

## IZOTOPY PROMIENIOTWÓRCZE W OSADACH DENNYCH RYBNICKIEGO ZBIORNIKA ZAPOROWEGO

MACIEJ KOSTECKI<sup>1</sup>, MAREK TUSZYŃSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, 41-819 Zabrze, ul. M. Skłodowskiej-Curie 34

<sup>2</sup> Uniwersytet Śląski, Instytut Fizyki Medycznej, 40-007 Katowice, ul. Uniwersytecka 4

Keywords: bottom sediments, dam-reservoirs, radioisotopes.

### RADIONUCLIDES IN BOTTOM SEDIMENTS OF THE RYBNIK DAM-RESERVOIR

The distribution of radioactive substances in cores collected in 16 sample points of bottom sediments of the Rybnik dam-reservoir has been studied. This ecosystem is an artificial reservoir on the Ruda river which flows through the industrial region in the west-south part of the Upper Silesian region. The aim of the work was to investigate samples from bottom sediments to determine sort and amount of radionuclides and other chemical elements and biological substances. These samples were taken from sixteen points along the seven profiles of short axis of the reservoir and were divided from 10 cm layers of bottom sediments. The measurement of radioactive substances using high sensitive gamma spectrometry technique with semiconductor detector HPGe type was done. There was shown occurrence of radionuclides from uranium-radium (<sup>238</sup>U) progeny, thorium <sup>232</sup>Th progeny, the natural radionuclide of potassium <sup>40</sup>K and the artificial radioisotope of caesium <sup>137</sup>Cs. The mean activity concentration of radionuclides was: <sup>40</sup>K – 316 Bq/kg, <sup>137</sup>Cs – 53 Bq/kg, <sup>238</sup>U – 42 Bq/kg, <sup>232</sup>Th – 34 Bq/kg. Besides, the concentrations change of radioisotope along the reservoir in the sediments was analyzed. A higher concentration of radioisotopes at the end of the lake was observed generally. For the caesium <sup>137</sup>Cs the highest concentration in the 10 cm layer was in the middle points of the lake (for maximal deep). This could be related to the Chernobyl accident. The concentrations of radioisotope are natural in the environmental and are not dangerous. The correlation between radioisotopes and heavy metals and organic matter content in the bottom sediments show that the role of autochthony biomass as the element of pollutants transport is very important.

#### Streszczenie

Przedstawiono zawartość izotopów promieniotwórczych w osadach dennych antropogenicznego zbiornika wodnego w Rybniku. Zbiornik zasilany jest wodami rzeki Rudy płynącej przez silnie uprzemysłowiony region kraju. Próby osadów pobrano z szesnastu stanowisk w profilach poprzecznych zbiornika. Pomiar przeprowadzono techniką wysokoczułej spektrometrii promieniowania gamma z detektorem półprzewodnikowym typu HPGe. Stwierdzono występowanie izotopów promieniotwórczych z szeregu uranowo-radowego, szeregu torowego, naturalnego izotopu potasu <sup>40</sup>K oraz sztucznego izotopu cezu <sup>137</sup>Cs. Średnia zawartość zidentyfikowanych izotopów wynosi: <sup>40</sup>K – 316 Bq/kg, <sup>137</sup>Cs – 53 Bq/kg, rodziny <sup>238</sup>U – 42 Bq/kg, <sup>232</sup>Th – 34 Bq/kg. Zawartości wykrytych izotopów były na poziomie normalnie spotykanym w środowisku naturalnym i w żadnym punkcie nie odbiegały od przeciętnie spotykanych. Stwierdzono wyraźną współzależność między stężeniem radioizotopów i metali ciężkich a stężeniem materii organicznej w osadach dennych. Wskazując to na znaczącą rolę biomasy powstającej w zbiorniku, jako elementu kumulacji i transportu zanieczyszczeń wewnątrz ekosystemu, w wyniku ruchów mas wody.

## WSTĘP

Radioizotopy występujące w minerałach składają się na budowę geologiczną skał i gleb [1, 9, 13]. W rejonach silnie uprzemysłowionych zagrożenie pierwiastkami radioaktywnymi wiąże się głównie z emisją produktów spalania węgla [1, 9, 15]. Szereg radioizotopów dostaje się do środowiska w wyniku dalszej ich migracji [3, 5, 15] a także jako niepożądana domieszka nawozów sztucznych [4, 5, 20].

Prowadzone od wielu lat eksperymenty jądrowe zwróciły uwagę na problem obecności radioizotopów w środowisku [2, 4, 10–12]. Pewna ilość produktów rozszczepienia przedostaje się do atmosfery, skąd wraz z opadami atmosferycznymi dociera na powierzchnię ziemi [6–8, 17–19]. Pierwiastki radioaktywne wprowadzane do ekosystemu wodnego kumulują się w biomasie roślinnej i zwierzęcej. Wchodząc w ten sposób do obiegu jako element łańcucha pokarmowego, stanowią zagrożenie dla organizmów zwierzęcych, [2, 5, 14, 21].

Szczególnie narażone na doprowadzanie zanieczyszczeń, w tym także radioizotopów są antropogeniczne zbiorniki wodne zasilane wodami zanieczyszczonych rzek, co w przypadku regionu Górnego Śląska ma charakter powszechny [5–8, 17–20]. Obecność radioizotopów w ekosystemie wodnym stanowi ważny element wskazujący na stopień wywieranej antropopresji [5, 9].

## CEL BADAŃ

Celem pracy było określenie rodzajów i koncentracji radioizotopów w osadach dennych zbiornika Rybnickiego oraz rozpoznanie jego ogólnej sytuacji radiologicznej z punktu widzenia skażenia radiologicznego tego ekosystemu.

## OBIEKT BADAŃ

Zbiornik zaporowy „Rybnik” wybudowany dla potrzeb Elektrowni Rybnik S.A. powstał w 1972 roku w wyniku przegrodzenia zaporą ziemną doliny rzeki Rudy. Znajduje się on na pograniczu Kotliny Raciborskiej i Płaskowyżu Rybnickiego. Zbiornik ten wraz z wydzielonymi zalewami: Grabownia, Gzel i Pniowiec oddzielonymi bocznymi zaporami od zalewu głównego, należy do najważniejszych zbiorników wodnych tego obszaru [16]. Powierzchnia całkowita zbiornika wraz z zalewami bocznymi wynosi 555 ha, natomiast powierzchnia zalewu głównego wynosi 465 ha. Długość zbiornika wynosi 7 km [5–8].

Zbiornik stanowi element układu technologicznego jako źródło wody używanej w elektrowni do chłodzenia urządzeń energetycznych. Jest on jedynym tego typu, antropogenicznym zbiornikiem w Polsce. Jako budowla hydrotechniczna nie jest jeziorem naturalnym, a z uwagi na przemysłowy charakter i przeznaczenie, nie stanowi typowego zbiornika wód powierzchniowych. Przy maksymalnym eksploatacyjnym poziomie piętrzenia 221,00 m n.p.m. pojemność zbiornika głównego wynosi 21,4 mln m<sup>3</sup>. Wraz z zalewami bocznymi pojemność całkowita wynosi 24,0 mln m<sup>3</sup> [5, 7].

## METODYKA BADAŃ

Badaniami objęto 16 próbek osadów dennych. Próbkę z górnej 10 cm warstwy osadów dennych pobrano w listopadzie 2002 roku. Przeprowadzono standardowe przygotowania

próbek do pomiarów ze względu na izotopy promieniotwórcze, tzn. suszenie w temperaturze 105°C, mielenie próbek i zamknięcie w pojemnikach typu Marinelli o pojemności 750 cm<sup>3</sup>. Z uwagi na konieczność wypełnienia pojemnika, kilka próbek połączono, a otrzymane wyniki są sumaryczne. Pomiary przeprowadzono po 3 tygodniach od chwili zamknięcia, w celu uzyskania równowagi promieniotwórczej pomiędzy izotopami promieniotwórczymi szeregów uranowego i torowego.

Pomiary promieniotwórczości próbek przeprowadzono techniką wysokoczułej spektrometrii promieniowania gamma z detektorem półprzewodnikowym typu Ge/Li.

Badane próbki osadów dennych podzielono na dwie grupy, ze względu na ich rodzaj, a tym samym gęstość próbki. Są to:

- próbki typu (1), tzw. piaskowe (duża gęstość >1,2 g/cm<sup>3</sup>),
- próbki typu (2), „klasyczne” osadowe (mała gęstość <0,8 g/cm<sup>3</sup>).

Masę i gęstość pobranych próbek przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Masa i gęstość prób osadów dennych zbiornika Rybnik  
The mass and density of bottom sediments samples

Punkt sample point	Masa mass [g]	Gęstość density [g/cm <sup>3</sup> ]
5	449	0,707
9	232	0,365
10	179	0,281
9 i 10	410,5	0,646
18	192	0,302
2 i 3	322	0,507
23	563	0,886
24	410	0,645
25	312	0,491
4 i 8	185,5	0,292
6 i 7	350	0,551
22	944	1,486
14	1015	1,598
13	1034	1,628
Średnia average	471,29	0,742

## WYNIKI

W tabeli 2 przedstawiono szczegółowe wyniki pomiarowe dla poszczególnych radioizotopów szeregu uranowo-radowego i torowego z wyszczególnieniem zarówno izotopów jak i energii promieniowania.

Tabela 2. Wyniki pomiarów stężenia radioizotopów w osadach dennych zbiornika Rybnik  
The radioisotopes concentrations – bottom sediments of Rybnik dam-reservoir

Punkt poboru prób sampling point	<sup>40</sup> K [Bq/kg]	Th [Bq/kg]	U [Bq/kg]	<sup>137</sup> Cs [Bq/kg]	Ra <sub>eq</sub> [Bq/kg]	D [nGy/h]
5	283,151	20,612	28,124	20,441	79,402	37,83
9	356,624	36,864	44,121	63,978	124,297	58,579
10	395,544	47,848	47,968	96,912	146,847	69,166
9 i 10	268,863	32,858	44,093	63,626	111,782	52,141
18	436,074	51,676	61,179	92,484	168,654	79,084
2 i 3	273,783	40,765	92,078	84,104	171,453	78,076
23	199,77	16,588	20,383	6,018	59,486	28,275
24	469,774	54,961	68,135	47,049	182,901	85,678
25	470,638	56,617	48,967	51,307	166,168	78,627
4 i 8	382,829	48,501	62,331	94,229	161,164	75,184
6 i 7	309,998	40,485	50,653	104,728	132,416	61,76
Średnia-2 average-2	349,7316	40,7068	51,639	65,89782	136,779	64,036
22	209,284	10,574	11,047	3,918	42,283	20,716
14	174,487	7,384	7,304	3,102	31,299	15,51
13	192,096	7,291	6,877	3,756	32,096	16,024
Średnia-1 average-1	191,95567	8,416333	8,40933	3,592	35,226	17,4167
Średnia ogólna average total	315,9225	33,78743	42,3757	52,5465714	115,01771	54,0464

W osadach dennych badanego zbiornika stwierdzono występowanie izotopów promieniotwórczych z szeregu uranowo-radowego, szeregu torowego, naturalny izotop promieniotwórczy potasu <sup>40</sup>K oraz sztuczny izotop promieniotwórczy cezu <sup>137</sup>Cs. Średnia koncentracja zidentyfikowanych izotopów wynosi: <sup>40</sup>K – 316 Bq/kg, <sup>137</sup>Cs – 53 Bq/kg, rodziny <sup>238</sup>U – 42 Bq/kg, <sup>232</sup>Th – 34 Bq/kg. Stwierdzono, że stężenia wykrytych izotopów były typowe dla wartości naturalnych spotykanych w środowisku i w żadnym punkcie nie odbiegały od przeciętnie spotykanych (Tab. 3).

Tabela 3. Stężenia izotopów szeregu uranowego i torowego  
The concentrations of uranium and thorium isotopes

Symbol	Punkt Sample point	<sup>208</sup> Tl [Bq/kg]	<sup>208</sup> Tl [Bq/kg]	<sup>228</sup> Ac [Bq/kg]	<sup>212</sup> Pb [Bq/kg]	Th [Bq/kg]	<sup>214</sup> Bi [Bq/kg]	<sup>214</sup> Bi [Bq/kg]	<sup>214</sup> Pb [Bq/kg]	<sup>214</sup> Pb [Bq/kg]	<sup>226</sup> Ra [Bq/kg]	U [Bq/kg]
Energia linii The line energy	[keV]	2614,53	583,19	911,2	238,633		609,31	1764,49	351,92	295,21	186,1	
R-05	5	24,247	18,365	20,466	19,37	20,612	25,852	26,906	27,729	32,009	33,399	28,124
R-09	9	37,8	33,036	37,803	38,818	36,864	39,396	40,4	47,106	49,582	61,535	44,121
R-10	10	55,577	48,69	42,618	44,506	47,848	47,181	38,251	54,97	51,469	80,522	47,968
R-10-9	9 i 10	33,813	33,695	30,623	33,301	32,858	42,119	42,733	45,341	46,178	49,539	44,093
R-18	18	56,948	48,71	49,559	51,488	51,676	56,689	56,242	63,439	68,345	91,268	61,179
R-2-3	2 i 3	42,16	37,347	43,163	40,39	40,765	217,116	47,193	51,741	52,26	69,232	92,078
R-23	23	17,454	15,335	18,171	15,393	16,588	19,975	19,061	21,045	21,451	21,862	20,383
R-24	24	55,52	52,693	56,078	55,552	54,961	63,732	69,859	70,429	68,52	84,597	68,135
R-25	25	59,939	50,373	64,412	51,743	56,617	48,071	44,563	52,052	51,181	95,351	48,967
R-4-8	4 i 8	52,757	47,527	47,654	46,065	48,501	59,568	55,481	67,871	66,402	78,176	62,331
R-6-7	6 i 7	45,199	36,324	41,407	39,011	40,485	48,309	49,431	51,802	53,069	66,014	50,653
Średnia-2 average-2		43,765	38,37	41,0867	39,6034	40,7068	60,728	44,556	50,32	50,95	66,4995	51,639
R-22		10,671	9,679	11,889	10,057	10,574	11,128	9,786	12,227	11,048	13,995	11,047
R-14	22	9,053	6,601	7,052	6,829	7,384	7,228	6,519	7,973	7,498	8,136	7,304
R-13	14	8,426	6,835	7,167	6,738	7,291	6,237	3,717	8,625	8,931	1,887	6,877
Średnia-1 average-1	13	9,38333	7,705	8,7026667	7,874667	8,416333	8,19767	6,674	9,60833	9,159	8,006	8,40933
Średnia globalna average total		36,3974	31,801	34,147286	32,804357	33,78743	49,4715	36,4387	41,5964	41,996	53,96521	42,3757

### Ekwiwalent radu $Ra_{eq}$

W celu porównania stężenia wszystkich radioizotopów w próbce wprowadza się tzw. ekwiwalent radu, czyli normowanie radioizotopów do stężenia radu  $^{226}\text{Ra}$  w próbce. Normowanie takie przeprowadza się wg formuły:

$$Ra_{eq} = Ra + 1,43 \cdot Th + 0,077 \cdot K$$

gdzie: symbole Ra, Th, K oznaczają odpowiednio stężenia radioizotopów szeregu uranowego, torowego i potasu w [Bq/kg]. Wartość ekwiwalentu radu  $Ra_{eq}$  jest również podawana w [Bq/kg].

### Moc dawki od naturalnych radionuklidów

Ponadto w tabeli 2 wykonano obliczenia mocy dawki promieniowania od naturalnie występujących radioizotopów w próbce wg wzoru:

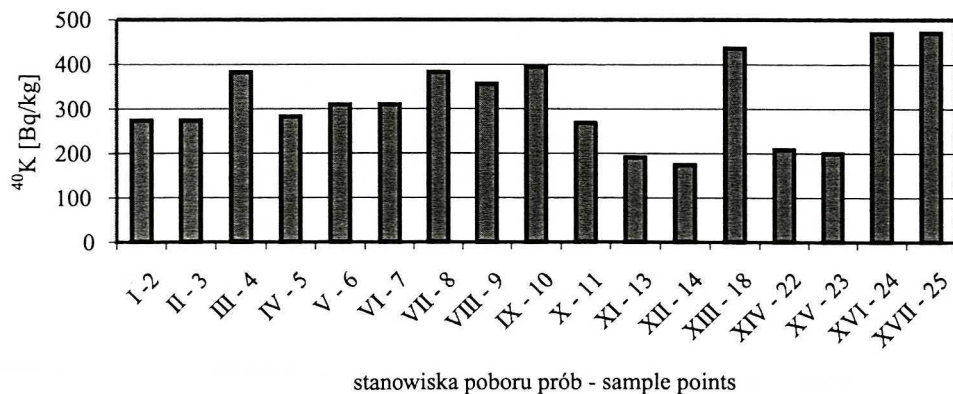
$$D = 0,043 \cdot K + 0,427 \cdot U + 0,662 \cdot Th$$

gdzie: symbole Ra, Th, K oznaczają odpowiednio stężenia radioizotopów szeregu uranowego, torowego i potasu w [Bq/kg]. Wartość mocy dawki wynosi [nGy/h].

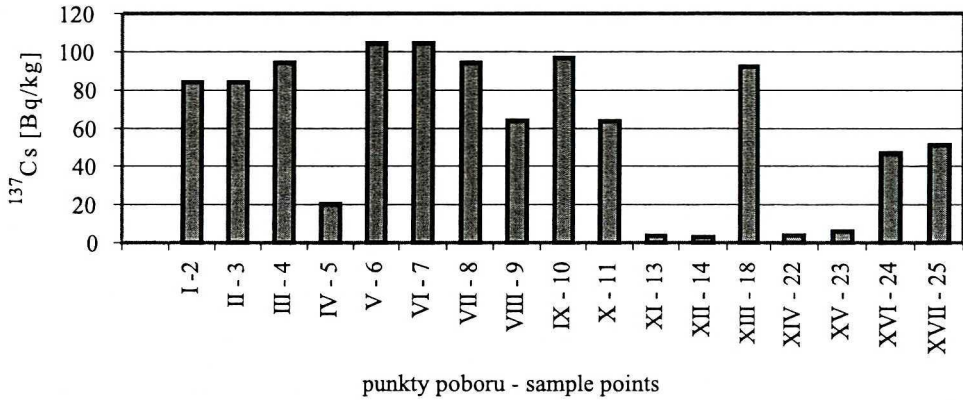
## DYSKUSJA WYNIKÓW

Wyniki pomiarów wskazują, że w próbkach typu 1 (piaskowe) stężenia radioizotopów są znacznie niższe niż w próbkach typu 2 (osady ilaste). I tak stężenie izotopu potasu  $^{40}\text{K}$  średnio w próbkach typu pierwszego wynosi około 200 Bq/kg, a w próbkach typu drugiego około 350 Bq/kg (Rys. 1) Wielkości te są typowe dla gleb i nieco mniejsze od tzw. stężenia klarkowego, tj. 370 Bq/kg.

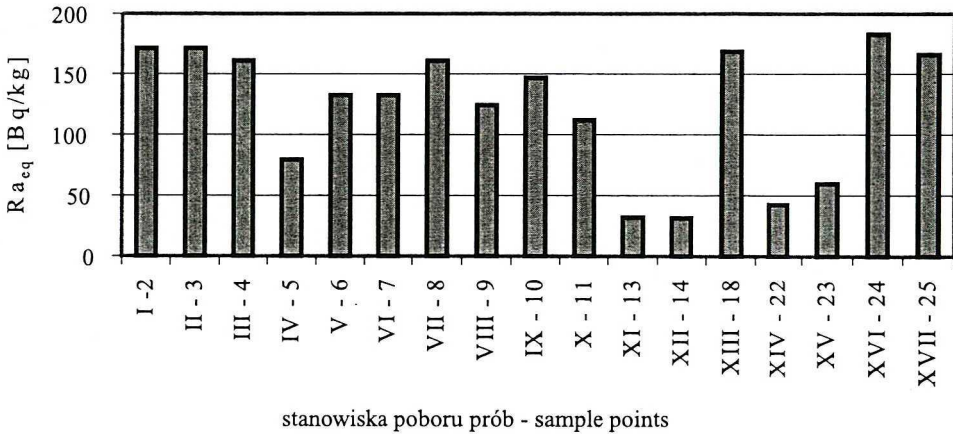
Szczególnie duża dysproporcja stężeń występuje dla izotopu cezu  $^{137}\text{Cs}$ . Średnie stężenia to 3,6 Bq/kg dla próbek typu 1 i 66 Bq/kg dla próbek typu 2 (stanowiska 13, 14, 22). Duże stężenie cezu w osadach dennych zbiornika, w jego najgłębszych miejscach można tłumaczyć specyficznym ruchem wody. Umożliwia on transport i depozycję w osadach, w tych obszarach zbiornika biomasy i zawiesin zawierających wprowadzane m.in. z powietrza atmosferycznego różne izotopy (Rys. 2). Dotyczy to także  $^{137}\text{Cs}$  pochodzącego z wybuchów jądrowych w atmosferze i z awarii reaktorów atomowych, m. in. z katastrofy w Czarnobylu [12, 13].



Rys. 1. Stężenia izotopu potasu  $^{40}\text{K}$  w osadach dennych zbiornika Rybnickiego  
The potassium  $^{40}\text{K}$  concentrations in the bottom sediments of Rybnik dam-reservoir



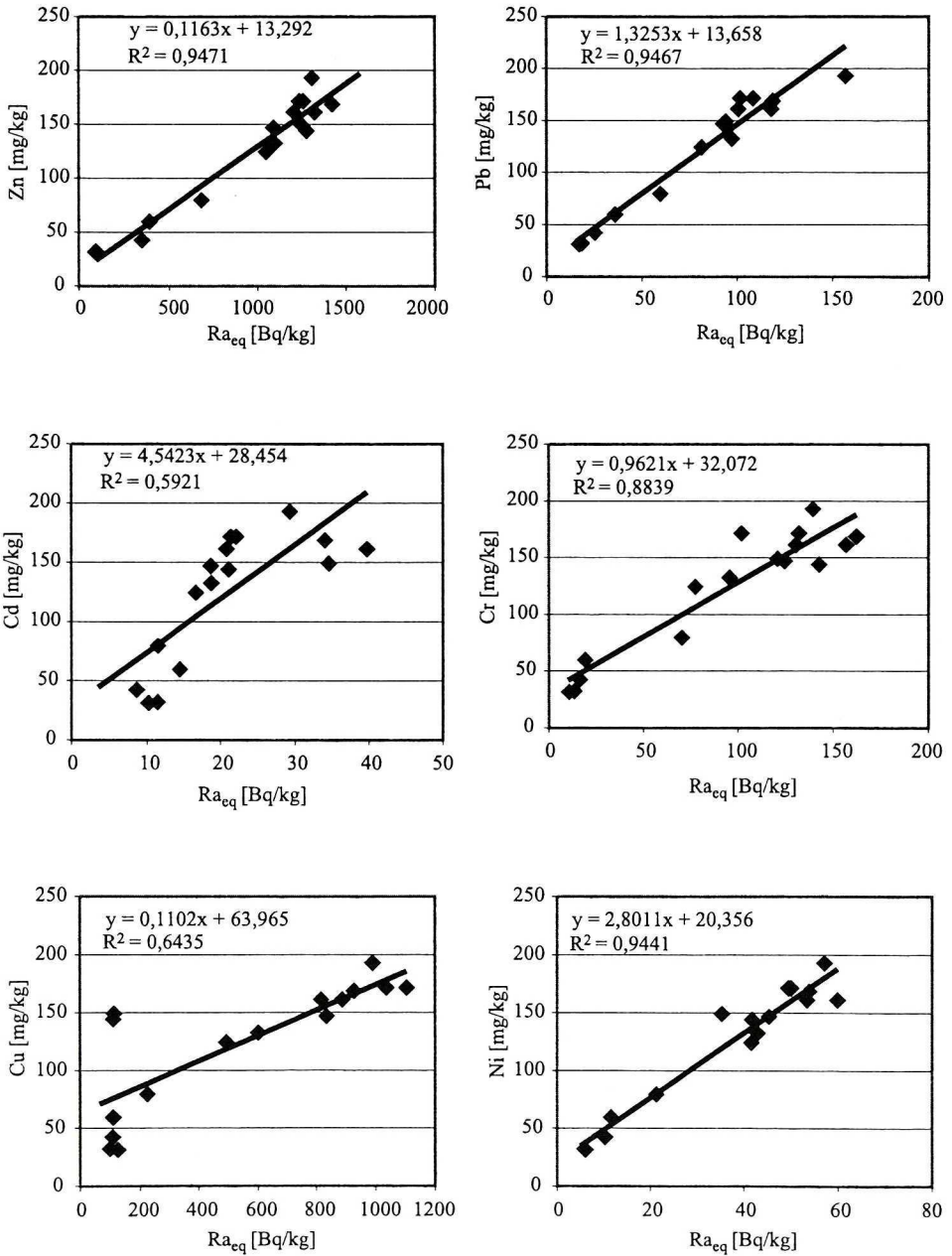
Rys. 2. Stężenia izotopu cezu  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych zbiornika Rybnickiego  
The caesium isotope  $^{137}\text{Cs}$  concentrations in the bottom sediments of Rybnick dam-reservoir



Rys. 3. Wartość równoważnika  $R_{a_{eq}}$  w osadach dennych zbiornika Rybnickiego  
The value of  $R_{a_{eq}}$  in the bottom sediments of Rybnick dam-reservoir

Dla szeregu uranowo-radowego ten stosunek średniego stężenia jest jak: 8,4 do 52 Bq/kg dla próbek typu I i 2, a dla szeregu torowego jest jak: 8,4 do 41 Bq/kg. Są to proporcje występujące powszechnie w środowisku przyrodniczym (Rys. 3). Piaszczyste osady zawierają niewielką ilość materii organicznej oraz izotopów promieniotwórczych. W osadach dennych o znacznej zawartości części ilastych oraz materii organicznej kumulują się metale ciężkie a w tym i radioizotopy, co wykazano na rysunku 4.

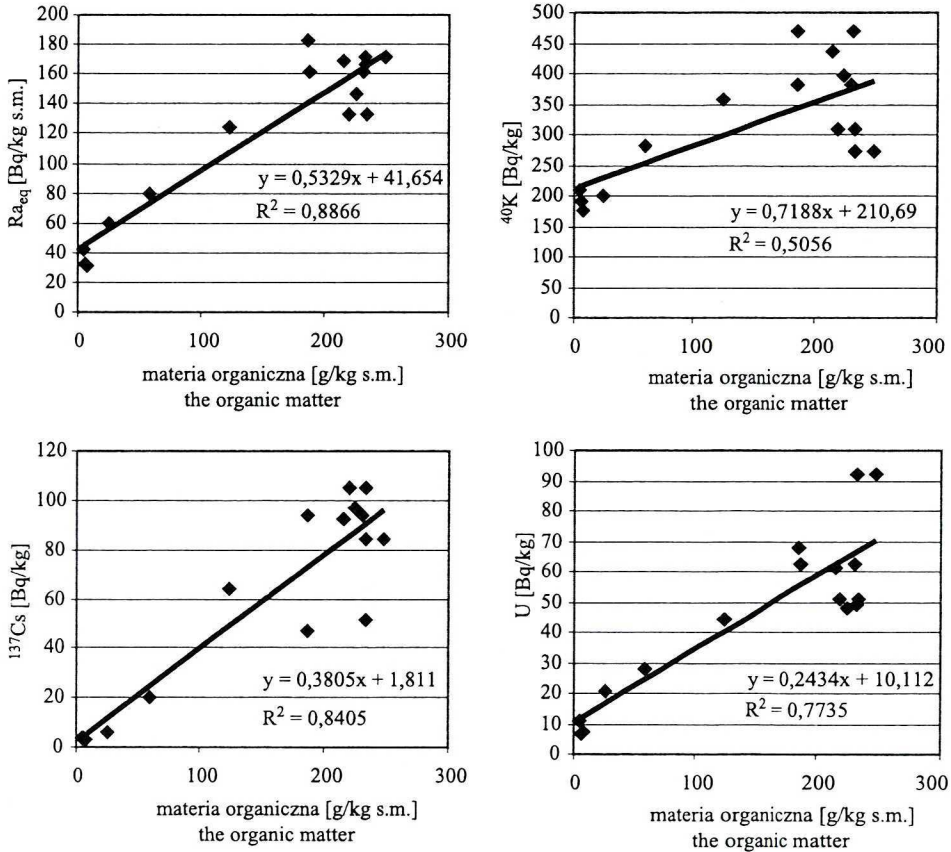
Powstająca w zbiorniku masa organiczna planktonu stanowi rodzaj biofiltra kumulującego zanieczyszczenia, w tym także radioizotopy. Na rysunku 5 przedstawiono zależność pomiędzy zawartością materii organicznej a stężeniem radioizotopów. Wykazano w ten sposób, że biomasa planktonu jest istotnym czynnikiem transportu radioizotopów wewnątrz ekosystemu oraz ogniwem łańcucha transferu z wody do osadów dennych.



Rys. 4. Współzależność między równoważnikiem  $Ra_{eq}$  a stężeniem metali ciężkich w osadach dennych zbiornika Rybnickiego

The correlation between  $Ra_{eq}$  and heavy metals concentrations in the bottom sediments of Rybnik dam-reservoir





Rys. 5. Zależność między zawartością materii organicznej a stężeniem radioizotopów w osadach dennych zbiornika Rybnickiego  
The correlation between organic matter and radioisotopes concentrations in the bottom sediments of Rybnik dam-reservoir

Przeprowadzona analiza wykazała, że stężenia naturalnie występujących radioizotopów w osadach dennych są na poziomie zbliżonym do tych obserwowanych dla wcześniej zbadanych zbiorników, tj. Dzierżna Małego, Pławniowic oraz Kanału Gliwickiego [5–8, 17–21]. Obliczenia tzw. ekwiwalentu radu  $Ra_{eq}$  pozwoliły porównać wszystkie naturalne radioizotopy promieniotwórcze w poszczególnych próbkach osadów dennych.

Największe stężenia radioizotopów stwierdzono w osadach przy ujściu rzeki Rudy do zbiornika (punkty 24 i 25) oraz w pobliżu zapory (punkty 4–8). Prawdopodobnie wynika to z przebiegającego intensywnie procesu chemicznego wytrącania radioizotopów w tych partiach zbiornika lub też ich sorbowaniem na osiadających cząstkach zawieszin. Ponadto analiza ekwiwalentu radu również pokazuje wyraźne różnice w wielkościach dla próbek piaskowych i osadów ilastych.

Ustalone wielkości mocy dawek promieniowania gamma osadów dennych dla różnych stanowisk pomiarowych na zbiorniku wykazują, że nie mają one wpływu na ogólną radiację [22].

## WNIOSKI

- Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:
1. Stwierdzone średnie koncentracje zidentyfikowanych izotopów wynoszące:  $^{40}\text{K}$  – 316 Bq/kg,  $^{137}\text{Cs}$  – 53 Bq/kg, rodziny  $^{238}\text{U}$  – 42 Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  – 34 Bq/kg, są na poziomie powszechnie spotykanym w środowisku naturalnym i w żadnym punkcie pomiarowym nie odbiegają od przeciętnie spotykanych.
  2. Stężenia naturalnie występujących radioizotopów w osadach dennych zbiornika Rybnickiego są na poziomie zbliżonym do obserwowanych we wcześniej zbadanych zbiornikach, tj. Dzierźnie Małym i Pławniowicach oraz w Kanale Gliwickim.
  3. Zróżnicowanie przestrzenne występowania radioizotopów w osadach dennych pozostaje w wyraźnym związku z zawartością materii organicznej. Wskazuje to na rolę biomasy (w tym także detritusu), jako sorbentu w transporcie radioizotopów wewnątrz ekosystemu oraz w transferze z wody do osadów dennych.

## LITERATURA

- [1] Chełmicki W., M. Klimek, K. Krzemień: *Występowanie radioizotopu Cs-137 w glebach progów Pogórza Karpackiego między Rabą i Uszwią*, [w:] L. Kaszowski (red.): *Dynamika i antropogeniczne przeobrażenia środowiska przyrodniczego progów Karpat pomiędzy Rabą a Uszwią*, 295–307 (1995).
- [2] Grzybowska D.: *Concentration of Cs-137 in marine fish from the southern Baltic Sea in 1990-1995*, *Nukleonika*, 42, 664–674 (1997).
- [3] Hughes J.S., K.B. Shaw, M.C. O'Riordan: *Radiation Exposure of the UK Population – 1998 Review*, NRPB 1989, (NRPB-R227) National Radiological Protection Board, Chilton.
- [4] He Qingping, D.E. Walling, P.N. Owens: *Interpreting the Cs-137 Profiles Observed in Several Small Lakes and Reservoirs in Southern England*, *Chemical Geology*, 129, 115–131 (1996).
- [5] Kosteci M.: *Alokacja i przemiany wybranych zanieczyszczeń w zbiornikach zaporowych hydrowęzła rzeki Klodnicy i Kanale Gliwickim*, *Prace i Studia IPiS PAN nr 57*, Zabrze 2003.
- [6] Kosteci M., M. Tuszyński: *Radioizotopy w osadach dennych antropogenicznego zbiornika wodnego Dzierzno Duże*, *Archiwum Ochrony Środowiska*, 28, 3, 77–89 (2002).
- [7] Kosteci M.: *Zawiesina jako element zanieczyszczeń antropogenicznego ekosystemu wodnego na przykładzie zbiornika zaporowego Dzierzno Duże*, *Archiwum Ochrony Środowiska*, 26, 4, 75–94, (2000).
- [8] Kosteci M., M. Czaplicka, A. Węglarz: *Wybrane związki organiczne (BTEX, WWA) w osadach dennych antropogenicznego zbiornika wodnego Dzierzno Duże*, *Archiwum Ochrony Środowiska*, 26, 4, 95–108, (2000).
- [9] Kwapuliński J.: *Skażenia promieniotwórcze południowej Polski*, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1975.
- [10] Kwapuliński J., M.R.D. Seaward, E.A. Bylińska: *Uptake of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  by the lichen genus *Umbilicaria**, *Sc. Total Environ.*, 41, 135–141 (1985).
- [11] Kwapuliński J., J. Starosiek: *Mosses as bioindicator of atmospheric beryllium*, *Environ. Prot. Eng.*, 7, 55–63 (1981).
- [12] Kwapuliński J., D. Wiechuła, B. Nowak, J. Mirosławski: *Bioindykacja opadów promieniotwórczych po awarii elektrowni w Czarnobylu na terenie Beskidu Zachodniego*, *Archiwum Ochrony Środowiska*, 2, 171–181 (1992).
- [13] Majle T.: *Sytuacja w Polsce w zakresie skażeń promieniotwórczych po awarii radiologicznej w Czarnobylu*, [w:] *Chemiczne zagrożenia środowiska w Polsce*, Wyd. UMCS Lublin 1987, 58–74.
- [14] Owens P.N., Walling D.E., He Qingping: *The Behavior of Bomb-Derived Caesium-137 Fallout in Catchments Soils*, *J. Environ. Radioactivity*, 323(3), 169–191 (1996).
- [15] Państwowa Agencja Atomistyki: *Informacja Państwowej Agencji Atomistyki o stanie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w Polsce, w 1995 rok*, *Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna*, 27, 2, 3–31 (1996).
- [16] *Słownik geograficzno-krajoznawczy Polski*, (red. M.I. Mileska), PWN, Warszawa 1983.
- [17] Tuszyński M., M. Kosteci: *Izotopy promieniotwórcze w osadach dennych antropogenicznego*

- zbiornika wodnego w Pławniowicach*, *Archiwum Ochrony Środowiska*, **29**, 1, 135–141, (2003).
- [18] Tuszyński M., M. Kostecki, A. Kelany: *Radionuclides and heavy metals in the Dzierżno Duże ecosystem*, [w:] III Symposium on Medical Physics Wisła 2000, University of Silesia Katowice.
- [19] Kostecki M., M. Tuszyński: *Radioizotopy w osadach dennych zbiorników hydrowęzła rzeki Kłodnicy*, [w:] VIII Konferencja Naukowa Zapobieganie zanieczyszczeniu środowiska, Bielsko-Biała – Szczyrk 2000.
- [20] Tuszyński M., M. Kostecki: *Radioizotopy w zbiornikach antropogenicznych o zlewni przemysłowej i rolniczej*, [w:] VIII Konferencja Naukowa Zapobieganie Zanieczyszczeniu Środowiska, Bielsko-Biała – Szczyrk 2000.
- [21] Tuszyński M., M. Kostecki, A. Kelany: *Radionuclides in bottom sediments of Dzierżno Duże dam-reservoir*, Conference of Low Level Radioactivity, Centre d'Etude de l'énergie Nucleaire, 18–22 październik 1999, Belgia.
- [22] Zarządzenie Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki z dnia 28.09.1997 w sprawie określenia przypadków, w których działalność ze źródłami promieniowania jonizującego nie wymaga pozwolenia, *Monitor Polski* Nr 59, poz. 569.

Wpłynęło: 25 czerwca 2003, zaakceptowano do druku: 23 października 2003.