

Małgorzata Wysocka

RADON W JASKINIACH JURY KRAKOWSKO-CZĘSTOCHOWSKIEJ

Streszczenie

Radon (^{222}Rn) należy do uranowego szeregu promieniotwórczego. Jako gaz szlachetny jest mało toksyczny, szkodliwe są natomiast produkty jego rozpadu. Źródłem radonu w naszym otoczeniu są głównie skały budujące podłoże, rzadziej materiały budowlane, woda wodociągowa i gaz ziemny. Narażenie radiacyjne, powodowane przez radon, jest związane przede wszystkim z zamkniętymi przestrzeniami o słabej wentylacji, jakimi są: wyrobiska podziemnych zakładów górniczych, jaskinie, tunele, a także domy mieszkalne.

Od kilkunastu lat w świecie prowadzone są badania naturalnej promieniotwórczości w jaskiniach. W Polsce szczególna uwaga specjalistów dotyczy obszaru Sudetów, charakteryzującego się podwyższonym naturalnym tłem promieniowania gamma i występowaniem naturalnych wód o podwyższonej zawartości radonu. Zagadnienia związane z występowaniem promieniotwórczości naturalnej Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej oraz ryzykiem radonowym w jaskiniach tego obszaru, nie są dotychczas dostatecznie rozpoznane. W artykule przedstawiono wyniki pomiarów stężenia radonu w 11 jaskiniach. Badaniami objęto zarówno jaskinie łatwo dostępne, jak i te, do których wejście wymagało przygotowania speleologicznego. Wyniki badań wykazały, że stężenia radonu w jaskiniach jurajskich są znacznie mniejsze od rekordowych wartości podawanych w doniesieniach literaturowych. W kilku jaskiniach stężenia radonu przekraczały 1000 Bq/m^3 . Oszacowano dawki, na jakie są narażeni turyści oraz speleolodzy i przewodnicy w jaskiniach turystycznych. Stwierdzono, że dawki, wynikające z ekspozycji na radon i produkty jego rozpadu, otrzymują osoby przebywające przez kilkaset godzin rocznie w jaskiniach. Mogą one być większe od tych, na jakie są narażeni górnicy kopalń węgla kamiennego. W celu wyliczenia rzeczywistych dawek należy zaopatrzyć przewodników w dawkomierze indywidualne.

Radon in caves of the Kraków-Częstochowa Upland

Abstract

Radon (^{222}Rn) is naturally occurring noble gas, the member of uranium series. The main source of radon is bedrock, sometimes building materials, drinking water and gas. The potential risk that stems from radon and its progeny in underground mines and dwellings is well documented. In caves in different countries radon concentrations have been identified as elevated. In Poland radon measurements have been performed in the region of Sudety Mountains where the elevated background of natural radiation occurs.

In the paper results of measurements of radon concentrations in 11 caves of the Kraków-Częstochowa Upland are presented. Radon concentrations in these caves are not high by world standards. However the annual doses calculated to long-term users of caves and tourists guides are in some caves higher than 13 mSv. It means that doses to cave users might be higher than to miners of underground coal mines. For detailed calculations of doses from radon and its progeny to tourists guides the data from personal dose-meters are necessary.

WPROWADZENIE

Wśród około 50 naturalnych izotopów promieniotwórczych występujących w naturze znajdują się również izotopy w postaci gazowej, czyli izotopy radonu. Radon, jako gaz szlachetny, jest mało toksyczny, szkodliwe są natomiast produkty jego rozpadu. O ujemnym wpływie dużych stężeń radonu i produktów jego rozpadu pisano już w XVI wieku. Górnicy kopalń rud metali na Rudawach zapadali na chorobę niewystępującą nigdzie indziej. Dzisiaj wiadomo, że bezpośrednią przyczyną zachorowań i zgonów średniowiecznych górników były krótkożyciowe produkty rozpadu radonu, a tajemnicza choroba to nowotwór płuca i górnych dróg oddechowych. Źródłem radonu w naszym otoczeniu są głównie skały budujące podłoże, rzadziej materiały budowlane, woda wodociągowa i gaz ziemny. Narażenie radiacyjne, powodowane przez radon jest związane przede wszystkim z zamkniętymi przestrzeniami o słabej wentylacji, jakimi są: wyrobiska podziemnych zakładów górniczych, jaskinie, tunele, a także domy mieszkalne.

Problem występowania narażenia radiacyjnego w kopalniach uranu interesuje uczonych już od ponad pięćdziesięciu lat (Tsivoglou 1953; Evans 1969). Od pół wieku była prowadzona również kontrola narażenia radiacyjnego górników kopalń uranowych, a od ponad dwudziestu, w kopalniach węgla kamiennego (Lebecka 1985; Wysocka 2005). Istnieje wiele publikacji poświęconych promieniotwórczości naturalnej w jaskiniach (Solomon 1996; Szerbin 1996; Lario 2005; Gillmore 2005). W Polsce szczególna uwaga specjalistów jest skupiona na obszarze Sudetów, charakteryzującym się podwyższonym naturalnym tłem promieniowania gamma i występowaniem naturalnych wód radonośnych (Przylibski 1999). Zagadnienia związane z występowaniem promieniotwórczości naturalnej Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej oraz ryzykiem radonowym w jaskiniach tego obszaru, nie zostały dotychczas dostatecznie rozpoznane.

W związku z powyższym było celowe oszacowanie dawek powodowanych ekspozycją na radon, na jakie mogą być narażeni turyści i przewodnicy w jaskiniach Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej. Dawki oszacowano na podstawie wyników pomiarów stężenia radonu w wybranych jaskiniach. Wyniki porównano z dawkami skutecznymi, na jakie narażeni są górnicy górnośląskich kopalń węgla kamiennego.

1. CHARAKTERYSTYKA MIEJSCA BADAŃ

W okresie od czerwca do listopada 2003 roku prowadzono badania stężenia radonu w jaskiniach Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej. Do pomiarów wytypowano 11 jaskiń popularnych zarówno wśród bardziej, jak i mniej doświadczonych turystów (tabl. 1). Pięć spośród badanych jaskiń jest łatwo dostępna. Wejście do pozostałych sześciu wymagało doświadczenia speleologicznego i zastosowania specjalistycznego sprzętu do ich eksploracji. Jedna z jaskiń – Nietoperzowa – ma charakter turystyczny i jest zwiedzana z przewodnikiem.

Utwory dominujące w budowie geologicznej obszaru Wyżyny Śląsko-Krakowskiej, to skały mezozoiku spoczywające na sfałdowanych skałach paleozoiku.

Mezozoik jest reprezentowany przez utwory jurajskie. Najstarsze utwory tworzące wychodnie na powierzchni to osady górnej jury, reprezentowane przez wapienie ławicowe gąbkowo-tuberolitowe oksfordu środkowego. Znaczne nagromadzenia gąbek i tuberolitów nadają jasnokremowym, ziarnistym wapieniom plamisty wygląd. Charakterystyczne dla Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej ostańce skalne są zbudowane z odpornych na wietrzenie wapieni skalistych oksfordu środkowego i górnego. Są to utwory nieławicowe, zwarte, masywne i twarde. Miejscami bywają porowate, a nawet kawerniste. Zawierają pozostałości gąbek, skupienia ramienionogów szkarłupni, liliowców i amonitów. Powyżej wapieni skalistych leżą wapienie pylaste i płytowe oksfordu górnego, miększe i porowate, a więc mniej odporne na procesy wietrzenia. Tworzą wzgórza o charakterystycznych płaskich wierzchołkach (Szalere-wicz 1986). Wybrane obszary występowania wapieni górnej jury z malowniczymi ostańcami i zjawiskami krasowymi zostały wpisane na listę polskich geostanowisk w ramach europejskiego projektu ochrony dziedzictwa geologicznego (Alexandrowicz 2003).

Tablica 1. Wyniki pomiarów radonu w wybranych jaskiniach jurajskich

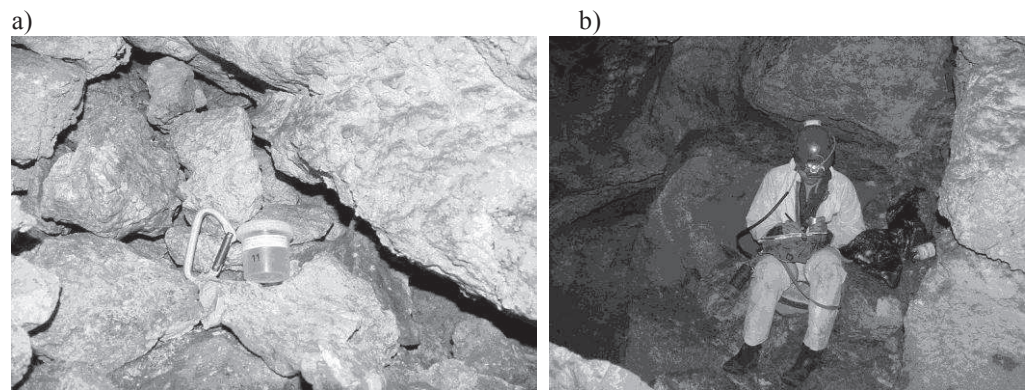
Jaskinia	Dostępność jaskini	Pomiar chwilowy stężenia radonu			Pomiar długoterminowy stężenia radonu		
		wartość średnia Bq/m ³	zakres Bq/m ³	liczba pomiarów	wartość średnia Bq/m ³	zakres Bq/m ³	liczba pomiarów
Głęboka	łatwo dostępna	516	90–1470	5	427	40–920	4
Żabia	trudno dostępna	120	140–200	4	55	10–80	3
Mąciwody	trudno dostępna	1935	10–5865	3	1430	1190–620	3
W Strazykowej Górze	łatwo dostępna	7312	2250–10145	3	2310	2010–410	3
Sucha	trudno dostępna	788	20–1620	4	–		
Piętrowa Szczelina	trudno dostępna	202	30–660	7	333	140–00	3
Pod Sokolą Górą	łatwo dostępna	380	350–410	2	280		1
Koralowa	trudno dostępna	755	670–1240	2	1310	120–290	3
W Zielonej Górze	łatwo dostępna	–	–		1125	120–300	7
Raławicka	trudno dostępna	388	310–465	2	895	280–930	4
Nietoperzowa	łatwo dostępna – turystyczna, zwiedzanie z przewodnikiem	1380	350–2420	2	587	100–070	7

Badane jaskinie są fragmentem wielkich systemów próżni i kanałów podziemnych, kształtowanych przez ponad 60 milionów lat, które odegrały podstawową rolę w cyrkulacji wód podziemnych. Większość jaskiń Wyżyny to obiekty niezbyt duże, rozwinięte przede wszystkim horyzontalnie. Główne kierunki korytarzy pokrywają się z dominującymi kierunkami spękań masywu jurajskiego. Morfologię jaskiń kształtowała meandrująca woda, będąca głównym czynnikiem procesów krasowych. Badane obiekty reprezentują różne etapy rozwoju jaskiń, od szczelin i rurowych korytarzy (Koralowa), poprzez meandry charakterystyczne dla warunków cyrkulacji grawitacyjnej (jaskinia w Strazykowej Górze), aż po wypełnione osadami zawałiska (Raławicka, Piętrowa Szczelina). Większość jaskiń znajduje się powyżej zwierciadła wód podziemnych. Wyjątek stanowi Jaskinia Mąciwody będąca w strefie freatycznej (stałego zatopienia), nad systemem źródeł (Tyc 1994).

2. ZASTOSOWANE METODY POMIAROWE

Zastosowano dwie metody pomiaru stężenia radonu: chwilową i długoterminową.

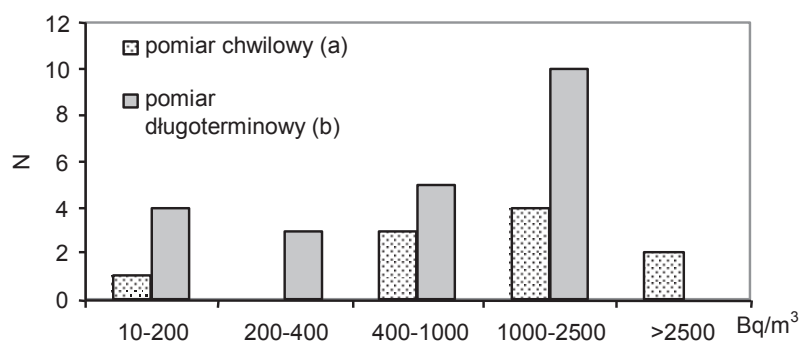
Chwilowe pomiary stężenia radonu w powietrzu wykonano za pomocą komór Lucasa. Komory Lucasa to metalowe cylindry pokryte od wewnątrz scyntylatorem ZnS(Ag) i zamknięte z jednej strony płytką pleksiglasową umożliwiającą kontakt optyczny z fotopowielaczem. Działanie komór polega na tym, że cząstki alfa, emitowane przez radon i jego pochodne uderzają w scyntylator, w wyniku czego są emitowane kwanty świetlne. Ich emisja jest rejestrowana przez układ elektroniczny sprzężony z fotopowielaczem zamieniającym kwanty światła na impulsy elektryczne. Pomiar polega na przepompowaniu przez komory określonej objętości powietrza za pomocą pompki ręcznej (fot. 1). Po około 3 godzinach, kiedy ustala się równowaga promieniotwórcza między radonem a jego pochodnymi wykonuje się odczyt liczby impulsów. Stężenie radonu określa się, porównując uzyskany wynik z wynikiem pomiarów kalibracyjnych wykonanych w komorze radonowej.



Fot. 1. Detektory stosowane do pomiarów stężeń radonu w jaskiniach: a – detektor śladowy – pomiar długoterminowy; b – komora Lucasa – pomiar chwilowy

Phot. 1. Radon detectors used for measurements in caves: a – track detector – long-term measurements; b – Lucas cell – grab sampling

Pomiary długoterminowe wykonano natomiast przy zastosowaniu detektorów śladowych. Zastosowany do badań detektor składa się z komory dyfuzyjnej, którą stanowi kubek plastikowy o pojemności 150 cm³ z umieszczonym w niej detektorem śladowym (rys. 1). Jako detektory śladowe są używane folie typu LR-115/2 produkcji firmy Kodak, o zakresie detekcji cząstek alfa od około 2 do około 4 MeV (Abu-Jarad 1991; Bonetti 1991). Detektory ekspozowano przez 2 miesiące (czerwiec/lipiec) w warunkach laboratoryjnych, następnie odczytywano liczby śladów pozostawionych przez cząstki alfa emitowane w czasie rozpadu radonu i obliczano jego stężenie. Metoda detektorów śladowych jest metodą całkującą. W wyniku pomiarów długoterminowych uzyskuje się średnią wartość stężenia radonu dla okresu, w którym detektor był ekspozowany.



Rys. 1. Rozkład zmierzonych stężeń radonu: N – liczba jaskiń; a – pomiar chwilowy, b – pomiar długoterminowy

Fig. 1. Radon concentrations, N – grab samplings, b – long-term measurements

Pomiary wykonywano w najciekawszych miejscach jaskiń, w których z pewnością zatrzymują się osoby je odwiedzające. W przypadku Jaskini Nietoperzowej były to miejsca postojów przewodników z wycieczkami.

3. WYNIKI POMIARÓW

Wykonano 38 chwilowych pomiarów stężenia radonu za pomocą komór Lucasa, oraz 41 pomiarów długoterminowych z zastosowaniem detektorów śladowych. W większości przypadków detektory śladowe umieszczano w tych samych miejscach, w których wykonywano pomiary krótkoterminowe. Po 2-miesięcznej ekspozycji nie odzyskano czterech detektorów śladowych. W tabelicy 1 zamieszczono spis badanych jaskiń, zakresy i wartości średnich stężeń radonu zmierzone komorami Lucasa i detektorami śladowymi oraz liczbę wykonanych pomiarów.

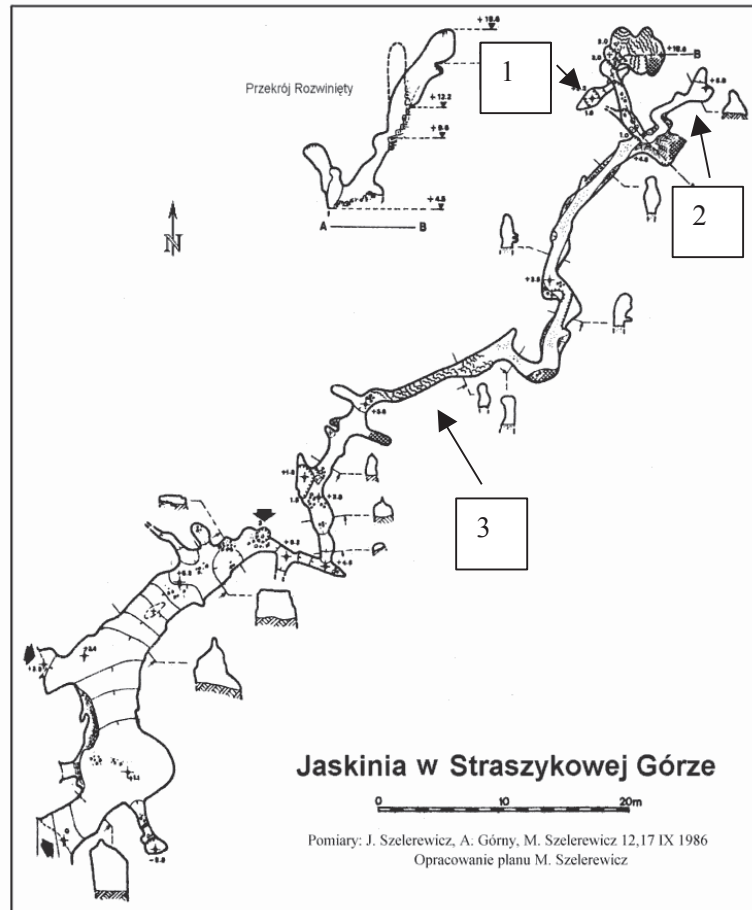
Pomiary chwilowe wykazały, że najwięcej (12) mierzonych wartości mieściło się w zakresie małych stężeń, nieprzekraczających 200 Bq/m^3 . Równocześnie aż w pięciu przypadkach stwierdzono duże stężenia, przekraczające 2500 Bq/m^3 . Największa zmierzona w czasie badań wartość wynosiła 10145 Bq/m^3 .

Największa liczba (16) wyników pomiarów długoterminowych mieściła się w zakresie od 1000 do 2500 Bq/m^3 . Największe stężenie określone metodą detektorów śladowych wynosiło 2410 Bq/m^3 . W 13 przypadkach stężenie radonu nie przekraczało 200 Bq/m^3 . Różnice między rozkładami stężeń zmierzonych metodą chwilową i długoterminową-całkującą wskazały na znaczne wahania koncentracji radonu w poszczególnych jaskiniach.

Na podstawie zarówno pomiarów chwilowych, jak i długoterminowych stwierdzono, że w większości jaskiń stężenie radonu przekracza wartość 1000 Bq/m^3 (rys. 1). Tylko w jednej jaskini – Jaskini Żabiej – stężenie radonu w czasie badań było stabilne i nie przekraczało 200 Bq/m^3 .

Największe stężenia radonu stwierdzono w Jaskini w Straszycowej Górze. Jest to typowa pozioma jaskinia krasowa. Długość jaskini wynosi 150 m , głębokość 21 m , a otwór wejściowy jest usytuowany na wysokości 445 m . Skruszone i popękane fragmenty wapieni są scalone spoiwem kalcytowym. Na rysunku 2 przedstawiono szkic

Jaskini w Straszycowej Górze (<http://www.panda.bg.univ.gda.pl>) z zaznaczonymi miejscami, w których wykonywano pomiary. Pozostałe dwie jaskinie, w których stężenia radonu były również duże – Jaskinia Korallowa i Nietoperzowa to również jaskinie krasowe, o niewielkim zaangażowaniu tektonicznym. Obie jaskinie mają długość około 350 m, głębokość około 30 m, a wysokość otworów wejściowych to 440 i 380 m. Wszystkie trzy jaskinie są suche, w żadnym z korytarzy nie obserwuje się stagnującej wody.



Rys. 2. Szkic Jaskini w Straszycowej Górze z zaznaczonymi miejscami rozmieszczenia detektorów śladowych oraz pomiarów chwilowych

Fig. 2. Sketch plan of Cave in Straszycowa Mountain indicating location of detectors and grab sampling

Jaskinie, w których zmierzono najmniejsze stężenia radonu to Jaskinia Żabia i Piętrowa Szczelina. Jaskinia Żabia ma charakter krasowy, bez cech zaangażowania tektonicznego. W porównaniu z pozostałymi badanymi jaskiniami jest stosunkowo płytka, bo jej głębokość nie przekracza 20 m i krótka, jej długość wynosi niecałe 60 m. Jaskinia Piętrowa Szczelina powstała w szczelinie uskokuwej i występują tu za-

również liczne spękania, obrywy, zawałiska, jak i cechy jaskini krasowej. Długość jaskini wynosi 400 m, głębokość 45 m, otwór wejściowy, jest usytuowany na wysokości 400 m. Wspólną cechą obu jaskiń, w których stężenia radonu były najmniejsze i względnie stabilne, jest obecność wody na dnie niektórych korytarzy. Oznacza to, że w przypadku badanych jaskiń woda nie jest źródłem radonu. Zawodnienie korytarzy jest czynnikiem ograniczającym migrację i emanację radonu z części skał, w których są wyźłobione jaskinie.

Na kształtowanie się rozkładu stężeń radonu wpływa wiele czynników, takich jak prędkość przepływu powietrza w różnych partiach jaskiń, wentylacja, ograniczenia ruchu powietrza w odciętych salach i komorach itp. Badacze podkreślają, że na poziom radonu w jaskiniach mogą mieć również wpływ między innymi porowatość, przepuszczalność i mineralizacja skał budujących poszczególne partie jaskiń, zawartość uranu, charakter materiału wypełniającego dno, tektonika, spękania towarzyszące uskokom, warunki hydrogeologiczne i wiele innych (Smith, Drew 1997; Ball 1991; Gilmoore 2000).

W rozległych jaskiniach jurajskich, zbudowanych z wielu korytarzy i komór meandrujących w skałach wapiennych mierzono zarówno duże, jak i małe stężenia radonu. Szczególnie intensywne wahania stężeń radonu obrazują wyniki pomiarów chwilowych wykonywanych na przykład w:

- Jaskini Głębokiej: od 50 do 1470 Bq/m³,
- Jaskini w Straszycowej Górze: od 620 do 10145 Bq/m³,
- Jaskini Nietoperzowej: od 50 do 2420 Bq/m³.

Należy przypuszczać, że głównym czynnikiem kształtującym poziom stężenia radonu jest intensywność wietrzenia poszczególnych komór jaskiń.

4. NARAŻENIE RADIACYJNE W JASKINIACH JURAJSKICH

W kilku spośród badanych jaskiń stężenie radonu znacznie przekraczało wartości mierzone nie tylko w budynkach mieszkalnych (Wysocka 2002), ale i w wyrobiskach większości podziemnych zakładów górniczych (Wysocka 2007). W celu określenia narażenia radiacyjnego osób przebywających w jaskiniach obliczono dawki, na jakie mogą być narażeni. Przed przystąpieniem do obliczeń konieczne było oszacowanie czasu spędzanego pod ziemią przez turystów i przewodników. Przyjęto czasy przebywania w jaskiniach zaproponowane przez Frienda, Gilmoora i Sperrina (Friend 1996; Gilmoore 2000; Sperrin 2000). Założyli oni, że osoby wchodzące do jaskiń turystycznie, spędzają jednorazowo pod ziemią około 4 godziny 6 razy w roku. Daje to 24 godzin na rok. Druga grupa, to osoby bardziej systematycznie, sportowo odwiedzające jaskinie. Przyjęto, że mogą one spędzać w jaskiniach do 120 godzin rocznie, wchodząc pod ziemię około 30 razy. Ostatnia grupa, to przewodnicy oraz osoby profesjonalnie zajmujące się speleologią i prowadzący badania naukowe. Tę grupę podzielono na dwie podgrupy. Spędzający w jaskiniach 600 godzin na rok przebywają pod ziemią 4 godziny przez 150 dni. Grupa najintensywniej zaangażowana spędza pod ziemią 800 godzin na rok, czyli przez 200 dni przebywa w jaskini po 4 godziny.

Dawki, jakie mogą otrzymać przedstawiciele poszczególnych grup obliczono wykorzystując sposób zaproponowany przez Denmana i Parkinsona (1996):

$$\text{dawka (mSv)} = (\text{stężenie radonu, Bq m}^{-3}) \cdot (\text{czas przebywania, godz.}) / 126\,000.$$

Taki sposób obliczania dawki był stosowany w czasie badań prowadzonych w jaskiniach i opuszczonych kopalniach (Gilmoore 2000, 2001, 2002; Sperrin 2000). W przyjętej metodzie obliczeń założono, że współczynnik równowagi między radonem i produktami rozpadu (F) wynosi 0,5. Według Lario (2005), w rzeczywistości współczynnik równowagi w różnych typach jaskiń może wahać się od 0,5 do 1,0. Dla badanych jaskiń nie były obliczane współczynniki równowagi, przyjęto więc założenie Denmana i Parkinsona.

Do obliczeń brano pod uwagę wyniki pomiarów długoterminowych wykonanych z zastosowaniem metody całkującej.

Wyliczone według powyższego wzoru dawki wahały się od 0,002 do 15,3 mSv na rok. W tablicy 2 przedstawiono rozkład dawek, na jakie są narażone osoby wchodzące do jaskiń, w zależności od czasu, jaki spędzają pod ziemią.

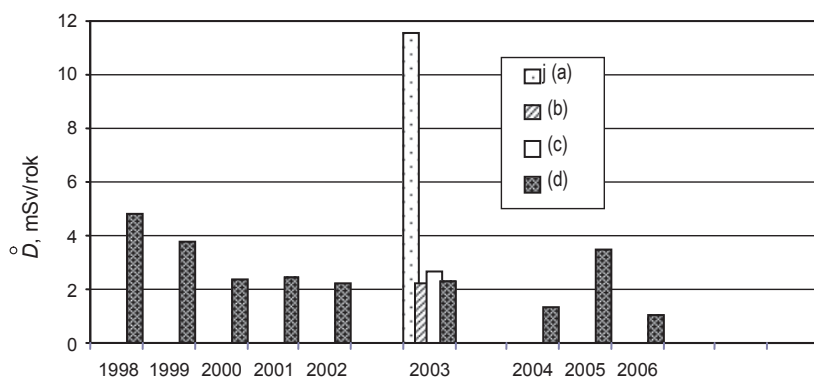
Tablica 2. Dawki, na jakie mogą być narażone osoby zwiedzające jaskinie Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej, w zależności od czasu przebywania

Klasyfikacja osób wg częstotliwości wchodzenia do jaskiń	Czas przebywania w jaskini, godz.	Dawka obliczona na podstawie pomiaru długoterminowego (zakres), mSv/rok
Sporadycznie	24	0,002–0,46
Systematycznie – sportowo	120	0,010–2,3
Zawodowo I grupa (np. przewodnicy turystyczni)	600	0,02–11,5
Zawodowo II grupa (hipotetycznie)	800	0,06–15,3

Według danych literaturowych, na przykład w Wielkiej Brytanii (Gilmoore 2000) turyści sporadycznie wchodzący do jaskiń mogą otrzymać dawkę 4 mSv, a osoby zatrudnione w jaskiniach turystycznych – 120 mSv na rok. Należy podkreślić, że w przypadku zawodowych przewodników Gilmoore założył, że przebywają pod ziemią około 1200 godzin rocznie. Przewodnicy oprowadzający zwiedzających w Jaskini Nietoperzowej (jedynej badanej turystycznej jaskini jurajskiej) zadeklarowali, że spędzają pod ziemią nie więcej niż 600 godzin rocznie. Dawka, jaką mogą otrzymać obliczona przy założeniu, że przez cały czas przebywania w jaskini są narażeni na oddziaływanie największych zmierzonych stężeń radonu, wynosi 9,85 mSv/rok. Jest to założenie pesymistyczne, stanowiące najmniej korzystny dla ludzi wariant. W jaskini mierzono bowiem zarówno duże (2070 Bq/m³), jak i małe (200 Bq/m³) stężenia radonu. Przewodnicy i turyści, zwiedzając jaskinię przemieszczają się z miejsc o dużych stężeniach radonu do miejsc, w których stężenie tego gazu jest porównywalne z wartościami mierzonymi w budynkach mieszkalnych. Przyjmując do szacunków średnią wartość stężenia radonu obliczoną dla tej jaskini, to jest 587 Bq/m³, otrzymuje się dawkę 2,79 mSv/rok. Oznacza to, że wartości rocznych dawek skutecznych, na jakie narażeni mogą być przewodnicy Jaskini Nietoperzowej nie przekraczają wartości dawki granicznej dla pracowników, czyli 20 mSv w ciągu roku kalendarzowego. Pracownikami w rozumieniu regulacji prawnych są osoby, których działalność zawodowa jest związana z występowaniem wzmożonego promieniowania naturalnego (Ustawa 2000). Należy mieć na uwadze, że pomiary długoterminowe obejmowały okresy nie dłuższe, niż 2 miesiące.

Zgodnie z doniesieniami literaturowymi w jaskiniach są obserwowane istotne sezonowe wahania stężeń radonu (Przylibski 1999; Duenas 1999). Również zmiany warunków atmosferycznych takich, jak ciśnienie atmosferyczne, temperatura i opady, mogą wpływać na poziom radonu w jaskiniach (Garavaglia 1998). Tak więc rzeczywiste dawki, na jakie są narażeni zarówno przewodnicy, jak i turyści, mogą istotnie różnić się od oszacowanych na podstawie wyników pomiarów dwumiesięcznych.

W kopalniach węgla kamiennego na Górnym Śląsku są prowadzone systematyczne kontrole poziomu zagrożenia radiacyjnego, spowodowanego obecnością naturalnych izotopów promieniotwórczych w wyrobiskach podziemnych. Celem tych kontroli jest dokonanie kompleksowej analizy narażenia radiacyjnego górników. Na podstawie pomiarów szacuje się wartości dawek skutecznych, na jakie narażeni są górnicy w wyniku ekspozycji na poszczególne czynniki narażenia radiacyjnego, między innymi radon i jego pochodne. Na rysunku 3 porównano dawki skuteczne, jakie otrzymują górnicy w wyniku oddziaływania radonu i produktów jego rozpadu, z dawkami, na jakie mogą być narażeni przewodnicy oraz speleolodzy eksplorujący badane jaskinie. Przewodnicy Jaskini Nietoperzowej narażeni są na dawki porównywalne z tymi, jakie otrzymują górnicy kopalń górnośląskich. W jaskini, w której zmierzono największe stężenia radonu nie pracują przewodnicy. Dawka, jaką mogłyby otrzymać osoby przebywające w tej jaskini 600 godzin w ciągu roku (tyle, ile pracują przewodnicy w Jaskini Nietoperzowej) wynosi 11,5 mSv. Turyści odwiedzający Jaskinię w Straszycowej Górze systematycznie, tj. spędzający 120 godzin rocznie, narażeni są na dawkę 2,2 mSv. Porównując rezultaty badań prowadzonych w jaskiniach z danymi uzyskanymi w kopalniach, można stwierdzić, że w ekstremalnych warunkach przewodnicy jaskini turystycznej mogą otrzymać większe dawki niż górnicy kopalń węgla kamiennego. Speleolodzy eksplorujący niektóre z jaskiń jurajskich mogą otrzymać dawki porównywalne z tymi, na jakie narażeni są górnicy.



Rys. 3. Porównanie rocznej dawki skutecznej (\dot{D}) wynikającej z oddziaływania radonu i jego pochodnych w kopalniach węgla kamiennego i jaskiniach Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej: a – jaskinie, wartość maksymalna b – Jaskinia w Straszycowej Górze, turyści, c – Jaskinia Nietoperzowa, przewodnicy, d – kopalnie węgla kamiennego

Fig. 3. Comparison of annual effective doses (\dot{D}) due to radon and its progeny in underground coal-mines and in caves of Kraków-Częstochowa Upland

OMÓWIENIE WYNIKÓW I WNIOSKI

Przeprowadzone badania wykazały, że średnie stężenia radonu w jaskiniach jurajskich wahają się w zakresie od kilkudziesięciu do kilku tysięcy bekereli. W porównaniu ze stężeniami mierzonymi w jaskiniach w różnych rejonach świata, nie są to wartości bardzo duże. Oszacowano dawki, na jakie mogą być narażeni zarówno turyści, jak i osoby profesjonalnie zajmujące się speleologią i obsługą turystyczną. W przypadku turystów sporadycznie odwiedzających jaskinie – wycieczki szkolne, jednorazowe wejścia w czasie kursów speleologicznych – dawki, jakie mogą otrzymać są do pominięcia. Stwierdzono natomiast, że dawki na jakie są narażeni speleolodzy są porównywalne lub większe od tych, jakie otrzymują górnicy podziemnych zakładów górniczych. Wydaje się zasadne poinformowanie speleologów, że spędzając kilkaset godzin rocznie w jaskiniach, mogą być narażeni na podwyższone dawki wynikające z oddziaływania radonu i jego pochodnych. Przewodnicy oprowadzający wycieczki powinni być zaopatrzeni w dawkomierze indywidualne. Pozwoliłoby to na zmierzenie rzeczywistych dawek, na jakie są narażeni. W przypadku, jeśli rzeczywiste dawki byłyby podwyższone, mogliby świadomie planować czas przebywania pod ziemią oraz wybierać miejsca zwiedzania jaskini w taki sposób, by minimalizować ryzyko radiacyjne wynikające ze specyficznych cech środowiska pracy.

Podziękowanie

Autorka pragnie podziękować panom Robertowi Kołodziejowi i Michałowi Giebelowi za pomoc w wykonywaniu pomiarów w jaskiniach.

Literatura

1. Abu-Jarad Falah (1991): *Summary of indoor research results using nuclear track detectors*. Proc. of the Second Workshop on radon Monitoring in Radioprotection, Environmental and/or Earth Sciences, G. Gurlan, L. Tommasino (eds). World Scientific.
2. Alexandrowicz Z. (2003): *Ochrona dziedzictwa geologicznego Polski w koncepcji europejskiej sieci geostanowisk*. Przegląd Geologiczny t. 51, nr 3, s. 224–230.
3. Ball T.K., Cameron D.G., Colman T.B., Roberts P.D. (1991): *Behaviour of radon in the geological environment: a review*. Q. J. Eng. Geol. 24, s. 169–182.
4. Bonetti R., Capra L., Dezzuto C., Facchini U., Lainati D., Matheoud R., Trabucchi M.T. (1991): *Measurements of indoor radon concentration in high natural radiation areas of northern Italy*. Proc. of the Second Workshop on radon Monitoring in Radioprotection, Environmental and/or Earth Sciences, G. Gurlan, L. Tommasino (eds). World Scientific.
5. Denman A.R., Parkinson S. (1996): *Estimations of radiation dose to National Health Service workers in Northamptonshire from raised radon levels*. Br. J. Radiol. 69, s. 72–75.
6. Duenas C., Fernandez M.C., Canete S., Carretero J., Liger E. (1999): *²²²Rn concentrations, natural flow rate and radiation exposure levels in the Nerja Cave*. Atmos. Environ. 33, s. 501–510.
7. Evans R.D. (1969): *An engineer's guide to the elementary behaviour of radon daughters*. Health Physics 17, s. 229–242.
8. Friend C.L.R. (1996): *Radon exposure during underground trips: a set of guidelines for caving and exploration in Britain*. Cave Karst Sci. 23(2), s. 49–56.
9. Garavaglia M., Braitenberg C., Zadro M. (1998): *Radon Monitoring in Cave of North-Eastern Italy*. Phys. Chem. Earth. Vol. 23, No. 9–10, s. 949–952.

10. Gillmoore G.K., Philips F., Denman A. (2001): *Radon levels in abandoned metalliferous mines, Devon, Southwest England*. Ecotoxicol. Environ. Saf. 49, s. 281–292.
11. Gillmoore G.K., Sperrin M., Philips M., Denman A. (2000): *Radon Hazards, Geology, and Exposure of Cave Users: a Case Study and Some Theoretical Perspectives*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 46, s. 279–288.
12. Gilmoore G.K., Girbertson D., Hunt Ch., McLaren S., Pyatt B., Banda R., Barker G., Denman A., Philips A., Reynolds T. (2005): *The potential risk of ²²²radon posed to archeologists and earth scientists: reconnaissance study of radon concentrations, excavations, and archeological shelters in the Great Cave of Niah, Sarawak, Malaysia*. Ecotoxicology and Environmental Safety 60, s. 213–227.
13. ICRP (1993): *International Commission on Radiological Protection – Protection against Radon 222 at home and at work*. ICRP 65. Ann. ICRP, 17(1).
14. Lario J., Sanchez-Moral J.C., Canaveras J.C., Cuezva S., Soler V. (2005): *Radon continuous monitoring in Altamira Cave (northern Spain) to assess user's annual effective dose*. J. Environ. Radioactivity 80, s. 161–174.
15. Lebecka J., Skowronek J., Skubacz K., Tomza I., Michalik B., Chałupnik S. (1985): *Raport o stanie narażenia górników kopalń węgla kamiennego na działanie pochodnych radonu*. Dokumentacja wewnętrzna GIG nr 12.6.16.01/N15/83/B2/2. Katowice, GIG.
16. Przylibski T.A. (1999): *Radon concentration changes in the air of two caves in Poland*. J. Environ. Radioactivity 45, s. 81–94.
17. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego. Dz. U. nr 20, poz. 168.
18. Solomom S.B., Langroo R., Lyons R.G., James J.M. (1996): *Radon exposure to tour guides in Australian show caves*. Environ. Int. 22, s. 409–413.
19. Sperrin M., Denman T., Philips P. (2000): *Estimating the dose from radon to recreational cave users in Mendips, UK*. J. Environ. Radioactivity 49, s. 235–240.
20. Szalerewicz M., Górny A. (1986): *Jaskinie Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej*. Kraków –Warszawa, PTTK „Kraj”.
21. Szerbin P. (1966): *Radon concentrations and exposure levels in Hungarian caves*. Health Physics 71, s. 362–369.
22. Tsivoglou E.C., Ayer H.E., Holady D.A. (1953): *Occurrence of non-equilibrium atmospheric mixtures of radon and its daughters*. Nucleonics 11(9), s. 40.
23. Tyc A. (1994): *Przyroda nieożywiona: wartości przyrodnicze i kulturowe zespołu Jurajskich Parków Krajobrazowych na terenie województwa katowickiego*. Dąbrowa Górnicza, Zarząd Zespołu Jurajskich Parków Krajobrazowych województwa katowickiego, s. 87.
24. Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. Prawo atomowe. Dz. U. z 2001 r. nr 3, poz. 18 z późniejszymi zmianami.
25. Wysocka M. (2002): *Zależność stężeń radonu od warunków geologiczno-górnictwowych na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko nr 3, s. 25–38.
26. Wysocka M., Skubacz K., Michalik B., Mielnikow A., Chałupnik S. (2007): *Zagrożenia radiacyjne w podziemnych zakładach górniczych*. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie nr 5, s. 20–31.
27. <http://www.panda.bg.univ.gda.pl>

Recenzent: dr hab. inż. Marek Rogoż, prof. GIG