

Nuklidy promieniotwórcze w wodach pitnych na Śląsku

Dla nas ludzi woda stanowi szczególną wartość w życiu codziennym. Służy jako środek do podtrzymywania i zaspakajania funkcji życiowych. Ma również swój niezmierny wkład w rozwój gospodarczy i postęp techniczny współczesnego świata.

Istnieje wiele różnych międzynarodowych wytycznych i zaleceń, mówiących o jakości wód przeznaczonych do ludzkiej konsumpcji. Zalecenia te jednak najczęściej nie mają obowiązującej mocy prawnej. Dopiero każdy indywidualny kraj w oparciu o nie tworzy własne normy dotyczące jakości wody pitnej, biorąc pod uwagę swoje lokalne uwarunkowania środowiskowe, ekonomiczne, geograficzne itp. Podobnie wygląda problem monitoringu promieniotwórczości wód pitnych, która to dziedzina wymaga rozwiązań na skalę całego kraju, zgodnych z przepisami UE. A przecież dzięki monitoringowi można nie dopuszczać do spożycia wód o zbyt wysokiej radioaktywności, przy zastosowaniu odpowiednich metod uzdatniania usuwać nuklidy promieniotwórcze z wód, i tym samym przyczyniać się do ochrony zdrowia i życia ludzkiego.

Specjaliści Głównego Instytutu Górniczego w Katowicach w 2009 roku przeprowadzili badania, których celem było opracowanie metod kontroli stężeń naturalnych i sztucznych nuklidów promieniotwórczych w wodach pitnych, praktyczne ich zastosowanie do badań 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. W ramach pracy opracowano metodykę badań różnych nuklidów promieniotwórczych w próbkach wód, wykonano pobór próbek z wytypowanych wraz z Wojewódzką Stacją Sanitarno-Epidemiologiczną (WSSE) ujęć, przeprowadzono ich badania a następnie oszacowano ich wpływ na potencjalnych konsumentów.

Artykuł zawiera wyniki badań niektórych ujęć wód pitnych na Górnym Śląsku i został przesłany do publikacji w *Postęпах Techniki Jądrowej*. Monitoring wód prowadzony był przez Laboratorium Radiometrii Głównego Instytutu Górniczego we współpracy z Wojewódzką Stacją Sanitarno-Epidemiologiczną w Katowicach, zgodnie z wymaganiami *Dyrektywy dla Wód Pitnych* [Drinking Water Directive, 1998] a zarazem Rozporządzeniem Ministra Zdrowia [Rozporządzenie, 2007].

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 2004r.] w sprawie promieniotwórczości jest dwuetapowe: wstępne badanie przesiewowe w celu określenia całkowitej aktywności alfa i/lub beta [w 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 tym wypadku należy przeprowadzić dodatkowe procesy uzdatniania, mające na celu usunięcie nuklidów promieniotwórczych z wody.

W Unii Europejskiej aktami regulującymi tę tematykę są dyrektywy, z których najważniejsza jest *Dyrektywa dla Wód Pitnych* uchwalona przez Komisję Europejską w 1998 roku [Drinking

Water Directive, 1998]. Dyrektywa nie różnicuje nuklidów ze względu na pochodzenie (naturalne lub antropogeniczne), jak również nie określa wprost, które z izotopów radioaktywnych powinny być brane pod uwagę. Jedyne wyjątek stanowi izotop trytu ^3H , którego dopuszczalna wartość jest wymieniona wprost i wynosi 100 Bq/l.

Dyrektywa określa natomiast tak zwaną całkowitą dawkę wskaźnikową (*ang. TID – total indicative dose*) na poziomie 0,1 mSv/rok od izotopów promieniotwórczych zawartych w wodzie. Korzystając z wartości obciążających dawek skutecznych (podanych w *Dyrektywie Rady Unii Europejskiej Nr 96/29 Euratom*) [Euratom, 1996], dla 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*, zatytułowana *The Protection of the Public against Exposure to Radon in Drinking Water Supplies* [Dyrektywa 2001/928/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 mieszkań, gdzie takie wody są używane do celów toaletowych. W Dyrektywie tej zawarte są dwa poziomy stężeń radonu - *referencyjny*, równy 100 Bq/l i *zaradczy* - 1000 Bq/l. W przypadku przekroczenia poziomu referencyjnego, wymagana jest dodatkowo kontrola stężeń radonu w mieszkaniach, do których dostarczana jest woda o takim stężeniu radonu, natomiast przy przekroczeniu 1000 Bq/l wymagane jest podjęcie środków w celu obniżenia stężenia radonu w uzdatnionej wodzie. Dyrektywa ta podaje również dodatkowo poziomy referencyjne dla nuklidów pochodnych o długim okresie połowicznego zaniku, a więc ^{210}Pb i ^{210}Po . Poziomy te wynoszą odpowiednio 200 mBq/l dla ^{210}Pb i 100 mBq/l dla ^{210}Po .

W Polsce istnieją również osobne przepisy dotyczące promieniotwórczości wód pitnych, które są przeniesieniem do polskiego prawodawstwa przepisów UE. Nie precyzują one jednoznacznie dopuszczalnej zawartości poszczególnych radionuklidów, z wyjątkiem trytu ^3H , dla którego wartość ta wynosi 100 Bq/l. Limit poziomu wszystkich pozostałych nuklidów został określony jako całkowita dopuszczalna dawka skuteczna, wynosząca 0,1 mSv/rok [Rozporządzenie Ministra Zdrowia, 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 ten sposób, by przestrzegać zarządzeń obowiązujących w całej Unii Europejskiej.

Określenie dopuszczalnych stężeń nuklidów promieniotwórczych w wodach pitnych

Określenie dopuszczalnych stężeń nuklidów promieniotwórczych w wodach pitnych można wykonać na podstawie danych z *Dyrektywy 96/29/Euratom*. W tej Dyrektywie opublikowano zestawienie współczynników konwersji z wchłonięcia na dawkę efektywną dla wszystkich nuklidów promieniotwórczych. W tabeli 1 zamieszczono współczynniki konwersji wchłonięcie/dawka dla wybranych nuklidów promieniotwórczych, jakie mogą występować w wodach pitnych. Są to izotopy radu, uranu, izotop ołowiu ^{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 dla wszystkich grup wiekowych, przyjęte na podstawie danych WHO [WHO, 2004].

Tabela 1. Współczynniki konwersji i wielkość rocznego spożycia wody dla różnych grup wiekowych

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
Współczynniki konwersji				Sv/Bq			
Grupa wiekowa	< 1 roku	1-2 lat	2-7 lat	7-12 lat	12-17 lat	Dorośli	
Nuklid							
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 przeliczeniowe z wchłonięcia na dawkę (tabela 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 obliczyć dla różnych grup wiekowych, gdyż wartości współczynników konwersji z Dyrektywie Euratom/29/96 dla nich różne. Uproszczony sposób podejścia stosuje natomiast WHO, które zakłada że zmiany współczynników konwersji są kompensowane różnicami w spożyciu wody i dlatego wystarczające jest wykonanie obliczeń dla osób dorosłych.

Tabela 2 zawiera z kolei wyliczone limity wchłonięć poszczególnych nuklidów promieniotwórczych, odpowiadające dawce skutecznej 0,1 mSv. Należy zwrócić szczególną uwagę na fakt, jak niskie są limity wchłonięć szczególnie dla ²²⁸Ra, ²²⁶Ra i ²¹⁰Pb. A przede wszystkim na zależność wiekową tych wartości, dla przykładu dla niemowląt limit wchłonięcia ²²⁸Ra to jedynie 3,3 Bq na rok.

Tabela 2. Roczne limity wchłonięć w bekerelach (Bq) dla poszczególnych nuklidów promieniotwórczych, odpowiadające dawce rocznej 0,1 mSv

Grupa wiekowa	< 1 roku	1-2 lat	2-7 lat	7-12 lat	12-17 lat	Dorośli
Nuklid						
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 niższej dawki skutecznej niż w przypadku tego drugiego izotopu.

Tabela 3 zawiera wyliczone na podstawie założonego spożycia wody przez poszczególne grupy wiekowe, dopuszczalne stężenia poszczególnych nuklidów promieniotwórczych w wodach pitnych.

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

Stężenia dopuszczalne w wodzie pitnej	Bq/m ³		mBq/l			
Grupa wiekowa	< 1 roku	1-2 lat	2-7 lat	7-12 lat	12-17 lat	Dorośli
Nuklid						
⁹⁰ Sr	1739	3914	6079	4762	2315	4892
¹³⁷ Cs	19048	23810	29762	28571	14245	10537
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

Jak widać z powyższych danych, najważniejszym nuklidem promieniotwórczym w wodach pitnych jest ²²⁸Ra. Prowadzi to do pewnych konsekwencji pomiarowych, związanych z monitoringiem wód rzecznych czy pitnych. Do tej pory najczęściej oznaczano w takich wodach stężenie ²²⁶Ra, gdyż jego pomiar jest prostszy i dla tego izotopu istnieje wiele metod pomiarowych, umożliwiających pomiary niskich stężeń tego izotopu w wodach. Bardziej skomplikowana jest sprawa pomiarów izotopu ²²⁸Ra, który jest emitentem niskoenergetycznego promieniowania beta. Tylko nieliczne laboratoria pomiarowe zajmują się oznaczaniem tego izotopu w wodach na poziomie środowiskowym. Ale nawet w takich przypadkach trudno osiągnąć jest odpowiedni poziom detekcji dla próbek wodnych. W naszym laboratorium przy pomiarach rutynowych wód kopalnianych (objętość próbki 1 litr, czas pomiaru 1 godzina) dolny próg detekcji dla ²²⁸Ra wynosi 0.040 kBq/m³. Porównując to z wyliczonymi dopuszczalnymi stężeniami tego izotopu w wodzie pitnej dla grup krytycznych – 0.013 kBq/m³ dla niemowląt i 0.035 kBq/m³ dla nastolatków (12-17 lat), widać wyraźnie, że dla takich oznaczeń konieczne było zastosowanie niestandardowych procedur pomiarowych, przy zwiększonej objętości próbek badanych i/lub wydłużeniu czasu pomiaru. Porównanie to

uzmysławia, dlaczego kwestia opracowania i wdrożenia odpowiednich metod pomiarowych w laboratoriach zajmujących się monitoringiem środowiska jest sprawą bardzo ważną.

Wyniki badań

W trakcie badań pobrano 20 próbek wód pitnych – surowych i po uzdatnianiu – dla których wykonano analizy zawartości izotopów promieniotwórczych, zgodnie z wymaganiami Dyrektywy dla Wód Pitnych. Pobierane wody pochodziły zarówno z ujęć powierzchniowych jak i podziemnych.

W tabelach 4 i 5 przedstawiono wyniki badań dla próbek wód pobranych do badań. We wszystkich tych przypadkach objętość pobieranych próbek wynosiła 20 litrów, a po ich częściowym odparowaniu w próbkach tych oznaczano stężenia wybranych nuklidów.

Wyniki badań próbek pobranych z ujęć wód pitnych na terenie Śląska wskazują na następujące prawidłowości:

W wodach z ujęć powierzchniowych (Goczałkowice, Dzieńkowice, 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 widać wyraźnie podwyższone stężenia izotopów radu lub/i uranu. I efekt ten występuje w wodach surowych praktycznie wszystkich tych ujęć.

W większości ujęć podziemnych stosowane są metody uzdatniania, mające na celu usunięcie żelaza i manganu (aeracja). Efektem 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 skuteczną także są niższe.

Aeracja nie wpływa na stężenia izotopów uranu, jednak najczęściej to nie one wnoszą największy udział do dawki 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 stężenie dopuszczalne wynosi ponad 1000 mBq/l dla niemowląt, jest zatem ponad 5-cio krotnie wyższe.

Nie zawsze metody uzdatniania są wystarczająco efektywne dla usunięcia izotopów radu z uzdatnianych wód. Powoduje to niewielki spadek stężeń izotopów radu w wodach uzdatnionych, jednakże niewystarczający dla zapewnienia odpowiednich parametrów w wodach kierowanych do sieci wodociągowej. Najlepszym tego przykładem jest ujęcie Dąbrowski w Jaworznie, gdzie pomimo zastosowania metod uzdatniania, jedynie około 20-25% radu jest usuwane z wód surowych, a tym samym stężenia w wodzie uzdatnionej są nadal podwyższone.

Przyjmując zalecenia WHO (a więc dokonując obliczenia dawek tylko dla osób dorosłych) można zauważyć, że dla każdej z badanych wód limit dawki 0,1 mSv/rok nie jest przekroczony. Co więcej, stosując badania przesiewowe zgodnie z zaleceniami WHO, czyli mierząc stężenia całkowitej aktywności nuklidów alfa (w tabelach opisanej jako total alfa) i beta promieniotwórczych (total beta), także wyniki badań dla wszystkich badanych wód spełniają wymogi zaklasyfikowania ich jako wody zdatne do picia, gdyż całkowita aktywność alfa nie przekracza w żadnej z nich 0,5 Bq/l a całkowita aktywność beta nie przekracza 1 Bq/l. Dla niektórych z badanych wód przekroczony jest poziom wskaźnikowy całkowitej aktywności alfa ustalony przez Państwową Agencję Atomistyki - PAA (0,1 Bq/l). Tyle tylko, że zalecenia PAA stawiają wymóg badania w takich przypadkach stężeń ^{226}Ra , ^{238}U i ^{234}U a pomijają ^{228}Ra , który w przypadku ujęcia Dąbrowski w Jaworznie wnosi do dawki około 90 procent jej wartości.

Tabela 4. Wyniki pomiarów dla badanych próbek wód

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

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

Analiza wyników - podsumowanie

Na podstawie otrzymanych wyników badań wykonano oszacowania dawek, jakie mogą otrzymywać osoby, używające takich wód jako wody pitnej.

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

Należy zwrócić uwagę na fakt, że dla żadnej z badanych próbek nie został przekroczony poziom zalecany przez WHO, a więc 0,5 Bq/l całkowitej aktywności alfa oraz 1,0 Bq/l całkowitej aktywności beta. A pomimo to oszacowane wartości dawek skutecznych przekraczają w niektórych przypadkach limit 0,1 mSv/rok. Biorąc pod uwagę wymagania Państwowej Agencji Atomistyki, sytuacja wygląda znacznie lepiej – w większości przypadków przekroczenie poziomu 0,1 Bq/l dla całkowitej aktywności alfa wskazuje na możliwość przekroczenia limitu rocznego dawki skutecznej. Niemniej w dwóch przypadkach zmierzone wartości całkowitej aktywności alfa były poniżej wartości wskaźnikowej, a rozszerzone badania dla danej próbki wykazały, że dla niektórych grup wiekowych może istnieć możliwość, że dawka 0,1 mSv/rok byłaby przekroczona.

Największe wartości oszacowanej dawki skutecznej uzyskano dla próbek wód z ujęcia podziemnego Dąbrowski w Jaworznie. W tym przypadku oszacowania wykazały, że uzdatnianie powoduje jedynie niewielką poprawę parametrów wody - przed uzdatnianiem oszacowana dawka dla niemowląt wynosiła 0,70 mSv/rok, a dla wody uzdatnionej wielkość dawki spadła do 0,53 mSv/rok. Również dla nastolatków poziom 0,1 mSv/rok jest przekroczony. Dlatego ponownie pobrano próbkę wody pochodzącą z tego ujęcia z sieci wodociągowej w Jaworznie, w której ponownie oznaczono stężenia izotopów radu (próbka 14a w tabeli 6). Zmierzone wartości dla tej próbki są nieco niższe niż we wcześniej badanych próbkach. Pomimo tego poziom 0,1 mSv/rok może być przekroczony, 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 poprawy oczyszczania wód z radu należałoby podjąć decyzję, czy zamknąć ujęcie czy mieszać jego wody z wodami z ujęć powierzchniowych (na przykład. z SUW Maczki).

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

Lp.	Nazwa 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	Dąbrowski uzdatniona	0,11	0,24	0,5320	0,1451	0,0872	0,0998	0,2135	0,0410
14	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

