^{222}Rn concentration in tap water from particular wells and ponds in water-supply station of Grabarów

Miejsce poboru	Stężenie radonu ^{222}Rn w wodzie (zakres) Bq/l (\pm SD)		
	Woda nie zmieszana przed uzdatnieniem	Woda zmieszana	
		Przed uzdatnieniem	Po uzdatnieniu
Studnie drenażowe: Nr 1 Nr 2 Nr 3 Nr 4 Nr 5 Nr 6	246,9 (\pm 4,9%) 83,2 (\pm 5,2%) 350,4 (\pm 4,9%) 294,1 (\pm 4,9%) 295,5 (\pm 4,9%) 183,2 (\pm 4,9%)	179,6–289,0 (\pm 4,9%)	177,7–231,8 (\pm 4,9%)
Studnie infiltracyjne: (szybowe) Nr 5 Nr 6 Nr 7 Nr 8 Nr 9 Nr 10	196,2 (\pm 5,1%) 175,5 (\pm 5,1%) 160,7 (\pm 5,0%) 256,5 (\pm 4,9%) 258,6 (\pm 4,9%) 17,2 (\pm 7,3%)		
Stawy zalewowe: Nr 2 Nr 5 Nr 9	1,0–2,6 (\pm 9,5%)		
Rzeka Bóbr przed studniami infiltracyjnymi	2,3 (\pm 9,1%)		

nieniu, przed wprowadzeniem do sieci miejskiej. Różnice te można tłumaczyć rozpadem radonu w czasie jaki upłynął od chwili wprowadzenia wody do sieci do chwili pomiaru u indywidualnego odbiorcy w mieszkaniu (Ryc. 1).



Ryc. 1. Rozkład stężenia radonu-²²²Rn w wodzie z ujęcia w Grabarowie (woda wodociągowa pobrana w mieszkaniach w Jeleniej Górze)
Distribution of concentrations of radon-222 in tap water of Jelenia Góra from Grabarów water-supply station

Ujęcie „Ceglana” w Cieplicach czerpie wodę z 5 studzien. Ma ono charakter lokalny i wnosi tylko 2% zaopatrzenia w wodę obszaru Jeleniej Góry. Stężenie radonu w poszczególnych studniach wynosiło od 41,2 Bq/l do 100,7 Bq/l (Tab. III). Natomiast w wodzie nie uzdatnionej po zmieszaniu z aktualnie pracujących studzien wynosiło od 70,9 Bq/l do 73,4 Bq/l. Po uzdatnieniu stężenie radonu obniżało się do 40,4 Bq/l–41,9 Bq/l (Tab. I).

Ujęcie „Pod Karpaczem” pobiera wody drenażowe oraz częściowo powierzchniowe. Stężenie radonu w poszczególnych studniach drenażowych wynosiło kolejno 150,4 Bq/l, 237,0 Bq/l i 261,7 Bq/l (Tab. IV). Po zmieszaniu nie uzdatnionych wód z poszczególnych studni stężenia radonu, w różnym czasie, wahało się od 154,4 Bq/l do 216,4 Bq/l. Woda uzdatniona zawierała w badanym okresie stężenia od 137,2 Bq/l do 196,4 Bq/l. Wpływ na zmienny poziom radonu w wodzie uzdatnionej ma przede wszystkim stosunek udziału wód z poszczególnych studni, udział domieszki wód powierzchniowych, rozpad promieniotwórczy radonu.

W ujęciu „Śnieżne Kotły” drenaż wody następuje z rumoszu granitowego i zwierzciny na głębokości od 4 do 6 metrów, co powoduje, iż koncentracja radonu w wodzie jest podwyższona. Woda nie uzdatniona wykazywała stężenia radonu od 93,2 Bq/l do

Tabela III. Stężenia radonu- ^{222}Rn w wodzie z poszczególnych studni szybowych w stacji wodociągowej „Ceglana”
Radon ^{222}Rn concentration in water from particular wells in water-supply station „Ceglana”

Studnia szybowa	Stężenie radonu ^{222}Rn w wodzie Bq/l (\pm SD)	
	Przed uzdatnieniem	Po uzdatnieniu
Nr 1	41,2 (\pm 8,8%)	
Nr 2	100,7 (\pm 6,7%)	
Nr 3	53,6 (\pm 7,3%)	
Nr 4	74,1 (\pm 7,1%)	
Nr 5	94,4 (\pm 6,4%)	
Woda zmieszana ze wszystkich studni	70,9–73,4 (\pm 5,2%)	40,4–41,9 (\pm 7,7%)

Tabela IV. Stężenia radonu- ^{222}Rn w wodzie z poszczególnych studni w stacji wodociągowej „Pod Karpaczem”
Radon ^{222}Rn concentration in water from particular wells in water-supply station „Pod Karpaczem”

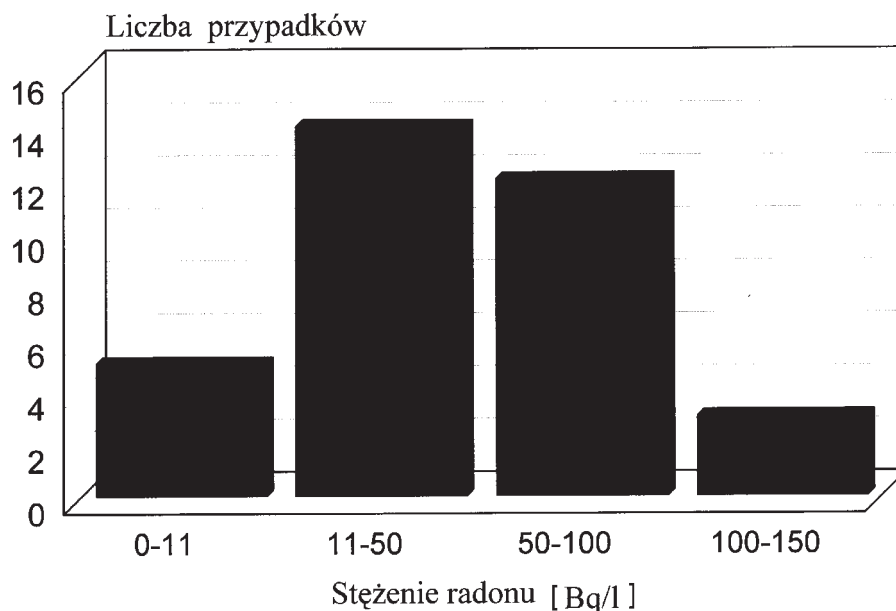
Studnia szybowa	Stężenie radonu ^{222}Rn w wodzie Bq/l (\pm SD)	
	Przed uzdatnieniem	Po uzdatnieniu
Nr 1	150,4 (\pm 5,0%)	137,2–196,4 (\pm 5,2%)
Nr 2	237,0 (\pm 5,0%)	
Nr 3	261,7 (\pm 5,0%)	
Studnia zbiorcza główna	178,3–216,4 (\pm 4,9%)	
Studnia zbiorcza Nr 2	154,4–171,4 (\pm 4,9%)	

101,1 Bq/l. Po uzdatnieniu stężenia radonu nieznacznie obniżyły się do poziomu 86,8 Bq/l – 89,0 Bq/l.

Pozostałe ujęcia wykorzystują do zasilania wodociągów wody powierzchniowe. Ujęcia „Podgórzyn” z rzeki Podgórzyn, ujęcie „Leśniczówka” z potoku Sopot, ujęcie „Kamienna Wieża” z Polskiego Potoku, ujęcie „Górzyniec” z rzeki Mała Kamienna oraz ujęcie „Centrum-Jelchem” z rzeki Kamiennej. Zgodnie z przewidywaniem stężenia radonu w wodach z powyższych ujęć są niskie i nie przekraczają 7,5 Bq/l (Tab. I).

Na terenie Jeleniej Góry występują także indywidualne studnie, z których pobiera się wodę do celów gospodarczych i spożywczych. Są to najczęściej płytkie, o kilkumetrowej głębokości, studnie kopane. Wody podziemne poziomu plejstoceniowego gromadzą się w piaskach i żwirach oraz w utworach morenowych. Zwierciadło wody zalega na niewielkiej głębokości wahając się najczęściej w granicach 2–5 m. Stężenia radonu występujące w tych wodach mieściły się w zakresie od 6,2 Bq/l do 107,9 Bq/l. Średnia dla wszystkich studzien wynosiła ok. 51,6 Bq/l (Ryc. 2).

Otrzymane wyniki potwierdzają hipotezę, iż obszar Pogórza Sudeckiego, w tym obszar Jeleniej Góry jest terenem o podwyższonym stężeniu radonu. Z wcześniej



Ryc. 2. Rozkład stężenia radonu-²²²Rn w wodzie ze studni indywidualnych w Jeleniej Górze
Distribution of concentrations of radon-222 in individual well in Jelenia Góra

przeprowadzonych badań wynika, iż w innych częściach kraju, np. na Pojezierzu Mazurskim, Gdańskim Rejonie Hydrogeologicznym, w województwie mazowieckim i w Warszawie średnie stężenia radonu w wodach podziemnych kształtowały się na poziomie kilku Bq/l [5, 6, 7, 8].

Stosując biokinetyczny model opracowany przez *Crawford-Brown'a* oraz przyjmując średnie stężenie radonu w wodzie do picia na poziomie ok. 200 Bq/l, a także zakładając, iż wielkość bezpośredniego spożycia świeżej wody przez osobę dorosłą nie przekracza 0,3 l/dzień, oszacowano roczny efektywny równoważnik dawki promieniowania jonizującego na całe ciało na poziomie ok. 0,9 mSv/rok [2]. Należy jednocześnie podkreślić, iż np. przelewanie wody, jej przetrzymywanie, itp. powoduje znaczne zmniejszenie stężenia występującego w niej radonu. Natomiast gotowanie wody powoduje prawie całkowite pozbycie się go.

Wysokie stężenia radonu występujące w wodach podziemnych, głównie na ujęciach w Grabarowie oraz w trzech mniejszych: „Ceglana”, „Pod Karpaczem” i w „Śnieżnych Kotłach” można obniżyć stosując napowietrzanie. Powinno ono być prowadzone w otwartych basenach (zbiornikach) wodnych w czasie jej uzdatniania. Przepuszczenie powietrza przez warstwę wody powoduje usunięcie większości radonu. Taką metodę zaleca dla publicznych ujęć wody np. Departament Nauk o Środowisku Naturalnym i Inżynierii Uniwersytetu Północna Karolina. W USA dla małych ujęć i w instalacjach domowych poleca się przepuszczać wodę przez urządzenia zawierające granulowany węgiel aktywowany, który adsorbuje radon prawie w 100%. Izotop ołowiu Pb-210 powstający w procesie rozpadu radonu adsorbowany jest w ok. 95% [13].

WNIOSKI

1. Wody powierzchniowe używane do zasilania wodociągów na obszarze Jeleniej Góry zawierają wielokrotnie mniej radonu ^{222}Rn niż wody podziemne.
2. Wody podziemne o dużym stężeniu radonu stanowią blisko 65% zaopatrzenia w wodę zespołu miejskiego Jelenia Góra.
3. Wysokie stężenia radonu- ^{222}Rn w wodach podziemnych można znacznie obniżyć w procesie uzdatniania wody przez napowietrzanie w otwartych basenach lub dla małych ujęć przepuszczając wodę przez urządzenia zawierające granulowany węgiel aktywowany.

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

RADON-222 IN DRINKING WATER FROM JELENIA GÓRA AREA

Summary

In the last decade one can observe an increasing interest in the study of ^{222}Rn levels in water samples.

In Poland, radon concentration is measured continuously and routinely only in mineral and medical waters from springs located in the area of health resorts in the Sudety Mountains. The reason for these studies is the fact that waters present in this area have a high radon concentration.

Radon – 222 concentration in surface water, wells water and tap water in Jelenia Góra has been quantitative determined. The measurements were performed using the alpha liquid scintillation counting method.

“Grabarów”, the main waterworks in Jelenia Góra is supplied with the mixed water consisting from the surface water (river Bóbr), which main characteristic is low radon concentration (below 11 Bq/l), and from ground water with the radon concentration from 179,6 Bq/l to 289,0 Bq/l in it. Also, waterworks „Ceglana”, „Pod Karpaczem”, „Śnieżne Kotły” is supplied with the ground water have a high radon concentration: from 93,2 Bq/l to 216,4 Bq/l. The next waterworks: „Podgórzyn”, „Leśniczówka”, „Kamienna Wieża”, „Górzyniec” and „Centrum-Jelchem” is supplied with the surface water in which the radon concentration is low: from 1,1 Bq/l to 7,5 Bq/l.

The annual effective dose to an individual from an intake of radon-222 via ingestion of drinking water is calculated by the Crawford-Brown's biokinetic model. In the present study it was found to be about 0,9 mSv/y (^{222}Rn concentration level in drinking waters about 200 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. Pachocki K., Gorzkowski B., Wilejczyk E., Smoter J.: Zawartość radonu ^{222}Rn w wodzie do picia w Świeradowie Zdroju i Czerniawie Zdroju. *Roczn. PZH* 2000, 51, 43–52.
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}Rn w wodach głębinowych z terenu województwa płockiego. *Notatki Płockie* 1998, 137, 50–52.
6. Pachocki K., Gorzkowski B., Majle T., Różycki Z.: Występowanie radonu ^{222}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}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 Wrocławska, Wydział Górniczy, Instytut Geotechniki i Hydrotechniki.
10. Przylibski T.A., Żebrowski A.: Origin of Radon in medicinal waters od Świeradów Zdrój. Nukleonika 1996, 41, 109–116.
11. WHO: Guidelines for drinking water quality. Vol. Recommendations. Geneva, 1993, 4, 114–121.
12. Pachocki K.A.: Radon w środowisku. Ekologia i Zdrowie, Warszawa, 1995.
13. Watson J.E., Crawford-Brown D.J.: Use of Activated Carbon to Remove Radon from Drinking Water. Report 260, Department of Environmental Sciences and Engineering, University of North Carolina at Chapel Hill, 2000 (Internet).
14. Kozłowska B., Hetman A., Zipper W.: Determination of ^{222}Rn in natural water samples from health resorts in the Sudety Mountains by the liquid scintillation technique. Applied Radiation and Isotopes 1999, 51, 475–480.

Otrzymano: 2000.11.30