

Zmienność koncentracji radonu w powietrzu Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie (Sudety)

Tadeusz Andrzej Przylibski*

W przyrodzie istnieją cztery naturalne izotopy radonu: ^{222}Rn , ^{220}Rn , ^{219}Rn , ^{218}Rn . Spośród nich tylko dwa pierwsze charakteryzują się na tyle długim okresem półrozpadu, że można stosunkowo łatwo rejestrować ich obecność. Radon ^{222}Rn powstaje na skutek rozpadu izotopu radu ^{226}Ra , należącego do naturalnego szeregu promieniotwórczego uranowo-radowego. Natomiast toron ^{220}Rn powstaje podczas rozpadu izotopu radu ^{224}Ra , należącego do szeregu torowego. Okresy półrozpadu tych izotopów wynoszą: dla radonu — 3,82 doby, natomiast dla toronu — 54,5 sekundy. Dlatego też radon jest znacznie bardziej rozpowszechnionym izotopem w środowisku naturalnym niż toron.

Radon jest najcięższym gazem szlachetnym, około 7,6 raza cięższym od powietrza. W naturalnych warunkach atmosferycznych, ze względu na to, iż jest gazem szlachetnym nie wchodzi w żadne reakcje chemiczne. Atomy tego izotopu rozpadając się emitują promieniowanie alfa (około 99,5% emitowanej energii) oraz niskoenergetyczne promieniowanie gamma. Rozprzestrzenienie radonu nie jest ściśle związane z miejscami jego powstawania w skałach zawierających podwyższone koncentracje uranu i toru. Ponieważ jest gazem, łatwo migruje ze skorupy ziemskiej do atmosfery, przy czym główną rolę odgrywa tu transport radonu wraz z wodami oraz innymi gazami w kierunku powierzchni, natomiast mniej istotna jest rola dyfuzji — radon może dyfundować w powietrzu w warunkach normalnych na odległość nie większą niż 10 m (Miliszewicz, 1978). W atmosferze jest dalej rozprowadzany wraz z prądami powietrza.

Ze względu na swój ciężar radon chętnie gromadzi się we wszelkich słabo przewietrzanych próżniach — np. w jaskiniach. Kiedy migrujący ku powierzchni gaz natrafia na komory jaskini gromadzi się i zalega przy ich spągu, jednakże każdy ruch powietrza wywołuje jego przemieszczanie się zgodnie z tym ruchem.

Problematyka dotycząca tworzenia się w skałach, migracji oraz gromadzenia się radonu w środowisku naturalnym była przedmiotem wielu prac. W literaturze polskojęzycznej szerzej została ona przedstawiona na łamach *Przeglądu Geologicznego* (Strzelecki & Wołkiewicz, 1993).

Autor rozpoczął badania nad przyrodniczymi uwarunkowaniami występowania radonu w środowisku naturalnym Sudetów (m.in. w Jaskini Niedźwiedziej) w 1995 roku, jednakże już pierwsze wyniki z półrocznego okresu badań wykazują istnienie dużej sezonowej zmienności koncentracji radonu, co jest przedmiotem niniejszego artykułu. Do celowo badania te obejmują okres całego roku kalendarzowego w celu uchwycenia cykliczności zmian.

Położenie i geologia okolic Jaskini Niedźwiedziej w kontekście występowania radonu

Jaskinia Niedźwiedzia w Kletnie jest utworzona w obrębie soczewki marmurów, znajdującej się wśród szarozie-

lonych łupków łuszczycowych. Skały te należą do tzw. serii strońskiej, będącej jednym z zasadniczych elementów tworzących metamorfik Łądka-Śnieżnika. Skały tej serii w okolicy Jaskini Niedźwiedziej zapadają stromo w kierunku wschodnim pod gnejsy oczkowe, tzw. gnejsy przejściowe pomiędzy gnejsami gierałowskimi a śnieżnickimi (Don, 1989). W obrębie tego samego kompleksu skał metamorficznych istnieje także kilka innych jaskiń, w tym dostępna dla turystów Jaskinia Radochowska (ryc. 1).

W pobliżu Jaskini Niedźwiedziej, w Kletnie w latach 1948–1953 była czynna kopalnia uranu. Istniejąca do dziś mineralizacja uranowa może prowadzić do powstawania znacznych ilości radonu w jej sąsiedztwie w skałach krystalicznych metamorfiku Łądka-Śnieżnika. Radon może być jednak produkowany także w skałach krystalicznych w związku z istnieniem w nich minerałów zawierających nawet nieznaczne domieszki uranu. Z zestawienia budowy geologicznej rejonu metamorfiku Łądka-Śnieżnika z występowaniem punktów mineralizacji uranowej w tym rejonie oraz natężenia promieniowania gamma (Przylibski, 1994), a także na podstawie ogólnych prawidłowości w występowaniu koncentracji uranu w różnych typach skał można stwierdzić, że:

— na obszarze Kletna radon jest produkowany przede wszystkim w skałach gnejsowych i łupkach łuszczycowych otaczających i podścielających marmury, w których jest utworzona Jaskinia Niedźwiedzia, w skałach węglanowych ilość powstającego radonu jest znacznie mniejsza,

— spekanie masywu skalnego w obszarze położenia jaskini umożliwia migrację radonu przez utwory węglanowe ku powierzchni ziemi.

Prawidłowości gromadzenia się radonu w jaskiniach potwierdziły badania przeprowadzone w Jaskini Niedźwiedziej przez Ciężkowskiego (1978) oraz zespół Ciężkowski i in. (1994). Autorzy ci zwrócili uwagę na znaczne zróżnicowanie stężeń radonu w poszczególnych partiach Jaskini Niedźwiedziej. Zjawisko to sugerowało istnienie ruchów powietrza w jej obrębie oraz wymianę z powietrzem atmosferycznym i powietrzem niższego poziomu jaskini.

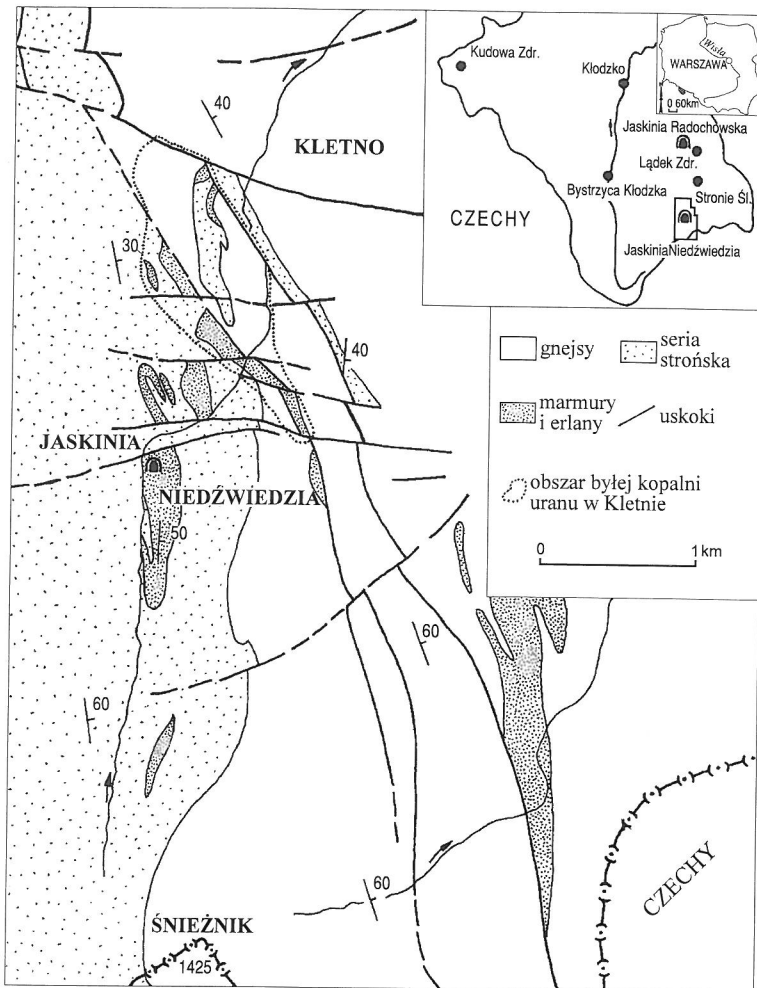
Metody pomiaru

Rozpad radonu, w czasie którego są emitowane cząsteczki alfa pozwala rejestrować stężenia tego gazu w określonej masie powietrza w dowolnym punkcie.

W podjętych, w 1995 r., badaniach autor wykorzystał metodę pasywnej detekcji promieniowania alfa pochodzącego z rozpadu radonu. W środkowym poziomie jaskini (poziom turystyczny) rozmieszczono 14 detektorów śladowych, umożliwiających pomiar średniego miesięcznego stężenia radonu w powietrzu. Jeden detektor zlokalizowano także w tzw. starych partiach dolnych Jaskini Niedźwiedziej — niedostępnych dla turystów. Łącznie 15 detektorów rozmieszczono na pięciu stanowiskach pomiarowych, na trzech różnych wysokościach nad spągiem jaskini (ryc. 2).

Detektory radonu wymieniane raz w miesiącu, są przekazywane do Laboratorium Zakładu Skażeń Promieniotwór-

*Zakład Geologii Instytutu Geotechniki i Hydrotechniki, Politechnika Wrocławska, Wybrzeże S. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław



Ryc. 1. Szkic geologiczny okolic Jaskini Niedźwiedziej (wg Dona, 1989)

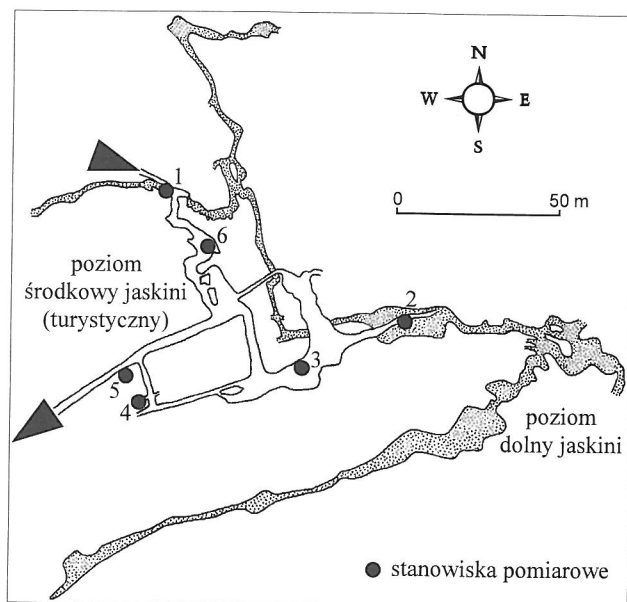
nych Instytutu Medycyny Pracy w Łodzi, gdzie są poddawane obróbce chemicznej i jest dokonywany odczyt wyników stężenia radonu.

Wyniki pomiarów stężeń radonu

Przeprowadzone pod koniec lat sześćdziesiątych i na początku lat dziewięćdziesiątych pomiary stężeń radonu w powietrzu środkowego poziomu Jaskini Niedźwiedziej wykazały, że zawartość tego gazu rośnie wraz z zagłębieniem się w coraz bardziej odległe od otworów partie jaskini (Ciężkowski, 1978). Potwierdza to przypuszczenie, że radon dostaje się do jaskini szczelinami rozcinającymi soczewkę marmurów. Soczewka ta kontaktuje z łupkowym i gnejsowym kompleksem metamorficznym, charakteryzującym się podwyższoną zawartością uranu. Pomiary z lat 60. i 90. dały podobne wielkości średniego stężenia radonu w powietrzu jaskini, wynoszące około 5 kBq/m^3 (Ciężkowski, 1978; Ciężkowski i in., 1994). W Sali Lwa zmierzono stężenie $5,1 \text{ kBq/m}^3$; w Korytarzu Człowieka Pierwotnego $3,8 \text{ kBq/m}^3$; w Sali Pałacowej $4,7 \text{ kBq/m}^3$ (Ciężkowski, 1978). Na podstawie systematycznych badań autora, prowadzonych od lipca 1995 roku, najwyższe średnie miesięczne stężenia radonu w powietrzu jaskiniowym, zanotowano w miesiącach letnich. W lipcu i sierpniu wynosiły one: $2,04 \text{ kBq/m}^3$ (VII) w

komorze na przedłużeniu Korytarza Wodnego oraz $2,15 \text{ kBq/m}^3$ (VIII) w Wielkiej Szczelinie, na detektorze znajdującym się w dolnym poziomie jaskini. Najniższe natomiast średnie miesięczne stężenia zmierzono w Korytarzu Człowieka Pierwotnego w listopadzie i grudniu ($0,18 \text{ kBq/m}^3$). Różnice w wielkości stężeń radonu z lat 60. i 90., a ostatnią serią pomiarową wynikają z zastosowania różnych metod pomiaru. Cytowane wyniki z prac (Ciężkowski, 1978; Ciężkowski i in., 1994) pochodzą z wrywkowo prowadzonych serii pomiarów chwilowych stężeń radonu, natomiast nowa seria podaje średnią wielkość stężenia z ciągłego pomiaru prowadzonego przez cały miesiąc.

Średnie miesięczne wielkości stężeń radonu w powietrzu Jaskini Niedźwiedziej, wyznaczone z 15 punktów pomiarowych, zmieniły się w granicach od $1,70$ w sierpniu do $0,37 \text{ kBq/m}^3$ w listopadzie 1995 r. (ryc. 3). Wyraźnie jest widoczne obniżanie się średniej wielkości przeciętnego

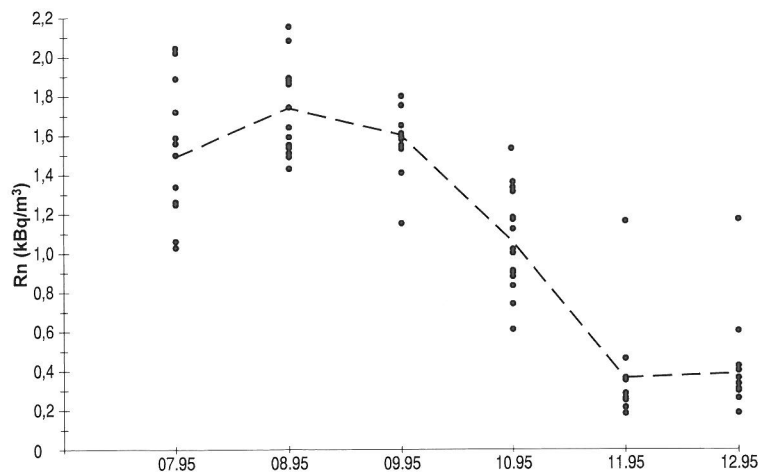


Ryc. 2. Schematyczny plan Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie z zaznaczonymi stanowiskami pomiarowymi stężeń radonu w powietrzu (1-5 — nowa seria pomiarowa, 6 — stanowisko pomiarowe z lat 60.): 1 — Wielka Szczelina, 2 — Zaułek Kaskad, 3 — Sala Pałacowa, 4 — Korytarz Wodny, 5 — Korytarz Człowieka Pierwotnego, 6 — Sala Lwa

Tab. 1. Wartości średnich stężeń radonu (kBq/m^3) w powietrzu wybranych jaskiń (wg Carson i in., 1991; Fernandez i in., 1984; Kies & Massen, 1995) w porównaniu do wyników uzyskanych w Jaskiniach Niedźwiedziej i Radochowskiej

Jaskinia Niedźwiedzia	1,1*
Jaskinia Radochowska	0,2*
Mammoth Cave National Park (USA)	2,6
Altamira Cave (Hiszpania)	5,9
Moestroff Cave (Luksemburg)	5,0

* średnia z sześciu średnich miesięcznych (półroczny okres badań)



Ryc. 3. Średnie miesięczne stężenia radonu w powietrzu Jaskini Niedźwiedziej. Linią przerywaną połączono wartości średnie z wyników zanotowanych przez 15 detektorów śladowych umieszczonych na 5 stanowiskach pomiarowych

miesięcznego stężenia radonu postępujące od miesięcy letnich do zimowych.

Wyniki prezentowanej serii pomiarowej świadczą o relatywnie niewysokich stężeniach radonu w porównaniu z wartościami notowanymi w innych jaskiniach na świecie (tab. 1).

Podsumowanie i wnioski

Wyniki uzyskane dzięki zastosowaniu detektorów śladowych do pomiarów koncentracji radonu w powietrzu Jaskini Niedźwiedziej, wskazują na dość niskie stężenia w porównaniu do wartości notowanych w innych jaskiniach na świecie. Jest to wynik zaskakujący ze względu na sąsiedztwo jaskini z byłą kopalnią uranu w Kletnie. Tak więc, pozostała po eksploatacji uranu mineralizacja w rejonie Kletna nie odgrywa istotnej roli w produkcji radonu gromadzącego się w jaskini. W związku z tym jedynym źródłem radonu gromadzącego się w jej korytarzach jest uran rozproszony w minerałach skał krystalicznych. Powstający tam radon, migrując ku powierzchni, dostaje się następnie do pustek krasowych. Fakt ten potwierdzają również wyniki uzyskane w Jaskini Radochowskiej, leżącej w obrębie takiego samego kompleksu skalnego. W okresie zimowym są one tego samego rzędu, co w Jaskini Niedźwiedziej.

Wyraźne obniżanie się średniej wielkości przeciętnego miesięcznego stężenia radonu, postępujące wraz ze zmianą pór roku, w powietrzu jaskini świadczy o istnieniu wymiany powietrza między jaskinią a jej otoczeniem. Jest ona intensywniejsza w zimie niż w lecie, co potwierdzają niższe wartości stężeń radonu zanotowane w zimie. Ostatni wniosek jest słuszny przy założeniu stałej dostawy radonu z podłoża w ciągu całego roku. Nie ma podstaw, aby sądzić inaczej, gdyż radon jest produkowany w skałach ze stałą szybkością na dość dużych głębokościach, gdzie sezonowe zmiany temperatury i ciśnienia nie wywierają znaczącego wpływu. Fakt ten dodatkowo potwierdzają najwyższe wartości stężeń radonu zanotowane w dolnym poziomie jaskini. W przypadku Jaskini Niedźwiedziej na ogólny proces wymiany powietrza jaskiniowego z atmosferycznym, nakłada

się lokalne zróżnicowanie stężeń radonu, świadczące o cyrkulacji powietrza w obrębie samej jaskini. Dlatego też śledzenie zmian koncentracji radonu w powietrzu sal i korytarzy jaskini może posłużyć do badania samych ruchów powietrza. Wyniki takie mogą być pomocne w prowadzonych badaniach klimatycznych w Jaskini Niedźwiedziej. Przy założeniu dostawy z krystalicznego podłoża oraz wykorzystaniu niereaktywności i tendencji do gromadzenia się przy spągu pustek krasowych, a także łatwości migracji wraz z prądami powietrza radon może zostać wykorzystany jako naturalny radioaktywny znacznik ruchów powietrza. Pomiarzy takie są prowadzone m.in. w jaskini Meostroff Cave w Luksemburgu (Kies & Massen, 1995).

Występowanie najwyższych stężeń radonu w Jaskini Niedźwiedziej przypada na okres letni, a więc na pełnię sezonu turystycznego. Mimo, że zanotowane średnie wartości miesięczne nie są wysokie (w porównaniu do innych jaskiń) niewykluczone jest występowanie krótkookresowych (np. dziennych lub godzinowych) wyższych koncentracji radonu. Mogą one wywierać wpływ na organizmy osób zatrudnionych przy obsłudze turystów. Kwestia ta wymaga jednakże przeprowadzenia szczegółowych badań, podobnie jak to ma miejsce już od kilkadziesiąt lat w innych krajach Europy i Ameryki.

Wykazana niezależność występowania koncentracji radonu w powietrzu jaskini, o kilka rzędów przekraczających wielkości notowane w powietrzu atmosferycznym (od kilku do kilkadziesiąt Bq/m³ (np. Gäggeler, 1995)), od rejonów występowania złóż uranu, wskazuje na możliwość występowania podwyższonych koncentracji tego radioaktywnego gazu oraz również radioaktywnych produktów jego rozpadu, także w podobnych obiektach turystycznych (np. sztolniach, podziemiach itp.). W świetle przedstawionych wyników wydaje się koniecznym podjęcie podobnych badań także i w innych podziemnych obiektach turystycznych w Polsce.

Literatura

- CARSON B., EHEMAN C., HOFFMAN D. & RIFENBURG J. 1991 — *Health Physics*, 60: 831–835.
 CIĘŻKOWSKI M. 1978 — *Acta Univ. Wratisl.*, 311, *Studia Geogr.*, 24: 91–95.
 CIĘŻKOWSKI W., PRZYLIBSKI T., SOBINA M. & ZŁOCH K. 1994 — [In:] *Extended abstracts, Isotope Workshop II*, 25–27 may 1994, Książ Castle, Poland: 10–12.
 DON J. 1989 — [W:] *Jaskinia Niedźwiedzia w Kletnie* (red., Jahn A., Kozłowski S., Wiszniowska T.). Ossolineum, Wrocław.
 FERNANDEZ P. L., QUINDOS L. S., SOTO J. & VILLAR E. 1984 — *Health Physics*, 46: 445–447.
 GÄGgeler H. W. 1995 — *Radiochimica Acta*, 70–71: 345–353.
 KIES A. & MASSEN F. 1995 — [In:] *Gas Geochemistry*, C. Dubois (ed.), University of Franche-Comté, Besançon. *Sci. Rev.*, France: 63–70.
 MILISZKIEWICZ A. 1978 — *Radon*. PWN.
 PRZYLIBSKI T. A. 1994 — *Ochr. Środow.*, 52: 15–20.
 STRZELECKI R. & WOŁKOWICZ S. 1993 — *Prz. Geol.*, 41: 151–155.