

## NOWE WYNIKI BADAŃ ZAWARTOŚCI NATURALNYCH PIERWIĄSTKÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH W ŚRODOWISKU WODNYM W REJONIE KOWAR

### NEW DATA ON THE CONCENTRATIONS OF NATURAL RADIONUCLIDES IN THE WATER ENVIRONMENT OF THE KOWARY REGION (SUDETES MOUNTAINS, WEST POLAND)

NGUYEN DINH CHAU<sup>1</sup>, JAKUB NOWAK<sup>1</sup>, MARCIN BIALIC<sup>1</sup>,  
LUCYNA RAJCHEL<sup>2</sup>, MARIUSZ CZOP<sup>2</sup>, JERZY WRÓBLEWSKI<sup>3</sup>

**Abstrakt.** W pracy przedstawiono nowe wyniki pomiaru naturalnych izotopów promieniotwórczych ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  i  $^{222}\text{Rn}$ ) w próbkach wody pobranych ze sztolni po górnictwie uranowym, z rzeki Jedlica i potoków oraz z wybranych ujęć wody pitnej w okolicy miasta Kowary. Rejon badań obejmuje strefy występowania złóż polimetalicznych, w tym również z wysoką zawartością uranu. Wody kopalniane ze sztolni po eksploatacji rud uranu charakteryzują się wysokimi wartościami badanych izotopów. W niektórych przypadkach poziom naturalnej promieniotwórczości wód kopalnianych jest stosunkowo wysoki, co stwarza potencjalne zagrożenia zdrowotne.

**Słowa kluczowe:** naturalne pierwiastki promieniotwórcze, kopalnictwo uranu, ujęcia wód, kontaminacja, dopuszczalne dawki.

**Abstract.** This paper presents the newly measured concentrations of natural radionuclides ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  and  $^{222}\text{Rn}$ ) in water samples collected from old mining galleries (adits), the Jedlica River and streams and from some water intakes (shallow supply wells) near the town of Kowary. The study area is a region of the occurrence of polymetallic and uranium ores. The research results indicate that the radioactive influence of the old mining galleries on the water in the streams and Jedlica River are still clearly observed. In some water samples the concentrations of the radioactive elements are very high, so it can be a potential hazard to the human health.

**Key words:** natural radioactive elements, uranium mining, water catchment, contamination, committed dose.

## WSTĘP

Naturalne izotopy promieniotwórcze lokalnie stanowią poważny problem w wykorzystywaniu wód podziemnych dla zaopatrzenia ludności. W świetle danych literaturowych, w Stanach Zjednoczonych ponad dopuszczalne stężenia izotopów promieniotwórczych stwierdza się w przypadku kilkuset ujęć wody (około 0,5%) zaopatrujących w wodę pitną około 2 milionów ludzi. Spośród licznej grupy naturalnych izotopów promieniotwórczych w najwyższych stężeniach

w wodach powierzchniowych i podziemnych występują:  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{234}\text{U}$  oraz  $^{238}\text{U}$  (Weiner, 2008).

Zawartości uranu w wodzie naturalnej głównie zależą od budowy geologicznej regionu i wahają się w stosunkowo szerokim zakresie  $\leq 0,1\text{--}100,0\ \mu\text{g}/\text{dm}^3$  (Smedley i in., 2006). Największe znaczenie dla zawartości uranu w wodzie ma izotop  $^{238}\text{U}$ , którego średni udział w uranie wynosi 99,274%. Uran jest chemicznie bardziej szkodliwy niż radiologicznie.

<sup>1</sup> Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, ul. Reymonta 19, 30-059 Kraków

<sup>2</sup> Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: rajchel@geol.agh.edu.pl; mariucz@agh.edu.pl

<sup>3</sup> Państwowa Agencja Atomistyki, Oddział w Jeleniej Górze, ul. Matejki 17, 58-500 Jelenia Góra

Dopuszczalna zawartość uranu, dla wód pitnych wynosi  $15 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ , co jest równoważne aktywności na poziomie  $180 \text{ mBq}/\text{dm}^3$  dla izotopu  $^{238}\text{U}$  (WHO, 2008).

Główne znaczenie dla rozważań związanych ze zdrowotnymi zagrożeniami z tytułu promieniotwórczości radu mają izotopy  $^{226}\text{Ra}$  i  $^{228}\text{Ra}$ . Stężenia tych izotopów w naturalnych wodach wahają się w granicach od kilku dziesiątych do kilkuset, a nawet kilku tysięcy  $\text{mBq}/\text{dm}^3$  (King i in., 1982; Minster i in., 2004). Dopuszczalna ich zawartość, jako suma  $^{226}\text{Ra}$  i  $^{228}\text{Ra}$ , dla wody pitnej wynosi  $0,185 \text{ Bq}/\text{dm}^3$  (WHO, 2008).

Radon jest gazem szlachetnym i jednocześnie jedynym radioaktywnym pierwiastkiem gazowym. Wśród naturalnych izotopów radonu, najbardziej stabilnym izotopem jest  $^{222}\text{Rn}$ , którego czas połowicznego rozpadu wynosi 3,8 dnia. Według danych ze Stanów Zjednoczonych, radon i jego produkty rozpadu są odpowiedzialne za około 50% dawki pochodzącej od promieniowania tła (Weiner, 2008). Średnie stężenie radonu w wodach podziemnych zależy od formacji wodonośnej i waha się w bardzo szerokich granicach od kilku do kilkuset tysięcy  $\text{Bq}/\text{dm}^3$  (Przylibski, 2005). Zgodnie z rekomendacjami WHO (2008) jeśli zawartość radonu w wodzie przekracza  $1000 \text{ Bq}/\text{dm}^3$ , wymagana jest jej remediacja.

W Polsce strefy występowania podwyższonych zawartości wspomnianych pierwiastków promieniotwórczych są związane głównie z obszarem Górnośląskiego Zagłębia Węglowego oraz rejonem Sudetów. Bardzo ciekawym obszarem, w aspekcie badania występowania pierwiastków pro-

mieniotwórczych w środowisku wodnym, jest rejon Kowar, gdzie znajdują się eksploatowane w przeszłości złoża uranu.

W latach 80. XX wieku wykonane zostały pierwsze pomiary zawartości pierwiastków promieniotwórczych uranu, radu i radonu w obrębie środowiska wodnego rejonu Kowar. Zawartości uranu oznaczono metodą analizy fluorymetrycznej, stężenia radu metodą radiochemiczną, a koncentracje radonu określono za pomocą emanometru metodą cyrkulacyjną (Adamski, Gawor, 1986). Wyniki stężeń uranu i radu zostały podane jako stężenia wagowe, natomiast radonu w emanach. Archiwalne wyniki badań naturalnej promieniotwórczości próbek wody z rejonu Kowar zostały przeliczone na stężenia molowe (wyrażone jako aktywności) (tab. 1).

Aktualnie, wobec znacznego rozwoju technik analitycznych, możliwe jest określenie nawet relatywnie bardzo niskich stężeń pierwiastków promieniotwórczych, niemożliwych do zmierzenia w przeszłości. Możliwe są również oznaczenia poszczególnych izotopów promieniotwórczych uranu, radu ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  oraz  $^{228}\text{Ra}$ ) i innych.

Przedstawione w niniejszej pracy dane w zakresie zawartości izotopów  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  i  $^{222}\text{Rn}$  w wodach w rejonie Kowar, mają wstępny charakter. Pozwalają one wskazać na główne strefy zagrożenia środowiska wodnego przez emisję pierwiastków promieniotwórczych z wietrzających skał uranonośnych. W dalszej perspektywie badania będą kontynuowane dla pełnej charakterystyki warunków hydrogeochemicznych występowania pierwiastków promieniotwórczych w środowisku wodnym w rejonie Kowar.

**Tabela 1**

**Archiwalne zawartości uranu, radu i radonu w próbkach wody pobranych z niektórych punktów pomiarowych w 1985 r. (Adamski, Gawor, 1986)**

Concentrations of uranium, radium and radon in the water samples collected from four locations in the study area measured in 1985 (Adamski, Gawor, 1986)

Punkt poboru próbek	U		Ra		Rn	
	$[\text{g}/\text{dm}^3]$	$[\text{mBq}/\text{dm}^3]^1)$	$[\text{g}/\text{dm}^3]$	$[\text{mBq}/\text{dm}^3]^2)$	$[\text{eman}/\text{dm}^3]$	$[\text{Bq}/\text{dm}^3]^3)$
Rzeka Jedlnica powyżej sztolni nr 17	$2,0 \cdot 10^{-6}$	24	$5 \cdot 10^{-12}$	185,0	108÷107	400÷650
Sztolnia nr 17	$4,8 \cdot 10^{-5}$	576	$5 \cdot 10^{-12}$	185,0		
Sztolnia nr 19a	$2,1 \cdot 10^{-4}$	2520	$9,6 \cdot 10^{-11}$	355,2		
Rzeka Jedlnica poniżej sztolni nr 17	$4,6 \cdot 10^{-5}$	552	$5 \cdot 10^{-12}$	185,0		

<sup>1)</sup> – 1  $\mu\text{g}$  of uranium = 12,2 mBq

<sup>2)</sup> – 1 ng of  $^{226}\text{Ra}$  = 37 mBq

<sup>3)</sup> – 1 eman = 3.7 Bq

## ZARYS WARUNKÓW GEOLOGICZNYCH I HYDROGEOLOGICZNYCH REJONU KOWAR

Rejon badań, tj. obszar położony pomiędzy Kowarami a Jelenią Górą, pod względem geologicznym znajduje się w obrębie południowo-wschodniej części metamorficznej osłony granitu Karkonoszy, a częściowo w obrębie samej intruzji granitowej. W rejonie tym stwierdzono występowanie licznych stref wzbogacenia w surowce mineralne, które znajdują się w kompleksie skał metamorficznych, przy czym koncentrują się wzdłuż strefy kontaktu osłony metamorficznej z intruzją granitową (Mochacka, 1966, 1967).

Obszar Kowar należy do jednych z bogatszych skupisk uranu w Polsce. Łącznie, w rejonie kontaktu intruzji granitoidowej z osłoną metamorficzną, odkryto 7 obszarów wystąpień lub złóż uranu: Karpacz, Wołowa Góra, Budniki, Kowary, Ogorzelec-Victoria, Ruebezahl i Podgórze. Spośród wszystkich wymienionych główne znaczenie ma złożo Podgórze, stanowiące jedno z największych nagromadzeń uranu w Polsce (Mochacka, Banaś, 2000).

Zawartości uranu w skałach zarówno intruzji granitoidowej, jak i osłony metamorficznej w rejonie Kowar są bardzo wysokie. W przypadku granitów karkonoskich średnie zawartości uranu wahają się w granicach 8,0–18,5 ppm, co stanowi około 2–4 razy więcej od przeciętnej zawartości tego pierwiastka w granitach, równej 4,7 ppm (Nieć, 2009).

Zawartości uranu w skałach osłony metamorficznej są bardzo zmienne, z uwagi na żyłowy charakter wystąpień tego pierwiastka. W przypadku skał stanowiących złoża uranu Kowary i Podgórze najczęściej spotykana zawartość tego pierwiastka waha się w granicach 0,1–0,3% (1000–3000 ppm) (Mochacka, Banaś, 2000). Skały okołozłożowe również charakteryzują się relatywnie bardzo wysokimi zawartościami uranu. Badania wykonane dla odpadów górniczych z hałdy kopalni „Podgórze” w Kowarach (pomiędzy sztolniami nr 19 i 19a) wskazują na zawartości uranu w granicach 24–402 ppm, przy średniej geometrycznej około 54,2 ppm (Grabas, 2009).

Warunki hydrogeologiczne w rejonie Kowar zasadniczo odwzorowują ogólne prawidłowości charakterystyczne dla całego obszaru Sudetów. Wody podziemne występują w największych ilościach w obrębie czwartorzędowych utworów piaszczysto-żwirowych, w dolinach rzeki Jedlicy oraz potoków stanowiących jej dopływy. W dolinie Jedlicy zlokalizo-

wane są wszystkie studnie ujęciowe, zaopatrujące w wodę pitną społeczność lokalną. Współczynniki filtracji utworów czwartorzędowych w dolinach rzecznych Sudetów są stosunkowo bardzo wysokie i zawierają się w granicach od  $2,8 \times 10^{-5}$  do  $1,9 \times 10^{-3}$  m/s, przy czym najczęściej plasują się w przedziale od  $2,2 \times 10^{-4}$  do  $9,7 \times 10^{-4}$  m/s. Typowy zakres zmienności wydajności pojedynczych studni zawiera się natomiast w przedziale 20–70 m<sup>3</sup>/h (Staško, Michniewicz, 2007).

Wody podziemne występują w rejonie Kowar, również w obrębie spękań i szczelin w skałach magmowych i metamorficznych. Współczynniki filtracji dla przedstawionych skał krystalicznych są generalnie stosunkowo niskie, przy czym w związku z niejednorodnością ośrodka skalnego obserwuje się bardzo szeroki zakres zmienności ich wartości. W przypadku skał intruzji granitoidowej Karkonoszy współczynniki filtracji zawierają się w przedziale od  $6,9 \times 10^{-6}$  do  $5,7 \times 10^{-4}$  m/s. Skały metamorficzne wschodniej osłony Karkonoszy, z uwagi na silne i wielokrotne sfałdowanie, charakteryzują się znacznie niższymi wartościami współczynnika filtracji, które osiągają najczęściej poziom rzędu  $1,3 \times 10^{-6}$  m/s. Średnie wydajności studni ujmujących skały krystaliczne najczęściej zawierają się w granicach 0,2–3,6 m<sup>3</sup>/h, przy depresjach na poziomie 2–24 m (Staško, Michniewicz, 2007).

Głównym czynnikiem zasilania wód podziemnych jest infiltracja opadów atmosferycznych, która w zlewni Jedlicy osiąga bardzo wysoką wartość rzędu około 426,7 mm, co stanowi ponad 49% średniej sumy opadów atmosferycznych (= 869 mm). Średni niski przepływ rzeki Jedlicy wynosi 0,37 m<sup>3</sup>/s, a przepływ minimalny (nienaruszalny) jest równy około 0,18 m<sup>3</sup>/s (Dubicki, 2002). Drenaż wód podziemnych prowadzony jest przez rzekę Jedlicę oraz stanowiące jej dopływy potoki (Staško, Michniewicz, 2007).

Wyrobiska górnicze po eksploatacji złóż uranu oraz innych surowców mineralnych, rozcinają większość wzgórz wznoszących się ponad doliną Jedlicy. Wyrobiska te zbierają wody infiltracyjne ze znacznych obszarów i dodatkowo nacinają zwierciadło wód podziemnych. W takich warunkach na wylotach niektórych sztolni obserwowane są stałe wypływy wód kopalnianych.

## METODYKA BADAŃ ZAWARTOŚCI IZOTOPÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH W PRÓBKACH WODY

Próbki wody do pomiaru zawartości radonu pobrano do butelek szklanych, posiadających hermetyczne zamknięcie, nakrętkami z uszczelkami gumowymi. W trakcie poboru starano się unikać turbulencji strumienia wodnego i całkowicie wypełniono pojemniki przygotowane do opróbowania.

W laboratorium z każdej próbki pobrano strzykawką 10 ml wody, potem dodano ją do przygotowanego szklanego naczynia pomiarowego o objętości 22 ml zawierającej 10 ml

ciekłego scyntylatora typu *Oil Mineral Scintillator for Radon in Water* produkcji firmy PACKARD. Próbkę wytrząsano, a następnie dokonano pomiarów za pomocą spektrometru ciekłoscyntylacyjnego z dyskryminacją alfa/beta. Pomiary prowadzono codziennie, przy czym czas pomiaru jednej próbki wynosił co najmniej jedną godzinę. Ilość pomiarów wykonanych dla każdej próbki wynosiła co najmniej 7.

Próbki wody do analizy zawartości izotopów uranu i radu pobrano do kanistrów plastikowych o objętości 5 litrów każdy. W celu zapobieżenia adsorpcji jonów uranu i radu na ścianach kanistrów, dodano po 5 ml 8M-HNO<sub>3</sub> i przetransportowano do laboratorium. Dla potrzeb eliminacji zawiesiny, próbki wody zostały przefiltrowane przez filtr membranowy 0,45 μm. Do analizy izotopów uranu pięć litrów wody zateżono (poprzez odparowanie) do objętości poniżej litra. Izotopy uranu zostały współstrącone w postaci amonu uranowego razem z dwutlenkiem manganu. Próbkę zawierającą izotopy uranu oczyszczono od innych izotopów poprzez rozpuszczenie go w roztworze 9M-HCl i przepuszczenie przez kolumnę z żywicami. Jony uranowe zostały wymyte z kolumny poprzez zastosowanie roztworu 0,1M-HCl, a następnie ponownie wytrącone za pomocą dodatku soli Mohra i chlorku neodymu. Osad zatrzymany na filtrze membranowym 0,1 μm zmierzono za pomocą spektrometru alfa z planarnym detektorem krzemowym typu PIPS (*Passivated Implanted Planar Silicon*).

Do analizy izotopów radu, trzy litry wody poprzez odparowanie zostały zateżone do objętości poniżej 1 litra. W kolejnym kroku procedury analitycznej wykonano współstrącenie radu, z używanym jako nośnik barem, w postaci siarczanu. Osad został poddany oczyszczaniu od innych izotopów, jak np. <sup>210</sup>Pb, poprzez rozpuszczenie go w alkalicznym roztworze EDTA i powtórne strącenie kwasem octowym. Po przemyciu wodą destylowaną i odwirowaniu, osad został przeniesiony do naczynia pomiarowego i zmieszano go z 12 ml scyntylatora w żelu. Spreparowana według przedstawionej procedury, próbka została poddana pomiarom za pomocą spektrometru ciekłoscyntylacyjnego z dyskryminacją alfa/beta. Pomiaru prowadzono codziennie przez okres 22 dni. Czas jednego pomiaru dla każdej próbki wynosił co najmniej jedną godzinę.

Procedury preparatyki chemicznej pomiarowej, jak i sposoby liczenia dla wszystkich wyżej wymienionych izotopów zostały szczegółowo opisane w pracy Chau'a (2010).

## PUNKTY POBORU PRÓBEK WODY

Wstępne badania zawartości pierwiastków promieniotwórczych uranu, radu i radonu wykonano w rejonie Kowar dla 15 próbek, reprezentujących zarówno wody powierzchniowe (z rzeki Jedlica), jak również wody podziemne (z ujęć wód pitnych) oraz wody kopalniane (ze sztolni).

Punkty pomiarowe zaznaczone na [figurze 1](#) były zlokalizowane:

- na rzece Jedlica, dwa punkty: powyżej wylotu sztolni 17 oraz poniżej wylotu sztolni 19a (przed pierwszymi zabudowaniami);

- na potoku Piszczak, dwa punkty: 5 m powyżej wylotu sztolni nr 10 oraz 5 m poniżej wspomnianego wylotu;

- w studniach ujęciowych Kowarskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji (4 szt. – Kowary Górne, Kowary Średnie i Kowary Dolne oraz ujęcie Wojków), pobieranych i uzdatnianych dla zaopatrzenia w wodę pitną mieszkańców Kowar i Jeleniej Góry;

- na wypływach wód kopalnianych ze sztolni „Jedlica” oraz sztolni nr 10, 17, 19 i 19a, a także przy posesji nr 49 i w miejscu wzniesienia Parking w Kowarach Dolnych.

## WYNIKI POMIARÓW I ICH INTERPRETACJA

Zmierzone stężenia izotopów uranu, radu i radonu w próbkach wód powierzchniowych, wód podziemnych oraz wód kopalnianych w rejonie Kowar zostały szczegółowo przedstawione w [tabeli 2](#). Dodatkowo na [figurze 1](#), koncentracje pierwiastków promieniotwórczych zostały zaprezentowane, na tle mapy obszaru badań, w postaci wykresów słupkowych (Bialic, 2010).

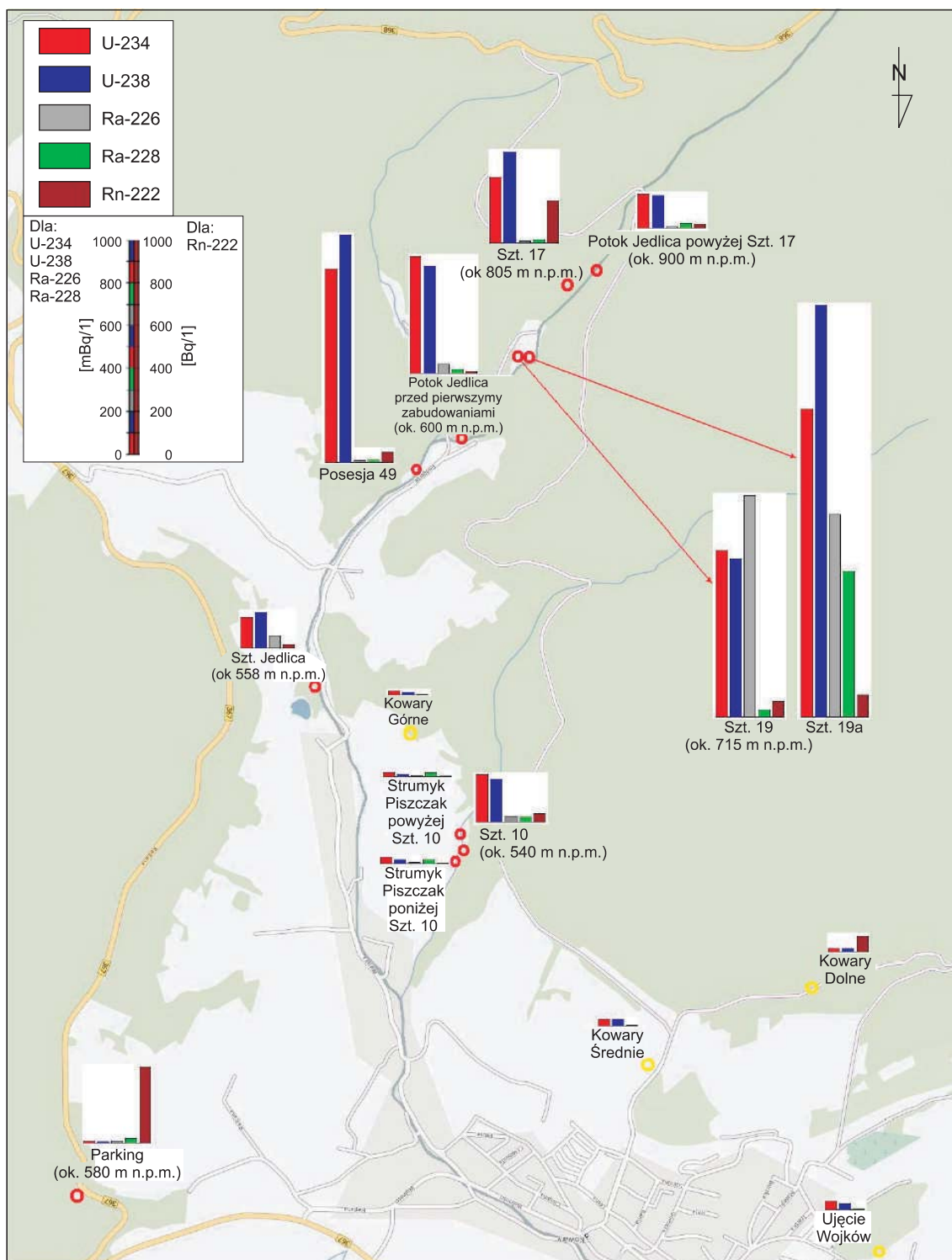
Stężenia zmierzone dla każdego z izotopów wahają się w szerokim zakresie, w przypadku uranu przedział zmienności zawiera się od kilku do około 2000 mBq/dm<sup>3</sup>, dla radu od kilku do ponad 1000 mBq/dm<sup>3</sup>, natomiast dla radonu od poniżej 1 Bq/dm<sup>3</sup> dla wody z ujęć „Kowary Górne” i „Kowary Średnie” do ponad 350 Bq/dm<sup>3</sup> dla wody ze źródła w miejscu wzniesienia Parking.

Porównując aktualne wyniki badań z podawanymi w pracy Kozłowskiej (2009) dla wód źródłanych w rejonie Sude-

tów, zwraca uwagę duża zbieżność przedziałów zmienności dla stężeń radu. Z kolei w przypadku stężeń uranu zarejestrowane w rejonie Kowar maksymalne wartości są aż o około 2 rzędy wielkości wyższe od podanych w cytowanej powyżej pracy. W odniesieniu do stężeń radonu, zmierzone na obszarze badań jego wartości są wyraźnie, bo kilka razy niższe od ekstremalnie dużych wartości publikowanych przez wspomnianą autorkę.

Wody kopalniane, ze sztolni mają wysoki poziom promieniotwórczości, w szczególności bardzo duże zawartości izotopów uranu. Izotop <sup>238</sup>U w wodzie ze wszystkich sztolni przekracza poziom 180 mBq/dm<sup>3</sup>, tzn. poziom dopuszczalny dla tego składnika w wodach pitnych (RRM, 2005; WHO, 2008; ECS, 2009).

Najwyższe zawartości izotopów uranu zostały stwierdzone w wodach pobranych ze sztolni 17, 19 i 19a oraz na



Punkty opróbowania wód: ○ sztolnie, cieki powierzchniowe, źródła ○ ujęcia wód pitnych (wody powierzchniowe)  
 Sampling points: ○ adits, rivers, streams, springs ○ drinking water plants (surface water)

**Fig. 1. Lokalizacja punktów poboru próbek wody i wyniki badań zawartości izotopów promieniotwórczych w środowisku wodnym w rejonie Kowar**

The sampling points location and measurement results of the radioisotopes concentrations in the water environment of the Kowary area

Tabela 2

Zmierzone stężenia izotopów uranu, radu i radonu w próbkach wody  
Results of the uranium, radium and radon isotopes concentrations in water samples

Punkty poboru próbek	U [mBq/dm <sup>3</sup> ]		Ra [mBq/dm <sup>3</sup> ]		<sup>222</sup> Rn [Bq/dm <sup>3</sup> ]
	<sup>238</sup> U	<sup>234</sup> U	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	
Rzeka Jedlica nad sztol. nr 17	158 ±10	152 ±10	4,4 ±2,1	21,3 ±4,6	16 ±3
Sztolnia nr 17	309 ±18	429 ±25	6,2 ±2,5	14,7 ±3,8	198 ±10
Sztolnia nr 19	783 ±48	744 ±46	1039 ±32	31,4 ±5,6	71,4 ±6,3
Sztolnia 19a	1446 ±87	1930 ±120	949 ±30	687 ±26	103 ± 8
Rzeka Jedlica pod sztol. nr 19a	544 ±60	498 ±60	40,8 ±6,4	17,1 ±4,1	6,3 ±1,9
Posesja nr 49	906 ± 3	1066 ±62	6,2 ± 2,5	10,4 ±3,2	47,4 ±5,1
Sztolnia Jedlica	143 ±9	166 ±11	56,2 ±7,5	≤10	16,9 ±3,1
Strumyk Piszczak pow. wypływu ze sztol. 10	17,0 ±0,8	7,7 ±0,5	5,0 ±2,2	18,2 ±4,5	1,6 ±1,0
Sztolnia nr 10	223 ±17	201 ±17	27,5 ±5,2	23,3 ±4,8	36,8 ±4,5
Strumyk Piszczak pon. wypływu ze sztol. 10	28,4 ±1,2	18,1 ±0,9	4,8 ±2,2	17,2 ±4,1	1,7 ±1,0
Ujęcie – Parking	6,4 ±0,2	3,6 ±0,1	8,9 ±3,0	19,0 ±0,2	352 ±14
Ujęcie – Kowary Dolne	14,3 ±1,3	12,6 ±1,2	na	na	72,1 ±6,3
Ujęcie – Kowary Średnie	29,8 ±1,8	30,2 ±1,8	na	na	≤ 0,5
Ujęcie – Kowary Górne	16,3 ±1,5	11,2 ±1,2	na	na	≤ 0,5
Ujęcie – Wójków	37,2 ±1,9	25,5 ±1,5	na	na	2,4 ±1,1

na – nie analizowano; *not analysed*

dopływie przy posesji nr 49. W odniesieniu do sztolni 17 i 19a wartości te są nieznacznie mniejsze od zmierzonych w tych samych punktach w latach 80. XX wieku. Poziom uranu w badanych próbkach był i pozostaje na wysokim poziomie, co umożliwi jego zmierzenie zarówno mniej dokładnymi metodami stosowanymi w przeszłości, jak i metodami nowoczesnymi, charakteryzującymi się wyraźnie niższym poziomem oznaczalności.

Fakt wysokiego stężenia uranu w sztolniach wynika bezpośrednio z przebiegającego w obrębie masywu skalnego procesu utleniania siarczków, generacji kwaśnych wód kopalnianych i stosunkowo intensywnego rozpuszczania skał wzbogaconych w minerały uranowe i pierwiastki śladowe. Kluczowe znaczenie dla przechodzenia uranu do roztworu ma duża agresywność wód kopalnianych w stosunku do otaczających skał.

Porównując zawartości izotopów radu w próbkach wody pobranych ze sztolni nr 17 i nr 19a określonych aktualnie oraz podanych w pracy Adamskiego i Gawora (1986), zwraca uwagę bardzo znacząca rozbieżność pomiędzy nimi. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest najprawdopodobniej niska dokładność metody pomiarowej stosowanej w latach 80. XX wieku.

Bardzo interesujące są przypadki wypływów wód kopalnianych ze sztolni nr 10 oraz w rejonie Parkingu. Woda ze sztolni nr 10 charakteryzuje się, jak już wcześniej wspomniano, nieprzyjemnym zapachem siarkowodorowym wskazującym na lokalne występowanie warunków redukcyjnych. Stężenie uranu w wodzie ze wspomnianej sztolni wynosi ponad 200 mBq/dm<sup>3</sup>, podczas gdy stężenia radu są stosunkowo niskie i osiągają ponad 20 mBq/dm<sup>3</sup>.

Kolejnym interesującym przypadkiem badawczym są wody wypływające z górotworu w rejonie Parkingu. Stężenia izotopów uranu i radu z pobranej w tym miejscu wody są bardzo niskie i wynoszą zaledwie od kilku do kilkunastu mBq/dm<sup>3</sup>, natomiast stężenie radonu sięgało aż do ponad 350 Bq/dm<sup>3</sup>. Sytuację tę można tłumaczyć słabym ługowaniem minerałów ze skał krystalicznych przez wodę przy jednoczesnym wykształceniu się w górotworze warunków redukcyjnych, sprzyjających występowaniu łatwo sorbowalnej formy specyficznego uranu – U(IV). Wysokie stężenia radonu w próbce wody z rejonu Parkingu są z kolei związane z procesem emancypacji radonu ze skał granitowych do wody (Przylibski, 2005).

W związku z dopływem zawierających duże stężenia pierwiastków promieniotwórczych wód kopalnianych obserwuje się wzrost promieniotwórczości wód z rzeki Jedlicy. Najwyższe stężenia izotopów uranu w wodach rzecznych są notowane, zgodnie z oczekiwaniami, w punkcie bezpośrednio poniżej charakteryzujących się największymi promieniotwórczościami wypływów ze sztolni nr 17, nr 19 i nr 19a. W wodach powierzchniowych zarówno w rzece Jedlica, jak i w potoku Piszczak stwierdza się natomiast niskie stężenia izotopów radu. Wynika to bezpośrednio z wystarczającego stężenia jonów SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> w wodach powierzchniowych, co skutkuje wytrącaniem się promieniotwórczego radu w postaci soli siarczanowej.

Wyniki stężeń izotopów promieniotwórczych w próbkach wody pobranych z zakładów uzdatnienia w rejonie Kowar, wskazują na relatywnie niskie zawartości uranu w granicach od kilkunastu do kilkudziesięciu mBq/dm<sup>3</sup>. Są one nieznacznie wyższe od stężeń izotopów uranu w wodach w ujęciach wody pitnej w okolicy Krakowa (Chau i in., 2009).

## WNIOSKI

Pomimo zabezpieczenia i rekultywacji byłych sztolni poszukiwawczych i eksploatacyjnych po górnictwie uranowym w rejonie Kowar, naturalna promieniotwórczość wód kopalnianych wypływających z wyrobisk górniczych oraz wód w rzece Jedlica jest nadal bardzo wysoka. Zawartości izotopów uranu w wodach z wybranych sztolni są bardzo wysokie i wynoszą od kilkuset do około 2000 mBq/dm<sup>3</sup>. Zawartości izotopów radu są znacznie mniejsze niż uranu, jednak w przypadku wód ze sztolni nr 19 i 19a, ich poziom należy uznać za znacząco wysoki. Po przedostaniu się do wód powierzchniowych izotopy radu ulegają najprawdopodobniej strąceniu, wskutek wystarczająco wysokich stężeń jonów siarczanowych.

Stężenia izotopów uranu i radu w wodach z ujęć wody pitnej dla miast Kowary i Jelenia Góra są niskie. W przypadku radonu jego stężenie w wodzie z jednego z ujęć wodociągowych (Ujęcie – Parking) należy uznać za stosunkowo bardzo wysokie.

Niepokojący jest przypadek wypływu wód kopalnianych na posesji nr 49, gdzie woda o bardzo wysokim poziomie promieniotwórczego uranu jest wykorzystywana przez właściciela wspomnianej działki w celach pitnych.

Dla potrzeb pełnej charakterystyki warunków hydrogeochemicznych występowania izotopów promieniotwórczych w środowisku wodnym rejonu Kowar, konieczne jest wykonanie pomiarów cech fizykochemicznych (pH, Eh i temperatury) oraz szczegółowych analiz składu chemicznego wód powierzchniowych i podziemnych, a także wód kopalnianych wypływających ze sztolni.

Praca została zrealizowana w ramach badań statutowych w Akademii Górniczo-Hutniczej na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej nr 11.11.22.01, oraz na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska nr: 11.11.140.021 i 11.11.140.139.

## LITERATURA

- ADAMSKI W., GAWOR F., 1986 — Podziemne wyrobiska górnicze rejonu Kowar oraz ich wpływ na stosunki wodne i powstawanie szkód górniczych. Opracowanie Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, PWR., Wrocław.
- BIALIC M., 2010 — Próba oceny potencjalnego wpływu starych wyrobisk po eksploatacji uranu w Kowarach na naturalną promieniotwórczość wody w potoku Jedlica i jego dopływach (Praca magisterska). WFiIS, AGH, Kraków.
- CHAU NGUYEN DINH, 2010 — Naturalna promieniotwórczość wód mineralnych Karpat Polskich. Wyd. „JAK”, Kraków.
- CHAU NGUYEN DINH, KASPRZYKOWSKI P., SENIUTA R., NOWAK J., OCHMAŃSKI P., 2009 — Izotopy uranu i radu wód pitnych aglomeracji krakowskiej. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **436**, ser. Hydrogeologia 9/1: 29–34.
- DUBICKI A. (red.), 2002 — Zasoby wodne w dorzeczu górnej i środkowej Odry w warunkach suszy. IMGW, Warszawa.
- ECS 2009 — European Commission Services Considerations with regard to natural radiation sources in BSS Directives.
- GRABAS K., 2009 — Environmental hazard in the area of the former uranium ore mine “Podgórze” in Kowary. *Environ. Protection Engineering*, **35**, 1: 127–137.
- KING P.T., MICHEL J., MOORE W.S., 1982 — Ground water geochemistry of <sup>228</sup>Ra, <sup>226</sup>Ra and <sup>222</sup>Rn. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, **46**: 1173–1182.
- KOZŁOWSKA B., 2009 — Promieniotwórczość naturalna wód źródlanych uzdrowisk południowej Polski. Wyd. UŚI, Katowice.
- MINSTER T., LLANI S., KRONFELD J., EVEN O., GODFREY-SMITH D.I., 2004 — Radium contamination in the Nizzana-1 water well, Negev Desert, Israel. *J. Environ. Radioact.*, **71**: 261–273.
- MOCHNACKA K., 1966 — Minerale kruszcowe złoża polimetalicznego w Kowarach (Dolny Śląsk). *Pr. Miner. Kom. Nauk. Miner. PAN Oddz. w Krakowie*, **4**.
- MOCHNACKA K., 1967 — Geologia polimetalicznego złoża w Kowarach (Dolny Śląsk). *Pr. Geol. Komis. Nauk. Geol. PAN Oddz. w Krakowie*, **40**.
- MOCHNACKA K., BANAŚ M., 2000 — Occurrence and genetic relationship of uranium and thorium mineralization in the Karkonosze Izera Block (the Sudety Mts, SW Poland). *Ann. Soc. Geol. Pol.*, **70**, 2: 137–150.
- NIEĆ M., 2009 — Występowanie rud uranu i perspektywy ich poszukiwań w Polsce. *Polityka Energetyczna*, **12**, 2/2: 435–451.
- RRM 2005 — Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego, Dz.U.: RP Nr 20, Warszawa dnia 3 lutego 2005.
- PRZYLIBSKI T., 2005 — Radon – składnik swoisty wód leczniczych Sudetów. Wyd. PWR., Wrocław.
- SMEDLEY P., SMITH B., ABESSER C., LAPWORTH D., 2006 — Uranium occurrence and behavior in British groundwater, British Geological Survey.
- STAŚKO S., MICHNIEWICZ M., 2007 — Subregion Sudetów. *W: Hydrogeologia regionalna Polski* (red. B. Paczyński, A. Sadurski). t. I – Wody zwykłe: 306–326. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- WEINER E.R., 2008 — Applications of the Environmental Aquatic Chemistry. A Practical Guide. CRC Press. Boca Raton.
- WHO, 2008 — Guidelines for drinking-water quality. Vol. I, Recommendations, 3-rd edition. Geneva.

## SUMMARY

The study area is located near the towns of Kowary and Jelenia Góra in the Sudetes Mountains province of south-west of Poland. From the geological point of view, this region is composed of Precambrian metamorphic gneisses, mica-schists and amphibolites. The metamorphic formation is strongly folded and covering the inner, younger formation of the Karkonosze granite. The average uranium concentration of the mineralised zones ranges from 0.1% to 0.3% and maximally reach the value of about 2%. The polymetallic and uranium mineralisation zones were usually associated with the contact zones of intrusive veins (granite) and metamorphic rocks.

Small uranium deposits located in the Karkonosze Mountains, mainly at Kowary have been intensively mined from the 1920s to the 1960s. During the mining and geological prospecting several tens of galleries were created. The majority of galleries collapsed or was filled by the spoils, and some of them have been preserved until now. In Kowary, there are

still a few adits of the “Wolność” and “Podgórze” mines with active mine water inflows. As a results of the leaching of rock minerals, the concentration of radioactive elements in the mine water is relatively very high. The polluted mine water is flowing to the Jedlica River and enters the shallow groundwater.

The water samples were collected from the adits, wells and Jedlica River. For every water sample, the contents of uranium ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ), radium ( $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ) and radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) were determined. The results indicate that the concentrations of the uranium and radium isotopes in the mine water from the adits are relatively high and range from a few hundred to about 2000 mBq/dm<sup>3</sup>. The uranium contents in water samples from most adits and also wells in this area are significantly higher than the permissible uranium level for drinking water (15 µg/dm<sup>3</sup>). The relatively high concentration of radon is also observed in some water samples from adits and wells.