

Promieniotwórczość naturalna wód termalnych Karpat polskich

Wprowadzenie

W ostatnim dwudziestoleciu nastąpił intensywny rozwój geotermii w Polsce. Na terenie kraju powstało pięć ciepłowni geotermalnych, jednocześnie wzrosło zainteresowanie wykorzystaniem wód termalnych w rekreacji. Powstało siedem kąpielisk geotermalnych z czego pięć zlokalizowanych jest na terenie Podhala.

Zgodnie z istniejącymi przepisami prawnymi zakłady górnicze i uzdrowiska wykorzystujące wody termalne są zobowiązane do oceny narażenia radiologicznego pracowników lub osób z ogółu ludności, związanego z występowaniem promieniowania naturalnego.

W pracy zostały przedstawione wyniki analiz zawartości naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w wodach termalnych z rejonu Karpat polskich i z wybranych miejsc w Polsce. Przeprowadzone analizy składu chemicznego wód oraz pomiary parametrów takich jak: temperatura, pH, Eh, pozwoliły na powiązanie zmierzonych stężeń radionuklidów z parametrami fizykochemicznymi wód. Dla analizowanych wód oszacowano dawki obciążające dla pracowników i klientów kompleksów basenów termalnych.

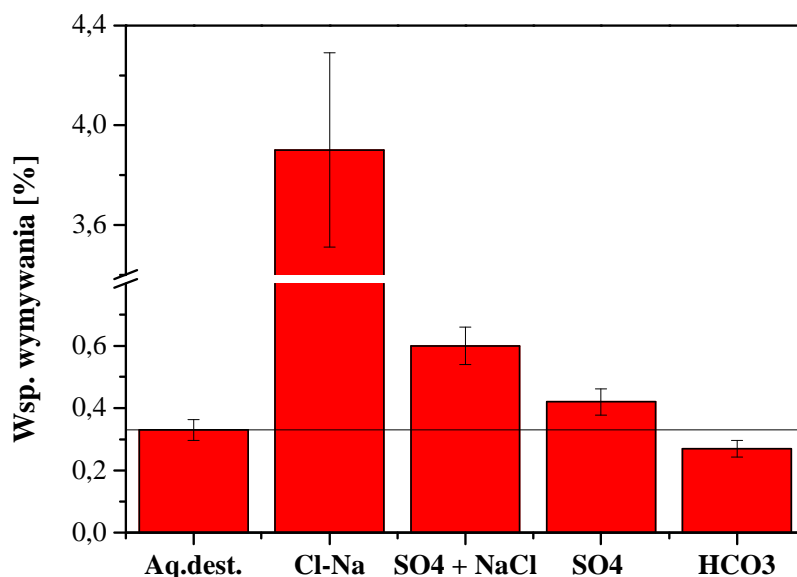
W celu wyjaśnienia faktu wzrostu zawartości izotopów radu ($^{226}, ^{228}\text{Ra}$) w wodach termalnych niecki podhalańskiej w zależności od odległości od Tatr, został zbudowany model półempiryczny, opisujący procesy kontrolujące występowanie radu w tych wodach.

Wyniki badań i dyskusja

Temperatura badanych wód wynosi od 15 °C do 86 °C, z kolei mineralizacja zawiera się w przedziale od 0,2 g/l do 117 g/l. Wyniki analiz pokazują, że wody termalne z Karpat polskich oraz z wybranych miejsc w Polsce, cechuje duża zmienność zawartości radionuklidów naturalnych, parametrów fizykochemicznych oraz składu chemicznego.

Pod względem temperatury i składu chemicznego wody termalne Karpat wewnętrznych są wyraźnie inne niż wody termalne Karpat zewnętrznych. Wody Karpat zewnętrznych cechują się niską temperaturą (nieprzekraczającą 25 °C) oraz bardzo wysoką mineralizacją (ponad 23 g/l); są to wody typu Cl-Na oraz Cl-Na-Ca. Natomiast wody z Karpat wewnętrznych (niecka podhalańska) charakteryzują się temperaturą sięgającą nawet ponad 86 °C i mineralizacją nieprzekraczającą 2500 mg/l.

Największe stężenia izotopów radu występują w wodach termalnych z Ustronia (otwory U3 i U3A), dla których osiągają wartości 65,0 Bq/l dla ^{226}Ra i 13,7 Bq/l dla ^{228}Ra . Dla pozostałych wód stężenia ^{226}Ra i ^{228}Ra są odpowiednio zawarte w granicach od 19 mBq/l do 3270 mBq/l i od poniżej 10 mBq/l do 910 mBq/l. Szczególnie wysokie stężenia radu występują w wodach o wysokiej mineralizacji i typie Cl-Na oraz Cl-Na-Ca z Rabki, Ustronia i Lubatówki. Fakt ten jest zgodny z wnioskami wynikającymi z przeprowadzonych eksperymentów, dotyczących wpływu składu chemicznego wody na procesy wymywania radu (rysunek 1). W eksperymentach tych wysokie wartości współczynnika wymywania radu obserwowano dla roztworów ze względnie dużą zawartością jonów Na^+ i Cl^- , co głównie jest wynikiem zwiększonej wymiany jonowej między sodem w wodzie a radem w skale (Webster i in., 1995). Z wyników przeprowadzonych eksperymentów można wnioskować, że wysokie stężenia izotopów radu powinny być obserwowane w wodach o wysokiej mineralizacji i zawartości jonów Na^+ i Cl^- .



Rysunek 1. Wartość współczynnika wymywania ^{226}Ra a dany typ wody.
 Oznaczenia roztworów: ‘Aq.dest.’ – woda destylowana; ‘Cl-Na’ – roztwór typu Cl-Na;
 ‘SO4 + NaCl’ – roztwór typu SO₄-Cl-Na-Ca; ‘SO4’ – roztwór typu SO₄-Na-Ca; ‘HCO3’ –
 roztwór typu HCO₃-Ca-Mg.

Generalnie stężenia ^{234}U , ^{238}U w wodach termalnych są znacznie mniejsze od stężeń ^{226}Ra i zawarte w przedziale od poniżej 5 mBq/l do 58,5 mBq/l dla ^{234}U i od poniżej 5 mBq/l do 41,0 mBq/l dla ^{238}U . Fakt ten wynika z warunków redukcyjnych, które najczęściej panują w wodach głęboko zalegających. Wyjątek stanowi woda z otworu Szymoszkowa GT-1, dla której stężenia uranu sięgają aż 313 mBq/l dla ^{234}U i 328 mBq/l dla ^{238}U . Tak wysokie stężenia izotopów uranu są prawdopodobnie wynikiem kontaktu wody z formacją uranonośną, występującą w rejonie Zakopanego (Grodzicki, 1993; Szczepanek, 2003; Bac-Moszaszwili i Jurewicz, 2010).

Dla wyjaśnienia faktu wzrostu zawartości izotopów radu w wodach termalnych niecki podhalańskiej w zależności od odległości od Tatr, został zbudowany model półempiryczny, opisujący procesy kontrolujące występowanie radu w tych wodach. Model ten opiera się na równaniu opisującym zmianę liczby atomów danego izotopu radu w jednostce objętości wody (N) w odległości „x” od strefy zasilania i w danym momencie „t”:

$$\frac{\partial N(x, t)}{\partial t} = a + k_{ds} \cdot C_{os} - k_{ad} \cdot N(x, t) - \lambda \cdot N(x, t) - v \cdot \frac{\partial N(x, t)}{\partial x} + D \cdot \frac{\partial^2 N(x, t)}{\partial x^2} + \lambda_{Th} \cdot N_{Th}$$

gdzie:

N – liczba atomów danego izotopu radu w jednostce objętości wody [atomy/l];

a – współczynnik charakteryzujący odrzut jądrowy [atomy/l·s];

k_{ds} , k_{ad} – współczynniki desorpcji i adsorpcji [1/s];

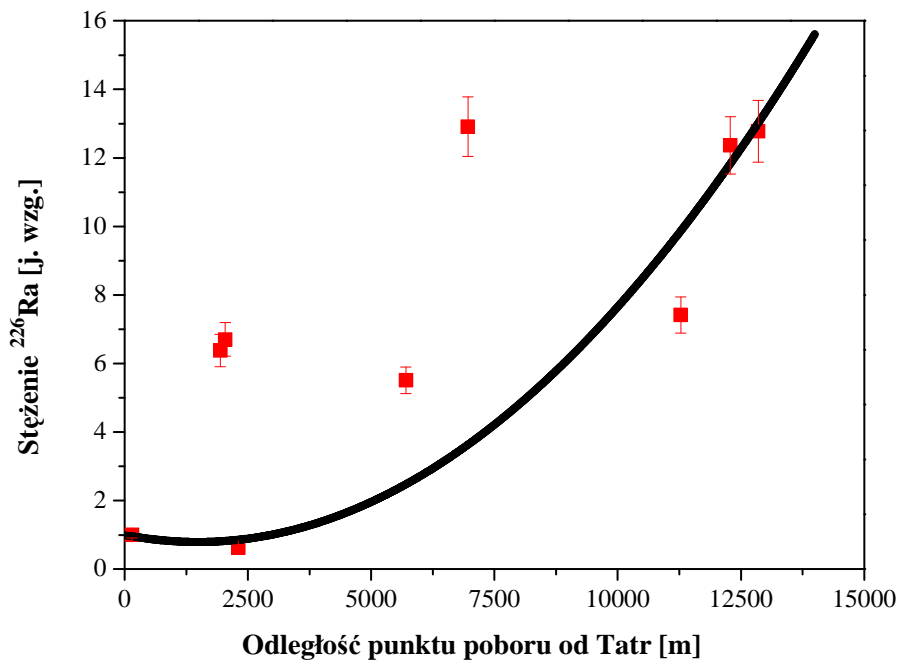
C_{os} – koncentracja danego izotopu radu w warstewce przypowierzchniowej kontaktu skała-woda, wyrażona na jednostkę ekwiwalentną objętości wody [atomy/l];

λ – stała rozpadu danego izotopu radu [1/s];

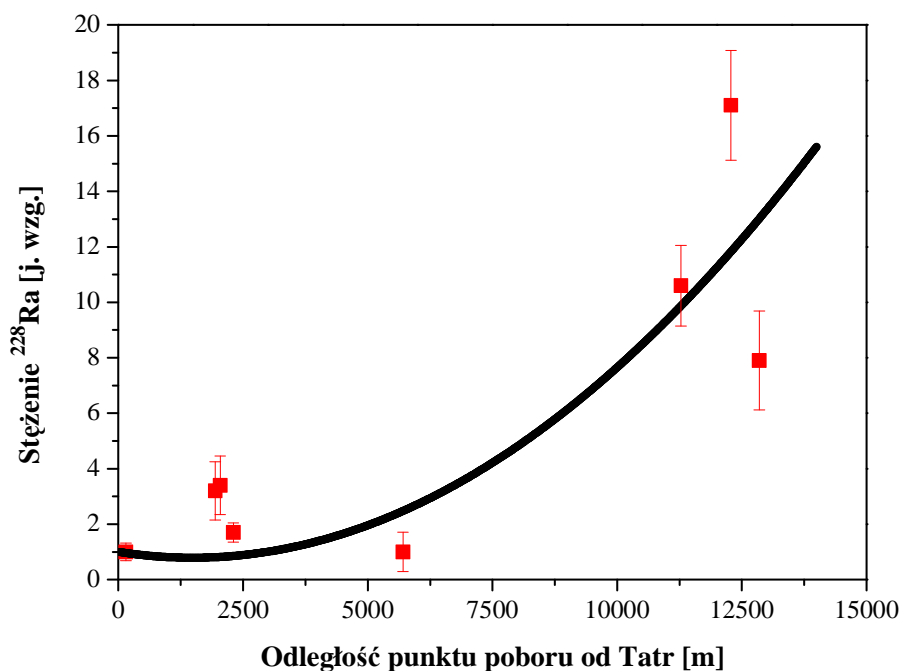
t – czas retencji wody w skale [s];

x – współrzędna przestrzenna definiowana jako odległość punktu poboru wody od Tatr (strefy zasilania) [m];
 v – prędkość przepływu wody [m/s];
 D – współczynnik dyfuzji [1/s];
 λ_{Th} – stała rozpadu danego izotopu toru (^{230}Th bądź ^{232}Th), prekursora radu [1/s];
 N_{Th} – liczba atomów danego izotopu toru (^{230}Th bądź ^{232}Th) w jednostce objętości wody [atomy/l].

Dodatkowo w modelu wykorzystano wyniki eksperymentów wymywania izotopów radu ze skały przez wodę o różnej temperaturze. Na podstawie wyników modelowania, wyznaczono krzywe przedstawiające zależności stężenia ^{226}Ra i ^{228}Ra w wodach termalnych od odległości od Tatr (rysunki 2 i 3). Można stwierdzić, że kształt tych krzywych, dobrze oddaje charakter (wyznaczony doświadczalnie) zmian stężeń $^{226, 228}Ra$ w wodach termalnych niecki podhalańskiej.



Rysunek 2. Wyniki modelowania stężenia ^{226}Ra : stężenie ^{226}Ra w funkcji odległości punktu poboru wody od Tatr (czerwone punkty – pomiar, linia ciągła – model).



Rysunek 3. Wyniki modelowania stężenia ^{228}Ra : stężenie ^{228}Ra w funkcji odległości punktu poboru wody od Tatr (czerwone punkty – pomiar, linia ciągła – model).

Oszacowane roczne dawki obciążające dla pracowników ośrodków rekreacyjnych oraz dla osób poddających się kąpielom rekreacyjnym w basenach termalnych, nie przekraczają dla wszystkich analizowanych wód dawki granicznej; dawka ta wynosi dla pracowników 20 mSv, a dla osób z ogółu ludności 1 mSv (R.R.M., 2005). Oznacza to, że analizowane wody nie stanowią zagrożenia z punktu widzenia radiologicznego, przy wykorzystaniu ich w celach rekreacyjnych. Przeprowadzone analizy pokazują, że narażenie pracowników i klientów kompleksów basenów termalnych na promieniowanie jonizujące będzie głównie wynikiem obecności radonu i jego pochodnych w powietrzu hali basenowej. Dlatego w przypadku wykorzystania wód termalnych o względnie wysokich stężeniach radonu (ok. 100 Bq/l) pracownicy mogą być narażeni na otrzymanie dawki rocznej wynoszącej nawet 10 mSv.

Literatura

- Bac-Moszaszwili M., Jurewicz E., 2010: *Wycieczki geologiczne w Tatry*. Wydawnictwa Tatrzańskiego Parku Narodowego; Zakopane.
- Grodzicki J., 1993: *Jaskinie Tatrzańskiego Parku Narodowego. T.2, Jaskinie Zachodniego Zbocza Doliny Kościeliskiej*. Polskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi; Warszawa: 124-131.
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego (Dz. U. z 2005 r. nr 20 poz. 168)
- Szczepanek A., 2003: *Dolina Białego, Sarnia Skala. „Ścieżka przyrodnicza im. Stanisława Sokołowskiego”*. Tatrzański Park Narodowy; Zakopane: 1-32.
- Webster J.T., Hancock J.G., Murray A.S., 1995: *Modelling the effect of salinity on radium desorption from sediments*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*; 59(12): 2469-2476.