

*Izabela Chmielewska**, *Stanisław Chałupnik**, *Antoni Mielnikow**,
*Grzegorz Hudzik***, *Bogdan Czapla***

NUKLIDY PROMIENIOTWÓRCZE W WODACH PITNYCH NA ŚLĄSKU

Streszczenie

W kopalniach węgla Górnośląskiego Zagłębia Węglowego występują słone wody o podwyższonej promieniotwórczości naturalnej, związanej z występowaniem w nich izotopów radu. Wody te mogą powodować między innymi skażenie środowiska naturalnego, a efekty skażeń są od wielu lat przedmiotem badań i problem ten jest stosunkowo dobrze rozpoznany. Jednocześnie wody z płytko zalegających warstw wodonośnych są wodami o niskiej mineralizacji i niskich, a nawet bardzo niskich, stężeniach nuklidów promieniotwórczych. W niektórych przypadkach takie wody po uzdatnieniu są wykorzystywane jako wody pitne czy technologiczne w kopalniach.

Wydawać by się mogło, że w tych przypadkach nie pojawią się żadne problemy związane z promieniotwórczością naturalną. Jednakże, długotrwała filtracja wód zawierających nawet bardzo niskie stężenia takich nuklidów promieniotwórczych, jak izotopy radu czy uranu, może prowadzić do ich adsorpcji w materiałach filtracyjnych stacji uzdatniania wód i powstawania substancji o podwyższonej promieniotwórczości naturalnej. Problemy takie stwierdzono już w kilku krajach europejskich (Finlandii, Szwecji czy Austrii), a wstępne wyniki badań filtrów piaskowych ze stacji uzdatniania wód w kopalniach GZW potwierdzają istnienie takiego zjawiska. Dodatkowo, wody podziemne mogą zawierać podwyższone stężenia radonu, który w procesach uzdatniania jest zazwyczaj uwalniany do powietrza w stacji uzdatniania, co może powodować znaczący wzrost narażenia radiacyjnego pracujących tam ludzi. Takie procesy są długotrwałe i dlatego jest wskazane prowadzenie badań przez okres kilku lat, przede wszystkim w stacjach uzdatniania wód przy kopalniach węgla.

Natural radioactivity in the drinking water in Upper Silesia region

Abstract

Drinking Water Directive of European Union requires a monitoring of the quality of drinking waters in Member States, also measurements of natural radioactivity. Although only for H-3 the permissible level has been established directly (100 Bq/l), for other radionuclides the Total Indicative Dose (TID) due to its intake is 0.1 mSv/year.

For the monitoring of the drinking water quality a complex of methods for chemical preparation and measurements have been developed and implemented. It consists of following steps – at first, tritium analysis is done as well as gross alpha and gross beta activity is measured for each sample. For both of latter measurements liquid scintillation spectrometry with use of low level LS spectrometer Quantulus is applied. Afterwards, radium analysis is made, measurements are done for Ra-226 and Ra-228 simultaneously in LS spectrometer, preceded by chemical separation of radium from water sample with barium carrier. Simultaneously to radium measurement, Pb-210 analysis is done in all samples, after co-precipitation with stable lead carrier the resulting precipitate is mixed with gelling scintillator and measurement is performed with use of Quantulus. Also uranium determination is done, at first uranium is retained at anionic ion exchange resin, than purified by means of UTEVA resin (Triskem). Finally the electrodeposition of uranium is performed and resulting sample is measured by alpha spectrometry.

* Główny Instytut Górnictwa

** Wojewódzka Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna w Katowicach

Additionally, the most important artificial radionuclides are measured – Sr-90 (chemical preparation, than LSC) and Cs-137 (pre-concentration and low background gamma spectrometry). Preliminary results of investigations, performed in the Upper Silesia region (Southern Poland) are presented. Also assessment of dose for general public has been done.

1. WPROWADZENIE

Istnieje wiele międzynarodowych wytycznych i zaleceń, dotyczących jakości wód przeznaczonych do konsumpcji. Zalecenia te jednak najczęściej nie mają obowiązującej mocy prawnej. Dopiero każdy kraj, na ich podstawie, tworzy własne normy dotyczące jakości wody pitnej, z uwzględnieniem lokalnych uwarunkowań środowiskowych, ekonomicznych, geograficznych itp. Podobnie przedstawia się problem monitoringu promieniotwórczości wód pitnych, który wymaga rozwiązań na skalę całego kraju, zgodnych z przepisami UE. Dzięki monitoringowi można nie dopuszczać do spożywania wód o zbyt wysokiej radioaktywności, przy zastosowaniu odpowiednich metod ich uzdatniania, usuwać nuklidy promieniotwórcze, i tym samym przyczynić się do ochrony zdrowia i życia ludzkiego.

2. ZAKRES BADAŃ

Celem badań było opracowanie metod kontroli stężeń naturalnych i sztucznych nuklidów promieniotwórczych w wodach pitnych i zastosowanie ich w praktyce do ujęć wód pitnych oraz oszacowanie dawek dla ludzi, wynikających z obecności nuklidów promieniotwórczych. Dlatego szczególną uwagę zwrócono na ujęcia wód podziemnych, w których można było przewidywać występowanie podwyższonej promieniotwórczości naturalnej.

Opracowano metodykę badań różnych nuklidów promieniotwórczych w próbkach wód. Próbki zostały pobrane z ujęć wytypowanych przez pracowników GIG i Wojewódzkiej Stacji Sanitarnej-Epidemiologicznej (WSSE) i poddane badaniom. Następnie, na podstawie uzyskanych wyników, oszacowano ich wpływ na potencjalnych konsumentów.

3. PRZEGLĄD ZALECEŃ I WYMAGAŃ DOTYCZĄCYCH PROMIENIOTWÓRCZOŚCI WÓD PITNYCH

Jednym z wiodących autorytetów w dziedzinie jakości wody pitnej jest Światowa Organizacja Zdrowia (WHO). Podejście ekspertów z WHO, zgodnie z „Guidelines for Drinking Water Quality” (trzecie wydanie w 2004 r.) w sprawie promieniotwórczości jest dwuetapowe, a mianowicie:

- Najpierw należy wykonać wstępne badanie przesiewowe wód w celu określenia całkowitej aktywności alfa i/lub beta [Bq/l]. Jeżeli otrzymane wartości nie przekraczają 0,5 Bq/l dla całkowitej aktywności alfa oraz 1 Bq/l dla beta, nie jest wymagane podejmowanie dalszych analiz. Woda nadaje się do picia.
- W przypadku przekroczenia którejś z wartości, należy określić stężenie promieniotwórcze poszczególnych radionuklidów, a następnie oszacować sumaryczną dawkę pochodzącą od ich wchłonięcia. Jeżeli nie przekracza ona wartości 0,1 mSv/rok,

woda jest zdatna do picia. Jeżeli obliczona dawka przekracza zalecaną wartość, woda nie powinna być spożywana. W takim przypadku należy przeprowadzić dodatkowe procesy uzdatniania, w celu usunięcia nuklidów promieniotwórczych z wody.

W Unii Europejskiej aktami regulującymi w tej dziedzinie są dyrektywy, z których najważniejsza jest Dyrektywa dla Wód Pitnych uchwalona przez Komisję Europejską w 1998 r. (Dyrektywa... 1998). W dyrektywie nie zostały zróżnicowane nuklidy ze względu na pochodzenie (naturalne lub antropogeniczne), jak również nie określono wprost, które z izotopów radioaktywnych powinny być brane pod uwagę. Jedyny wyjątek stanowi izotop trytu ^3H , którego dopuszczalna wartość została wymieniona i powinna wynosić do 100 Bq/l.

W dyrektywie określono natomiast tak zwaną całkowitą dawkę wskaźnikową (TID – *total indicative dose*) wynoszącą 0,1 mSv/rok, pochodzącą od izotopów promieniotwórczych zawartych w wodzie. Na podstawie wartości obciążających dawek skutecznych podanych w Dyrektywie Rady Unii Europejskiej Nr 96/29 Euratom (Euratom 1996), w przypadku jednostkowego wniknięcia nuklidu promieniotwórczego, dla osób z poszczególnych grup wiekowych, przy założonym limicie dawki 0,1 mSv/rok, można wyliczyć maksymalne dopuszczalne stężenie aktywności danego izotopu w wodzie.

Dodatkowym aktem prawnym, określającym dopuszczalne zawartości nuklidów promieniotwórczych w wodach jest Dyrektywa 2001/928/Euratom pt. „The Protection of the Public against Exposure to Radon in Drinking Water Supplies” (Euratom 2001). Dotyczy ona dodatkowej ochrony społeczeństwa przed możliwymi skutkami wysokich stężeń radonu w wodach pitnych ze względu na możliwość podwyższonych stężeń tego nuklidu w powietrzu w mieszkaniach. W Dyrektywie tej są zawarte dwa poziomy stężeń radonu – referencyjny, równy 100 Bq/l i zaradczy – 1000 Bq/l. W przypadku przekroczenia poziomu referencyjnego jest wymagana kontrola stężeń radonu w mieszkaniach, do których jest dodatkowo dostarczana woda o takim stężeniu radonu, natomiast przy przekroczeniu 1000 Bq/l jest wymagane podjęcie środków w celu zmniejszenia stężenia radonu w uzdatnionej wodzie. W dyrektywie tej podano również dodatkowo poziomy referencyjne dla nuklidów pochodnych o długim okresie połowicznego zaniku, a więc ^{210}Pb i ^{210}Po . Wynoszą one: 200 mBq/l dla ^{210}Pb i 100 mBq/l dla ^{210}Po .

W Polsce istnieją również osobne przepisy dotyczące promieniotwórczości wód pitnych, które stanowią przeniesienie do polskiego prawodawstwa przepisów UE. Nie sprecyzowano w nich jednak jednoznacznie dopuszczalnej zawartości poszczególnych radionuklidów, z wyjątkiem trytu ^3H , dla którego wartość ta wynosi 100 Bq/l. Limit zawartości wszystkich pozostałych nuklidów został określony jako całkowita dopuszczalna dawka skuteczna, wynosząca 0,1 mSv/rok (Rozporządzenie 2007).

Dla Polski, jako członka Wspólnoty Europejskiej, szczególnie ważne jest uwzględnianie regulacji zawartych w Dyrektywie dla Wód Pitnych, powiązanej z Dyrektywą 96/29 Euratom. Łatwo zauważyć, że polskie przepisy zostały uchwalone w taki sposób, aby były przestrzegane zarządzenia obowiązujące w całej Unii Europejskiej.

4. OKREŚLANIE DOPUSZCZALNYCH STĘŻEŃ NUKLIDÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH W WODACH PITNYCH

Dopuszczalne stężenie nuklidów promieniotwórczych w wodach pitnych można określić na podstawie danych zawartych w Dyrektywie 96/29/Euratom. W Dyrektywie tej znajduje się zestawienie współczynników konwersji, umożliwiających obliczenie dawek efektywnych na podstawie wielkości wchłonięcia dla poszczególnych nuklidów promieniotwórczych. Współczynniki konwersji wchłonięcie/dawka dla wybranych nuklidów promieniotwórczych, jakie mogą występować w wodach pitnych, zestawiono w tabeli 1. Są to izotopy radu, uranu, izotop ^{210}Pb , nuklidy sztuczne ^{90}Sr i ^{137}Cs , a więc takie, jakie mogą występować w opadzie promieniotwórczym. W tabeli tej, oprócz współczynników konwersji, zamieszczono także dane dotyczące rocznego spożycia wody przez wszystkie grupy wiekowe, przyjęte na podstawie danych WHO (Guideline... 2004).

Tabela 1. Współczynniki konwersji i roczne spożycie wody przez różne grupy wiekowe

Nuklid	Spożycie wody						
	l/rok	250	350	350	350	540	730
	m ³ /rok	0,25	0,35	0,35	0,35	0,54	0,73
Grupa wiekowa							
		< 1 roku	1–2 lat	2–7 lat	7–12 lat	12–17 lat	dorośli
Współczynniki konwersji, Sv/Bq							
^{90}Sr		2,3E-07	7,3E-08	4,7E-08	6,0E-08	8,0E-08	2,8E-08
^{137}Cs		2,1E-08	1,2E-08	9,6E-09	1,0E-08	1,3E-08	1,3E-08
^{210}Pb		8,4E-06	3,6E-06	2,2E-06	1,9E-06	1,9E-06	6,9E-07
^{226}Ra		4,7E-06	9,6E-07	6,3E-07	8,0E-07	1,5E-06	2,8E-07
^{228}Ra		3,0E-05	5,7E-06	3,4E-06	3,9E-06	5,3E-06	6,9E-07
^{234}U		3,7E-07	1,3E-07	8,8E-08	7,4E-08	7,4E-08	4,9E-08
^{238}U		3,4E-07	1,2E-07	8,0E-08	6,8E-08	6,7E-08	4,5E-08

Przyjmując wielkość dopuszczalnej dawki skutecznej 0,1 mSv/rok (Rozporządzenie 2007) i stosując w obliczeniach współczynniki konwersji (tab. 1), można określić maksymalne dopuszczalne stężenia izotopów radu w wodach dla różnych grup wiekowych populacji konsumentów wody pitnej.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że dopuszczalne stężenia nuklidów promieniotwórczych w wodach należy, zgodnie z przepisami UE, obliczać dla różnych grup wiekowych, gdyż wartości współczynników konwersji, podane w Dyrektywie Euratom/29/96, są dla nich różne. Uproszczony sposób podejścia stosuje natomiast WHO, która zakłada, że zmiany współczynników konwersji są kompensowane różnicami w spożyciu wody i dlatego jest wystarczające wykonywanie obliczeń dla osób dorosłych.

Wyliczone limity wchłonięcia poszczególnych nuklidów promieniotwórczych, odpowiadające dawce skutecznej 0,1 mSv, podano w tabeli 2. Należy zwrócić szczególną uwagę na fakt, jak małe są limity wchłonięcia, szczególnie dla ^{228}Ra , ^{226}Ra i ^{210}Pb , a także na zależność wiekową, dla przykładu dla niemowląt limit wchłonięcia ^{228}Ra to jedynie 3,3 Bq/rok.

Tabela 2. Roczne limity wchłonięcia dla poszczególnych nuklidów promieniotwórczych, odpowiadające dawce rocznej 0,1 mSv

Nuklid	Grupa wiekowa					
	< 1 roku	1–2 lat	2–7 lat	7–12 lat	12–17 lat	dorośli
	Limity wchłonięcia, Bq/rok					
⁹⁰ Sr	434,8	1369,9	2127,7	1666,7	1250,0	3571,4
¹³⁷ Cs	4761,9	8333,3	10416,7	10000,0	7692,3	7692,3
²¹⁰ Pb	11,9	27,8	45,5	52,6	52,6	144,9
²²⁶ Ra	21,3	104,2	158,7	125,0	66,7	357,1
²²⁴ Ra	37,0	151,5	285,7	384,6	500,0	1538,5
²²⁸ Ra	3,3	17,5	29,4	25,6	18,9	144,9
²³⁴ U	270,3	769,2	1136,4	1351,4	1351,4	2040,8
²³⁸ U	294,1	833,3	1250,0	1470,6	1492,5	2222,2

Z danych, zamieszczonych w tabelach 1 i 2 wynika, że najbardziej znaczącymi nuklidami promieniotwórczymi w wodach pitnych są izotopy radu ²²⁸Ra i ²²⁶Ra oraz izotop ołowiu ²¹⁰Pb. Należy także podkreślić, że dla wszystkich grup wiekowych wchłonięcie ²²⁶Ra o takiej samej aktywności, jak ²²⁸Ra, powoduje otrzymanie mniejszej dawki skutecznej niż w przypadku drugiego izotopu.

Dopuszczalne stężenia poszczególnych nuklidów promieniotwórczych w wodach pitnych, wyliczone na podstawie założonego spożycia wody przez poszczególne grupy wiekowe, przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Stężenia dopuszczalne dla poszczególnych nuklidów w wodzie pitnej, obliczone dla dawki rocznej 0,1 mSv (Rozporządzenie 2007)

Nuklid	Grupa wiekowa					
	< 1 roku	1–2 lat	2–7 lat	7–12 lat	12–17 lat	dorośli
	Stężenia dopuszczalne w wodzie pitnej, mBq/l					
⁹⁰ Sr	1739	3914	6079	4762	2315	4892
¹³⁷ Cs	19 048	23 810	29 762	28 571	14 245	10 537
²¹⁰ Pb	48	79	130	150	97	199
²²⁶ Ra	85	298	454	357	123	489
²²⁴ Ra	148	433	816	1099	926	2107
²²⁸ Ra	13	50	84	73	35	199
²³⁴ U	1081	2198	3247	3861	2503	2796
²³⁸ U	1176	2381	3571	4202	2764	3044

Z danych zawartych w tabeli wynika, że najważniejszym nuklidem promieniotwórczym w wodach pitnych jest ²²⁸Ra. Do tej pory jednak najczęściej oznaczano w takich wodach stężenie ²²⁶Ra, gdyż jego pomiar jest prostszy i dla tego izotopu istnieje wiele metod, umożliwiających pomiary niskich stężeń. Bardziej skomplikowana jest sprawa pomiarów izotopu ²²⁸Ra, który jest emitentem niskoenergetycznego promieniowania beta. Tylko w nielicznych laboratoriach pomiarowych jest oznaczany ten izotop w wodach nawet w bardzo małych ilościach. Ale nawet w takich przypadkach trudno osiągnąć odpowiedni próg detekcji dla próbek wodnych. W Laboratorium Radiometrii GIG przy pomiarach rutynowych wód kopalnianych (objętość próbki 1 l, czas pomiaru 1 godz.) dolny próg detekcji dla ²²⁸Ra wynosi 0,040 kBq/m³. Z porównania tej wartości z obliczonymi dopuszczalnymi wartościami stężeń tego izotopu

w wodzie pitnej dla grup krytycznych – 0,013 kBq/m³ dla niemowląt i 0,035 kBq/m³ dla nastolatków (12–17 lat), wynika, że w przypadku takich oznaczeń konieczne było zastosowanie niestandardowych procedur pomiarowych, przy zwiększonej objętości badanych próbek i/lub wydłużonym czasie pomiarów. Porównanie to uzmysławia, dlaczego kwestia opracowania i wdrożenia odpowiednich metod pomiarowych w laboratoriach zajmujących się monitoringiem środowiska jest sprawą bardzo ważną.

5. WYNIKI BADAŃ

Do badań pobrano 20 próbek wód pitnych – surowych i po uzdatnieniu – które poddano analizom pod względem zawartości izotopów promieniotwórczych, zgodnie z wymaganiami zawartymi w Dyrektywie dla Wód Pitnych. Pobierane wody pochodziły zarówno z ujęć powierzchniowych, jak i podziemnych.

We wszystkich przypadkach objętość pobieranych próbek wynosiła 20 l, a po ich częściowym odparowaniu w próbkach tych oznaczano stężenia wybranych nuklidów. Wyniki badań przedstawiono w tabelach 4 i 5.

Na ich podstawie określono następujące prawidłowości:

- W wodach z ujęć powierzchniowych (Goczałkowice, Dzieńkówice, Maczki) występuje jedynie tryt i uran, jednak w bardzo niskich stężeniach, szczególnie w przypadku izotopów uranu. Dla innych nuklidów promieniotwórczych nie były przekroczone progi detekcji metod badawczych.
- W wodach z ujęć podziemnych wyraźnie były podwyższone stężenia izotopów radu lub/i uranu. Efekt taki występował w wodach surowych praktycznie we wszystkich tych ujęciach.
- W większości ujęć podziemnych są stosowane metody uzdatniania w celu usunięcia żelaza i manganu (aeracja). W wyniku tego część izotopów radu jest usuwana z wód pitnych, dzięki czemu ich stężenia w wodach uzdatnionych są niższe niż w wodach surowych, a szacowane dawki skuteczne także mniejsze.
- Aeracja nie wpływa na stężenia izotopów uranu, jednak najczęściej to nie one mają największy udział w dawce efektywnej. Ponadto, należy podkreślić, że chemotoksyczność uranu jest znacząco większa od jego radiotoksyczności. Zalecane przez WHO dopuszczalne stężenie wagowe uranu w wodzie to 15 µg/l, co odpowiada 180 mBq/l, a wyliczone na podstawie dyrektywy dopuszczalne stężenie wynosi ponad 1000 mBq/l dla niemowląt, jest zatem ponad pięciokrotnie większe.
- Nie zawsze metody uzdatniania są wystarczająco efektywne do usuwania izotopów radu z uzdatnianych wód. Uzdatnianie powoduje niewielkie zmniejszenie stężeń izotopów radu w wodach uzdatnionych, jednakże niewystarczające do zapewnienia odpowiednich parametrów wód kierowanych do sieci wodociągowej. Najlepszym tego przykładem jest ujęcie „Jarosław Dąbrowski” w Jaworznie, gdzie, mimo zastosowania metod uzdatniania, jedynie około 20–25% radu udało się usunąć z wód surowych, a tym samym jego stężenie w wodzie uzdatnionej nadal pozostało podwyższone.

Tabela 4. Wyniki pomiarów dla badanych próbek wód

Pochodzenie próbki	Tryt Bq/l	δ Tryt	Total α Bq/l	δ Tot α	Total β Bq/l	δ Tot β	¹³⁷ Cs mBq/l	δ ¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr mBq/l	δ ⁹⁰ Sr
Tychy – z sieci	2,3	1,7	0,07	0,02	0,16	0,02	30,0	8,0	< 15,0	–
Pszczyna – z sieci	2,0	1,7	0,05	0,01	0,17	0,02	20,0	8,0	< 15,0	–
Goczałkowice – surowa	< 1,6	–	0,05	0,01	0,17	0,01	20,0	8,0	< 15,0	–
Dzieńkowice – uzdatniona	1,9	1,7	0,06	0,03	0,16	0,01	< 8,0	–	< 15,0	–
Dzieńkowice – surowa	1,7	1,6	0,06	0,01	0,16	0,01	< 8,0	–	< 15,0	–
Mikołów – z sieci	< 1,6	–	0,06	0,01	0,16	0,01	< 8,0	–	< 15,0	–
Konopisko – surowa	< 1,6	–	0,04	0,02	0,21	0,01	< 8,0	–	< 15,0	–
Konopisko – uzdatniona	< 1,6	–	0,08	0,02	0,19	0,02	< 8,0	–	< 15,0	–
Niegowonice – surowa	< 1,6	–	0,14	0,02	0,21	0,03	< 8,0	–	< 15,0	–
Niegowonice – uzdatniona	< 1,6	–	0,12	0,01	0,22	0,01	< 8,0	–	< 15,0	–
SUW Maczki – surowa	< 1,6	–	0,06	0,03	0,16	0,01	< 8,0	–	< 15,0	–
SUW Maczki – uzdatniona	< 1,6	–	0,04	0,01	0,18	0,01	< 8,0	–	< 15,0	–
„J. Dąbrowski” – uzdatniona	< 1,6	–	0,11	0,02	0,24	0,02	< 8,0	–	< 15,0	–
„J. Dąbrowski” – surowa	< 1,6	–	0,11	0,02	0,24	0,01	< 8,0	–	< 15,0	–
SUW Bielszowice – surowa	< 1,6	–	0,08	0,02	0,33	0,01	< 8,0	–	< 15,0	–
SUW Bielszowice – uzdatniona	< 1,6	–	0,12	0,03	0,27	0,03	< 8,0	–	< 15,0	–
Łabędy – surowa	< 1,6	–	0,11	0,01	0,23	0,01	< 8,0	–	< 15,0	–
Łabędy – uzdatniona	< 1,6	–	0,1	0,01	0,22	0,02	< 8,0	–	< 15,0	–
Zwonowice – surowa	< 1,6	–	0,02	0,02	0,21	0,01	< 8,0	–	< 15,0	–
Zwonowice – uzdatniona	< 1,6	–	0,05	0,02	0,17	0,01	< 8,0	–	< 15,0	–
	LLD ³ H	1,6	mBq/l	–	–	–	LLD ¹³⁷ Cs	8,0	LLD ⁹⁰ Sr	15,0

Tabela 5. Wyniki pomiarów dla badanych próbek wód

Pochodzenie próbki	²²⁶ Ra mBq/l	δ ²²⁶ Ra	²²⁸ Ra	δ ²²⁸ Ra mBq/l	²¹⁰ Pb	δ ²¹⁰ Pb	²³⁸ U mBq/l	δ ²³⁸ U	²³⁴ U mBq/l	δ ²³⁴ U
Tychy – z sieci	< 1,1	–	< 6,6	–	< 3,2	–	0,10	0,09	0,10	0,09
Pszczyna – z sieci	< 1,1	–	< 6,6	–	< 3,2	–	< 0,05	–	< 0,05	–
Goczałkowice – surowa	< 1,1	–	< 6,6	–	< 3,2	–	1,01	0,32	1,18	0,35
Dzieńkowice – uzdatniona	< 1,1	–	< 6,6	–	< 3,2	–	0,64	0,15	0,92	0,19
Dzieńkowice – surowa	< 1,1	–	< 6,6	–	< 3,2	–	0,99	0,18	2,19	0,31
Mikołów – z sieci	< 1,1	–	< 6,6	–	< 3,2	–	0,36	0,10	0,56	0,14
Konopisko – surowa	27,9	3,0	18,9	10,0	3,3	3,3	0,76	0,16	7,02	0,79
Konopisko – uzdatniona	12,6	2,0	< 6,6	–	4,0	3,3	0,15	0,04	0,42	0,07
Niegowonice – surowa	60,2	5,0	12,7	10,0	5,7	3,4	11,48	0,82	18,70	1,29
Niegowonice – uzdatniona	60,9	5,0	< 6,6	–	5,1	3,3	11,27	0,65	18,31	1,03
SUW Maczki – surowa	< 1,1	–	< 6,6	–	< 3,2	–	8,72	0,62	14,33	0,97
SUW Maczki – uzdatniona	< 1,1	–	< 6,6	–	< 3,2	–	6,55	0,55	11,76	0,92
„J. Dąbrowski” – uzdatniona	25,8	3,0	65,6	20,0	3,5	3,3	4,59	0,57	11,75	1,26
„J. Dąbrowski” – surowa	33,8	4,0	88,0	20,0	3,6	3,3	3,56	0,37	9,11	0,81
SUW Bielszowice – surowa	42,1	4,0	48,0	20,0	3,7	3,3	3,87	0,48	8,39	0,89
SUW Bielszowice – uzdatniona	15,3	2,0	17,8	10,0	< 3,2	–	3,70	0,34	8,26	0,66
Łabędy – surowa	17,0	2,0	13,3	10,0	3,3	3,3	31,60	2,44	58,23	4,41
Łabędy – uzdatniona	11,2	2,0	8,7	7,6	3,3	3,3	34,19	2,52	60,77	4,40
Zwonowice – surowa	5,0	1,5	< 6,6	–	< 3,2	–	0,09	0,05	0,25	0,05
Zwonowice – uzdatniona	< 1,1	–	< 6,6	–	< 3,2	–	0,08	0,05	0,11	0,05
	LLD ²²⁶ Ra=	1,1	mBq/l	LLD ²¹⁰ Pb	3,2	mBq/l	LLD ²³⁸ U=	0,05	mBq/l	
	LLD ²²⁸ Ra=	6,6	mBq/l	–	–	–	LLD ²³⁴ U=	0,05	mBq/l	

- Przyjmując zalecenia WHO (dokonując obliczeń dawek tylko dla osób dorosłych) można zauważyć, że dla każdej z badanych wód limit dawki 0,1 mSv/rok nie był przekroczony. Ponadto, badania przesiewowe, zgodnie z zaleceniami WHO, czyli pomiar stężenia całkowitej aktywności nuklidów alfa- (w tabelach opisanej jako total alfa) i betapromieniotwórczych (total beta), także wyniki badań dla wszystkich badanych wód, spełniają wymogi, aby można było zaklasyfikować je jako wody

zdatne do picia, gdyż całkowita aktywność alfa nie przekracza w żadnej z nich 0,5 Bq/l, a całkowita aktywność beta – 1 Bq/l. W przypadku niektórych badanych wód była przekroczona wartość wskaźnika całkowitej aktywności alfa, ustalona przez Państwową Agencję Atomistyki (0,1 Bq/l). Tyle tylko, że zgodnie z zaleceniami PAA, w takich przypadkach są wymagane badania stężeń ^{226}Ra , ^{238}U i ^{234}U , a pomijane ^{228}Ra , który w przypadku ujęcia „Jarosław Dąbrowski” w Jaworznie stanowi około 90% wartości dawki.

6. ANALIZA WYNIKÓW – PODSUMOWANIE

Na podstawie otrzymanych wyników badań oszacowano dawki, jakie mogą otrzymywać osoby pijące takie wody.

Wyniki oszacowań zostały przedstawione w postaci zbiorczej tabeli 6. Poza wartościami dawek efektywnych dla poszczególnych grup wiekowych w tabeli tej zamieszczono także wyniki pomiarów całkowitej aktywności alfa i beta tych próbek.

Tabela 6. Oszacowanie dawek dla poszczególnych grup wiekowych, mogących spożywać badane wody

Lp.	Pochodzenie próbki	Total α	Total β	< 1 roku	1–2 lat	2–7 lat	7–12 lat	12–17 lat	Dorośli
1	Tychy – z sieci	0,07	0,16	0,0586	0,0181	0,0109	0,0119	0,0239	0,0058
2	Pszczyna – z sieci	0,05	0,17	0,0586	0,0181	0,0109	0,0119	0,0239	0,0058
3	Goczałkowice – surowa	0,05	0,17	0,0586	0,0181	0,0109	0,0119	0,0239	0,0058
4	Dzieńkowice – uzdatniona	0,06	0,16	0,0586	0,0181	0,0109	0,0119	0,0239	0,0058
5	Dzieńkowice – surowa	0,06	0,16	0,0586	0,0181	0,0109	0,0119	0,0239	0,0058
6	Mikołów – z sieci	0,06	0,16	0,0586	0,0181	0,0109	0,0119	0,0239	0,0058
7	Konopiska – surowa	0,04	0,21	0,1830	0,0520	0,0317	0,0363	0,0811	0,0175
8	Konopiska – uzdatniona	0,08	0,19	0,0737	0,0229	0,0140	0,0156	0,0339	0,0083
9	Niegowonice – surowa	0,14	0,21	0,1804	0,0539	0,0336	0,0388	0,0923	0,0226
10	Niegowonice – uzdatniona	0,12	0,22	0,1353	0,0418	0,0263	0,0305	0,0753	0,0197
11	SUW Maczki – surowa	0,06	0,16	0,0604	0,0190	0,0115	0,0124	0,0246	0,0062
12	SUW Maczki – uzdatniona	0,04	0,18	0,0600	0,0188	0,0114	0,0122	0,0245	0,0062
13	„J. Dąbrowski” – uzdatniona	0,11	0,24	0,5320	0,1451	0,0872	0,0998	0,2135	0,0410
14	„J. Dąbrowski” – surowa	0,11	0,24	0,7093	0,1924	0,1156	0,1326	0,2841	0,0539
14a	Dąbrowski – uzdatniona z sieci	–	–	0,2957	0,0822	0,0497	0,0568	0,1234	0,0251
15	SUW Bielszowice – surowa	0,08	0,33	0,4192	0,1155	0,0699	0,0804	0,1764	0,0354
16	SUW Bielszowice – uzdatniona	0,12	0,27	0,1601	0,0456	0,0276	0,0313	0,0678	0,0145
17	Łabędy – surowa	0,11	0,23	0,1354	0,0407	0,0250	0,0277	0,0593	0,0153
18	Łabędy – uzdatniona	0,1	0,22	0,0946	0,0298	0,0184	0,0199	0,0416	0,0119
19	Zwonowice – surowa	0,02	0,21	0,063	0,0193	0,0117	0,0129	0,0269	0,0064
20	Zwonowice – uzdatniona	0,05	0,17	0,0586	0,0181	0,0109	0,0119	0,0239	0,0058

W przypadku **żadnej** z badanych próbek nie zostały przekroczone wartości 0,5 Bq/l całkowitej aktywności alfa oraz 1,0 Bq/l całkowitej aktywności beta zalecane przez WHO. A pomimo tego oszacowane wartości dawek skutecznych przekraczały w niektórych przypadkach limit 0,1 mSv/rok (zielone pola w tab. 6). Biorąc pod uwagę wymagania stawiane przez Państwową Agencję Atomistyki, sytuacja jest znacznie lepsza – w większości przypadków przekroczenie 0,1 Bq/l w przypadku całkowitej aktywności alfa wskazywało na możliwość przekroczenia limitu rocznego dawki skutecznej. Niemniej w dwóch przypadkach zmierzone wartości całkowitej aktywności alfa były mniejsze od wartości wskaźnikowej, a rozszerzone badania danej próbki

wykazały, że w niektórych grupach wiekowych istnieje możliwość przekroczenia dawki 0,1 mSv/rok.

Największe wartości oszacowanej dawki skutecznej uzyskano w przypadku próbek wód z ujęcia podziemnego „Jarosław Dąbrowski” w Jaworznie. Badania wykazały, że uzdatnianie spowodowało jedynie niewielką poprawę parametrów wody – przed uzdatnianiem oszacowana dawka dla niemowląt wynosiła 0,70 mSv/rok, a dla wody uzdatnionej wartość dawki zmniejszyła się do 0,53 mSv/rok. Dla nastolatków wartość 0,1 mSv/rok również była przekroczona. Dlatego ponownie pobrano próbkę wody pochodzącą z tego ujęcia z sieci wodociągowej w Jaworznie i ponownie oznaczono stężenia izotopów radu (próbka 14a w tab. 6). Uzyskano wartości nieco mniejsze niż we wcześniej badanych próbkach. Pomimo tego, 0,1 mSv/rok może być przekroczone, jeżeli wody będą wykorzystywane jako pitne dla niemowląt (0,3 mSv/rok) czy nastolatków (0,12 mSv/rok). Należy wobec tego rozważyć, czy można poprawić efekty uzdatniania, a w przypadku niemożności oczyszczenia wód z radu, należałoby podjąć decyzję czy zamknąć ujęcie, czy mieszać jego wody z wodami z ujęć powierzchniowych (na przykład z SUW Maczki).

Praca została zrealizowana w ramach działalności statutowej Głównego Instytutu Górnictwa.

Literatura

1. Chałupnik (2007): Rad w wodach kopalń węgla kamiennego na Górnym Śląsku – metody badań, ocena wpływu na środowisko, zapobieganie skażeniom. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa nr 870.
2. Chałupnik S., Lebecka J. (1993): Determination of ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{224}Ra in water and aqueous solutions by liquid scintillation counting. Liquid Scintillation Spectrometry 1992. Radiocarbon, Tuscon, Arizona, USA.
3. Chmielewska I., Chałupnik S., Bokori E. (2009): Application of calcium carrier to avoid losses of ^{90}Sr during the chemical preparation of liquid samples for Liquid Scintillation Spectrometry. Conference on Advances in LSC. Radiocarbon, Tuscon, Arizona, USA.
4. Dyrektywa dla Wód Pitnych (1998): Drinking Water Directive 98/83/EC, European Commission.
5. Euratom (1996): EU Council Directive 96/29/Euratom: The EC Basic Safety Standards (tłumaczenie na język polski: Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna T. 29, nr 4).
6. Euratom (2001): Directive 2001/928/Euratom. The Protection of the Public against Exposure to Radon in Drinking Water Supplies.
7. Guideline for Drinking Water Quality, third edition. Geneva, WHO 2004.
8. Jobbagy V., Chmielewska I., Kovacs T., Chałupnik S. (2009): Uranium determination in water samples with elevated salinity from Southern Poland by micro co-precipitation using alpha spectrometry. Microchemical Journal Vol. 93, s. 200–205.
9. Martin P., Hancock G.J. (2004): Routine analysis of naturally occurring radionuclides in environmental samples by alpha-particle spectrometry. Supervising Scientist Report 180. Darwin, Supervising Scientist.
10. Michalik B., Chałupnik S., Skubacz K. (2002) Contamination of settling ponds of coal mines, caused by natural radionuclides. II International Symposium on Technologically Enhanced Natural Radiation, Technical Report IAEA-TECDOC-1271. Vienna, IAEA.

11. Prawo atomowe (2000): Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. Dz. U. z 2001 r. nr 3, poz. 18, z późn. zm.
12. Risica S., Grande S. (2000): Council Directive 98/83/EC on the Quality of Water Intended for Human Consumption: Calculation of Derived Activity Concentrations. *Rapporti ISTISAN 00/16*.
13. Rozporządzenie (2007): Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Dz. U. z 2007 r. nr 61, poz. 417.
14. Vajda N., Ghods-Esphanhani A., Cooper E., Danesi P.R. (1992): Determination of radiostrontium in soil using a crown ether. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* Vol. 162, No 2, s. 307–323.
15. Warwick P.E., Croudance I.W., Dale A.A. (1999): An optimized and robust method for the determination of uranium and plutonium in aqueous samples. *Applied Radiation and Isotopes* Vol. 50, s. 579–583.

Recenzent: dr Krzysztof Mitko