

**MONITORING SKAŻEŃ PROMIENIOTWÓRCZYCH WÓD  
POWIERZCHNIOWYCH I OSADÓW DENNYCH  
W LATACH 2006-2008**

**Raport roczny  
2008**

Z.Pietrzak-Flis, L.Rosiak, E.Starościak, E.Chrzanowski, A.Fulara



Opracowanie wykonano na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (umowa nr 54/2006/F ) finansowane ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej na podstawie umowy o dotacje nr 637/2006/Wn50/MN-PO-BD/D

**Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej**

**Listopad 2008**

## WSTĘP

Monitoring skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych w latach 2006-2008 prowadzony jest w oparciu o następujące akty prawne:

1. Ustawa – Prawo ochrony środowiska (Dz.U. Nr 62, poz. 627 z późn. zm.) art. 26. W artykule tym zdefiniowane są cele i zadania Państwowego Monitoringu Środowiska, w tym monitoringu promieniowania jonizującego.
2. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 2002 r. w sprawie stacji wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych i placówek prowadzących pomiary skażeń promieniotwórczych (Dz.U. Nr 239, poz. 2030), przygotowane na podstawie delegacji zawartej w Prawie Atomowym (Dz.U. z 2001r. Nr 3, poz. 18. z późniejszymi zmianami).

Powyższe akty prawne stanowią podstawę zawartej Umowy nr 54/2006/F pomiędzy Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska z siedzibą w Warszawie, a Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej. Szczegółowy zakres monitoringu zawiera Załącznik nr 1 do powyższej Umowy.

Monitoring skażeń promieniotwórczych zaleca Komisja Europejska w Rekomendacji z 8 czerwca 2000 roku o stosowaniu Artykułu 36 Traktatu Euroatomu dotyczącego monitoringu poziomów radioaktywności w środowisku w celu oceny ekspozycji całej populacji [1].

W niniejszym Raporcie przedstawiono wyniki monitoringu prowadzonego w 2008 roku.

## ZAKRES PRACY

Próbki wody i osadów dennych pobierano w 18 punktach, usytuowanych w dorzeczu Wisły (7 punktów), w dorzeczu Odry (5 punktów) i w sześciu jeziorach. Wykaz punktów poboru wody i osadów dennych oraz współrzędne geograficzne miejscowości, w których pobierano próbki podano w Tabeli 1 i 2. W Tabeli 1 podano również odległości punktów poboru z Wisły od punktu zerowego oraz odległości punktów poboru z Odry od granicy państwa.

Terminy poboru próbek były następujące:

1. Termin wiosenny – od 23 kwietnia do 19 czerwca;
2. Termin jesienny - od 19 września do 8 listopada.

W ramach Programu Monitoringu oznaczono  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  w wodach oraz  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$  i  $^{238}\text{Pu}$  w osadach dennych.

**Tabela 1.** Punkty poboru próbek wody i osadów dennych z rzek

Rzeka	Miejsce poboru próbek	Długość geograficzna wschodnia DMS <sup>a)</sup>	Szerokość geograficzna północna DMS	Odległość od punktu zerowego, km
Wisła	Kraków Tynec	20°10'48"	50°42'50"	63,7
	Annopol	21°51'33"	50°53'10"	295
	Warszawa	21°00'59"	52°14'07"	510
	Płock	19°41'52"	52°32'50"	632
	Kieźmark	18°55'51"	54°15'14"	926
Narew	Pułtusk	21°05'08"	52°42'18"	-
Bug	Wyszków	21°27'22"	52°36'10"	-
Odra	Chałupki	18°19'10"	49°55'22"	0 <sup>b)</sup>
	Wrocław	17°02'12"	51°06'34"	249 <sup>b)</sup>
	Głogów	16°04'55"	51°39'11"	393 <sup>b)</sup>
	Krajnik	14°28'50"	53°11'44"	690 <sup>b)</sup>
Warta	Poznań	16°55'21"	52°24'30"	-

<sup>a)</sup> stopnie, minuty, sekundy <sup>b)</sup> odległość od granicy państwa

**Tabela 2.** Punkty poboru próbek wody i osadów dennych z jezior

Jezioro i miejsce poboru	Województwo	Długość geograficzna wschodnia DMS <sup>a)</sup>	Szerokość geograficzna północna DMS
Drawsko, Stare Drawsko	zachodnio-pomorskie	16°11'51"	53°36'08"
Wadąg, Myki	warmińsko-mazurskie	20°32'35"	53°49'10"
Wielkie Partęczyny	kujawsko-pomorskie	19°13'02"	53°28'13"
Rogóżno	lubelskie	22°59'25"	51°22'03"
Niesłysz, Niesulice	lubuskie	15°24'05"	52°12'41"
Wigry, Stary Folwark	podlaskie	23°03'24"	54°05'07"

<sup>a)</sup> stopnie, minuty, sekundy

## METODYKA MONITORINGU

### Pobór próbek i wstępna preparatyka

Próbki wody z rzek pobierano z głównego nurtu, natomiast wodę z jezior z pomostów, przy użyciu obciążonego wiadra z liną. Objętość próbki wynosiła 20 litrów. Wodę z wiadra przenoszono do pojemników polietylenowych i zakwaszono kwasem azotowym. Osady denne pobierano używając szufelki, z trzech miejsc oddalonych od siebie o ok. 50 m i sporządzano próbkę zbiorczą o masie ok. 1 kg. Po przywiezieniu do laboratorium wodę odparowywano z dodatkiem kwasu azotowego; osady denne po usunięciu kamyków i części roślin, suszono w temp. 105°C do stałej wagi i przesiewano przez sito o średnicy oczek 2 mm.

### METODY ANALITYCZNE

$^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  w wodach oraz  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{Pu}$  i  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dennych oznaczano zgodnie z zatwierdzoną przez Prezesa PAA „Techniką pomiarową do ilościowego oznaczania  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  w wodach powierzchniowych” i „Techniką pomiarową do ilościowego oznaczania  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{Pu}$  i  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dennych”. W przypadku  $^{90}\text{Sr}$  określano wydajność chemiczną wydzielania strontu przez dodanie znanej aktywności znacznika ( $^{85}\text{Sr}$ ) przed rozpoczęciem analizy i pomiarze aktywności tego izotopu po jej zakończeniu. Ze względu na niskie stężenia plutonu w osadach dennych, zwiększono masę analizowanej próbki do 50g.

#### $^{137}\text{Cs}$ i $^{90}\text{Sr}$ w wodzie

$^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  oznaczano w tej samej próbce. Metoda oznaczania  $^{137}\text{Cs}$  polega na selektywnej sorpcji cezu na złożu fosfomolibdenianu amonu (AMP) i pomiarze aktywności  $\beta$  preparatu. Do oznaczenia  $^{90}\text{Sr}$  stosowano metodę polegającą na oznaczeniu  $^{90}\text{Y}$ , krótkożyciowego izotopu ( $T_{1/2}$  - 64,2 h) powstającego w wyniku rozpadu  $^{90}\text{Sr}$ . Analizę prowadzono w obecności  $^{85}\text{Sr}$ , co pozwoliło na określenie wydajności  $^{90}\text{Sr}$ . Wydajność radiochemiczna oznaczeń  $^{90}\text{Sr}$  była wysoka i wynosiła w próbkach analizowanych w okresie wiosennym średnio  $96 \pm 3$ , a w próbkach analizowanych w okresie jesiennym  $96 \pm 4\%$ .

Do pomiaru aktywności  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  stosowano niskotłowy zestaw aparaturowy, produkcji duńskiej, oparty na licznikach przepływowych GM (Riso GM-25-5) o biegu własnym około 0,2 imp/min i wydajności pomiaru ok. 40%. Kalibrację aparatury prowadzono za pomocą roztworów wzorcowych  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$ . Wzorce do kalibracji aparatury wykonywano w taki sam sposób jak analizowane próbki. Wydajność osadzania  $^{137}\text{Cs}$  na złożu AMP wynosi ok. 99%, a jego granica oznaczalności dla czasu pomiaru 180 min wynosi 0,32 mBq/l. Granica oznaczalności  $^{90}\text{Sr}$  dla czasu pomiaru 120 min wynosi 0,45 mBq/l.

### **$^{137}\text{Cs}$ , $^{238}\text{Pu}$ i $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych**

$^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych oznaczano metodą spektrometrii gamma. Po wstępnej preparatyce naważki osadu przenoszono do pojemników typu Marinelli o objętości 450 ml i umieszczano w układzie pomiarowym.

Stosowany do pomiaru spektrometr składa się z detektora germanowego (HP Ge) znajdującego się w ołowianym domku osłonowym o grubości ścianek 10 cm i wyłożonym 2-mm warstwą miedzi. Detektor połączony jest z wielokanałowym analizatorem amplitudy impulsów MULTIPORT II MCA z oprogramowaniem spektrometrycznym GENIE-2000 firmy Canberra. Zdolność rozdzielcza detektora wynosi 1,8 keV dla  $^{60}\text{Co}$  (1332 keV), a względna wydajność 33%. Czas pomiaru dobierano w taki sposób, aby błąd pomiaru nie przekraczał 10%. Granica detekcji przy czasie pomiaru 150000 s wynosi 0,40 Bq/kg suchej masy osadu dennego.

Kalibrację układu pomiarowego prowadzono stosując wzorzec w geometrii Marinelli, zawierające mieszaninę izotopów o energiach od 0,088 MeV do 1,836 MeV w jednorodnej matrycy o gęstości 1,3 g/cm<sup>3</sup>.

Zasada metody oznaczania  $^{239,240}\text{Pu}$  i  $^{238}\text{Pu}$  polega na wydzieleniu plutonu z badanej próbki, elektrodepozycji i pomiarze aktywności metodą  $\alpha$ -spektrometryczną. Analizę prowadzono w obecności znacznika ( $^{242}\text{Pu}$ ), co pozwala na określenie wydajności chemicznej i wydajności pomiaru. Pluton wydzielano z próbki stosując wymianę jonową, a następnie prowadzono elektrodepozycję plutonu na krążkach stalowych. Aktywność izotopów plutonu mierzono za pomocą spektrometru  $\alpha$ . Pomiar prowadzono przez 164000 s, granica detekcji wynosiła 0,2 mBq/ próbkę. Wydajność radiochemiczna plutonu wynosiła średnio w próbkach pobranych w okresie wiosennym  $49 \pm 19\%$ , a w okresie jesiennym –  $51 \pm 18\%$ .

## **WYNIKI I ICH OMÓWIENIE**

### **$^{137}\text{Cs}$ i $^{90}\text{Sr}$ w wodach**

W Tabeli 3 podano daty poboru próbek wody i osadów dennych oraz stężenia  $^{137}\text{Cs}$  w próbkach wody pobranej w rzekach i w jeziorach, w okresie wiosennym i jesiennym 2008 roku oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu. Średnie stężenia  $^{137}\text{Cs}$  w wodach rzek mieściły się w granicach od 1,47 mBq/l w Pułtusku (Narew) do 3,65 mBq/l w Odrze w Chałupkach, natomiast w jeziorach wynosiły od 1,39 mBq/l w Wigrach do 6,87 mBq/l w jeziorze Rogóźno.

**Tabela 3.** Stężenie  $^{137}\text{Cs}$  w wodach Wisły, Odry i ich dopływów oraz w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2008 r.

Lp.	Miejsce poboru próbki	Data poboru próbki	$^{137}\text{Cs}$ , wiosna mBq l <sup>-1</sup>	Data poboru	$^{137}\text{Cs}$ , jesień, mBq l <sup>-1</sup>	$^{137}\text{Cs}$ , średnia roczna mBq l <sup>-1</sup>
1.	Wisła Kraków Tynec	19.06	2,30 ± 0,28 <sup>a)</sup>	10.10	2,18 ± 0,26	2,24 ± 0,34
2.	Wisła Anopol	20.06	2,45 ± 0,28	10.10	2,19 ± 0,27	2,32 ± 0,34
3.	Wisła Warszawa	24.04	2,19 ± 0,27	04.09	1,31 ± 0,17	1,75 ± 0,33
4.	Wisła Płock	29.04	1,56 ± 0,22	12.09	2,90 ± 0,30	2,23 ± 0,39
5.	Wisła Kiezmark	29.04	1,31 ± 0,19	12.09	2,20 ± 0,26	1,76 ± 0,34
6.	Narew Pułtusk	23.04	1,83 ± 0,24	04.09	1,11 ± 0,09	1,47 ± 0,21
7.	Bug Wyszków	24.04	1,65 ± 0,17	04.09	2,60 ± 0,30	2,13 ± 0,36
8.	Odra Chałupki	19.06	4,45 ± 0,42	10.10	2,85 ± 0,31	3,65 ± 0,69
9.	Odra Wrocław	03.06	2,30 ± 0,27	05.10	3,75 ± 0,38	3,03 ± 0,49
10.	Odra Głogów	03.06	2,40 ± 0,28	04.10	3,26 ± 0,34	2,83 ± 0,43
11.	Odra Krajnik	02.06	2,30 ± 0,27	03.10	3,36 ± 0,35	2,83 ± 0,44
12.	Warta Poznań	02.06	2,35 ± 0,28	04.10	1,73 ± 0,22	2,04 ± 0,32
13.	Wigry Stary Folwark	30.04	1,10 ± 0,17	13.09	1,68 ± 0,22	1,39 ± 0,33
14.	Wadąg Myki	29.04	2,20 ± 0,25	12.09	2,20 ± 0,27	2,20 ± 0,34
15.	Wielkie Partęczyny	29.04	2,25 ± 0,26	12.09	2,39 ± 0,28	2,32 ± 0,34
16.	Drawsko Stare Drawsko	02.06	2,13 ± 0,25	03.10	2,39 ± 0,27	2,26 ± 0,33
17.	Niesłysz Niesulice	03.06	3,17 ± 0,32	04.10	1,98 ± 0,24	2,58 ± 0,37
18.	Rogóżno Rogóżno	20.06	7,31 ± 0,60	11.10	6,42 ± 0,55	6,87 ± 0,75

<sup>a)</sup>Wartość ± Całkowita Względna Niepewność (CWN) przy poziomie ufności 95%.

**Tabela 4.** Stężenie  $^{90}\text{Sr}$  w wodach Wisły, Odry ich dopływów i w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2008 r.

Lp.	Miejsce poboru próbki	$^{90}\text{Sr}$ , wiosna $\text{mBq l}^{-1}$	$^{90}\text{Sr}$ , jesień, $\text{mBq l}^{-1}$	$^{90}\text{Sr}$ , średnia roczna $\text{mBq l}^{-1}$
1.	Wisła Kraków Tyniec	$2,20 \pm 0,24^{\text{a}}$	$5,98 \pm 0,33$	$4,09 \pm 0,41$
2.	Wisła Annopol	$2,76 \pm 0,26$	$4,08 \pm 0,34$	$3,42 \pm 0,42$
3.	Wisła Warszawa	$2,60 \pm 0,25$	$2,79 \pm 0,26$	$2,70 \pm 0,36$
4.	Wisła Płock	$3,14 \pm 0,28$	$3,03 \pm 0,28$	$3,09 \pm 0,40$
5.	Wisła Kiezmark	$2,92 \pm 0,26$	$2,73 \pm 0,26$	$2,83 \pm 0,37$
6.	Narew Pułtusk	$4,27 \pm 0,33$	$2,60 \pm 0,25$	$3,44 \pm 0,42$
7.	Bug Wyszków	$3,70 \pm 0,30$	$2,81 \pm 0,28$	$3,26 \pm 0,42$
8.	Odra Chałupki	$3,95 \pm 0,32$	$3,68 \pm 0,31$	$3,82 \pm 0,44$
9.	Odra Wrocław	$2,89 \pm 0,25$	$3,80 \pm 0,34$	$3,35 \pm 0,42$
10.	Odra Głogów	$3,26 \pm 0,27$	$4,24 \pm 0,36$	$3,75 \pm 0,45$
11.	Odra Krajnik	$2,85 \pm 0,25$	$3,21 \pm 0,30$	$3,03 \pm 0,39$
12.	Warta Poznań	$3,31 \pm 0,28$	$3,03 \pm 0,28$	$3,17 \pm 0,40$
13.	Wigry Stary Folwark	$2,32 \pm 0,23$	$1,97 \pm 0,21$	$2,15 \pm 0,31$
14.	Wadąg Myki	$2,89 \pm 0,24$	$2,73 \pm 0,26$	$2,81 \pm 0,36$
15.	Wielkie Partęczyny	$2,35 \pm 0,22$	$2,21 \pm 0,23$	$2,28 \pm 0,32$
16.	Drawsko Stare Drawsko	$2,65 \pm 0,23$	$3,43 \pm 0,30$	$3,04 \pm 0,38$
17.	Niesłysz Niesulice	$2,00 \pm 0,21$	$1,73 \pm 0,20$	$1,87 \pm 0,29$
18.	Rogóżno Rogóżno	$7,85 \pm 0,47$	$9,54 \pm 0,56$	$8,70 \pm 0,73$

<sup>a)</sup>Wartość  $\pm$  CWN przy poziomie ufności 95%.

Stężenie  $^{90}\text{Sr}$  w wodach rzek i jezior było zdecydowanie wyższe niż stężenie  $^{137}\text{Cs}$ . Ilustrują to wyniki oznaczeń  $^{90}\text{Sr}$  w wodach rzek i jezior zamieszczone w Tabeli 4. Średnie stężenie  $^{90}\text{Sr}$  wahało się od 2,70 mBq/l w wodzie z Wisły pobranej w Warszawie do 4,09 mBq/l w wodzie pobranej również z Wisły w Tyńcu. W jeziorach zakres stężeń był szerszy i wynosił od 1,87 mBq/l w wodzie pobranej w jeziorze Niesłysz do 8,70 mBq/l w Rogóźnie.

Uzyskane wyniki badań prowadzonych w 2008 roku wskazują, że stężenia  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  w wodach nie zależą od okresu pobierania próbek. Natomiast istnieją różnice w stężeniach  $^{137}\text{Cs}$  w wodzie w zależności od miejsca poboru próbek. W Tabeli 5 podano średnie stężenia  $^{137}\text{Cs}$  w wodach dorzecza Wisły, dorzecza Odry i w jeziorach oraz wartości średnie dla wszystkich wód, pobieranych w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne. Najniższe stężenia  $^{137}\text{Cs}$  zanotowano w dorzeczu Wisły i wynosiło ono średnio 1,98 mBq/l wody. Średnie stężenia w wodach dorzecza Odry i jezior były ponad 30% wyższe od stężenia tego izotopu w wodach dorzecza Wisły. Średnie stężenie  $^{137}\text{Cs}$  w wodach było niewielkie i wynosiło ok. 2,5 mBq/l.

**Tabela 5.** Średnie stężenie  $^{137}\text{Cs}$  w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego izotopu

Lokalizacja poboru próbek	$^{137}\text{Cs}$ mBq l <sup>-1</sup> wiosna	$^{137}\text{Cs}$ mBq l <sup>-1</sup> jesień	$^{137}\text{Cs}$ mBq l <sup>-1</sup> średnia roczna
Dorzecze Wisły (7) <sup>a)</sup>	1,90 ± 0,42 <sup>b)</sup>	2,07 ± 0,65	1,98 ± 0,32
Dorzecze Odry (5)	2,76 ± 0,95	2,99 ± 0,77	2,88 ± 0,58
Jeziora (6)	3,03 ± 2,20	2,84 ± 1,77	2,94 ± 1,97
Średnia ogólna (18)	2,51 ± 1,40	2,58 ± 1,18	2,55 ± 1,21

<sup>a)</sup> Liczba próbek wody

<sup>b)</sup> Wartość średnia ± Odchylenie Standardowe (OS)

W Tabeli 6 przedstawiono średnie stężenia  $^{90}\text{Sr}$  w próbkach wody pobranej w dorzeczu Wisły i Odry oraz w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym oraz wartości średnich rocznych stężeń tego radionuklidu. Jak wynika z danych w Tabeli średni poziom  $^{90}\text{Sr}$  w ciągu roku był wyrównany, a Średnie stężenia tego izotopu zawierało się w wąskich granicach od 3,26 mBq/l w dorzeczu Wisły do 3,47 mBq/l w jeziorach.



**Tabela 6.** Średnie stężenie  $^{90}\text{Sr}$  w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego izotopu

Lokalizacja poboru próbek	$^{90}\text{Sr}$ mBq l <sup>-1</sup> wiosna	$^{90}\text{Sr}$ mBq l <sup>-1</sup> jesień	$^{90}\text{Sr}$ mBq l <sup>-1</sup> średnia roczna
Dorzecze Wisły (7) <sup>a)</sup>	3,08 ± 0,70	3,43 ± 1,23	3,26 ± 0,46
Dorzecze Odry (5)	3,25 ± 0,44	3,59 ± 0,48	3,42 ± 0,35
Jeziora (6)	3,34 ± 2,23	3,63 ± 2,96	3,47 ± 2,59
Średnia ogólna (18)	3,22 ± 1,30	3,53 ± 1,79	3,38 ± 1,45

a) Liczba próbek wody

b) Wartość średnia ± OS

**Tabela 7.** Średni stosunek aktywności Sr-90 do Cs-137 dorzecza Wisły, Odry i w wodach jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz wartości średnie roczne

Lokalizacja poboru próbek	$\frac{^{90}\text{Sr}}{^{137}\text{Cs}}$ jesień Średnia i zakres	$\frac{^{90}\text{Sr}}{^{137}\text{Cs}}$ jesień Średnia i zakres	$\frac{^{90}\text{Sr}}{^{137}\text{Cs}}$ średnia roczna Średnia i zakres
Dorzecze Wisły (7) <sup>a)</sup>	1,73 ± 0,60 0,96 – 2,33	1,78 ± 0,67 1,04 – 2,74	1,76 ± 0,90 1,38 – 2,34
Dorzecze Odry (5)	1,23 ± 0,20 0,89 – 1,41	1,26 ± 0,32 0,96 – 1,30	1,25 ± 0,38 1,05- 1,55
Jeziora (6)	1,24 ± 0,49 0,63 – 2,11	1,20 ± 0,24 0,87 – 1,49	1,22 ± 0,55 0,72 – 1,54
Średnia ogólna (18)	1,43 ± 0,52 0,63 – 2,33	1,44 ± 0,53 0,92 – 2,74	1,39 ± 0,36 0,72 – 2,34

Średni stosunek aktywności Sr-90 do Cs-137 w wodach dorzecza Wisły wynosił 1,76 był ok. 40% wyższy niż w dorzeczu Odry (1,25) i w jeziorach (1,22) (Tabela 7). Wynika to z niższych stężeń  $^{137}\text{Cs}$  w wodzie Wisły i jej dopływów w porównaniu z Odrą i jeziorami oraz wyrównanego poziomu  $^{90}\text{Sr}$ . W Tabeli 7 podane zostały również zakresy wartości  $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ . Zakresy te mieszczą się w szerokich granicach, co może wynikać z różnego stopnia wymywania obu izotopów z gleby do zbiorników wodnych.

## $^{137}\text{Cs}$ , $^{239,240}\text{Pu}$ i $^{238}\text{Pu}$ w osadach dennych

Stężenie  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych Wisły, Odry ich dopływów i w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2008 roku przedstawiono w Tabeli 8. Średnie roczne stężenia tego izotopu zawierały się w granicach od 0,82 Bq/kg w próbce pobranej w Wiśle w Płocku do 40,7 Bq/kg w osadzie dennym pobranym w Odrze w Głogowie. W wielu przypadkach wystąpiły wyraźne różnice w stężeniu  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych pobranych w okresie wiosennym i jesiennym w tym samym punkcie poboru. Stężenie  $^{137}\text{Cs}$  było niższe zazwyczaj w próbkach osadów pobranych w jesieni 2008 roku. Ilustrują to średnie stężenia  $^{137}\text{Cs}$  w osadach pochodzących z dorzecza Wisły, dorzecza Odry i jezior przedstawione w Tabeli 9. Najniższe stężenia  $^{137}\text{Cs}$ , podobnie jak w przypadku wody, obserwowano w dorzeczu Wisły (średnia roczna wynosiła 4,15 Bq/kg), w dorzeczu Odry było ono czterokrotnie większe (17,5 Bq/kg). Średnie stężenie tego radionuklidu było bliższe do jego stężenia w dorzeczu Odry (11,5 Bq/kg).

Stężenia  $^{137}\text{Cs}$  wzdłuż biegu Wisły przedstawiono na Rys. 1 Stężenie  $^{137}\text{Cs}$  w próbkach pobranych w okresie jesiennym utrzymywało się praktycznie na tym samym poziomie. O wysokim średnim stężeniu  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych pobranych w Wiśle w okresie wiosennym decydowały wysokie stężenia tego izotopu w próbkach pobranych w Tyńcu i Annopolu. Należy zauważyć, że gęstość nasypowa próbek osadów pobranych wiosną w Tyńcu i Annopolu była znacznie mniejsza (odpowiednio 1,25 i 1,05 g cm<sup>-3</sup>) niż osadów pobranych w okresie jesiennym (1,36 i 1,61 g cm<sup>-3</sup>). Osady denne o mniejszej gęstości zawierały więcej substancji organicznej i cząstek iłu, które silniej wiążą  $^{137}\text{Cs}$  niż piasek.

Stężenie  $^{137}\text{Cs}$  wzdłuż biegu Odry ilustruje Rys.2. Podobnej interpretacji jak dla Wisły nie można zaproponować dla próbek pobranych w Odrze, gdyż gęstości osadów pobranych wiosną i jesienią były podobne, a mimo to w osadach z Głogowa i Krajnika zawartość  $^{137}\text{Cs}$  w osadach pobranych wiosną była znacznie wyższa.

Średnie roczne stężenie  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych jezior mieści się w zakresie od 6,10 Bq/kg w Wigrach do 32,9 Bq/kg w Rogóźnie. Poziom tego radionuklidu w jeziorach jest dość stały (Rys. 3). Jedynie w jeziorze Rogóźnie wystąpiło wysokie stężenie  $^{137}\text{Cs}$  w osadach pobranych wiosną (53,8 Bq/kg). Należy zauważyć, że jezioro to objęte jest systematycznym monitoringiem radiologicznym od 1994 roku i stężenie  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych zmniejsza się bardzo wolno.

Stężenie  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dennych pobranych w okresie wiosennym i jesiennym w dorzeczu Wisły, Odry i w jeziorach przedstawiono w Tabeli 10. W Tabeli podano również średnie roczne stężenie powyższych izotopów.

**Tabela 8.** Stężenie  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych Wisły, Odry ich dopływów i w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2008 r.

Lp.	Miejsce poboru próbki	$^{137}\text{Cs}$ , wiosna $\text{Bq kg}^{-1}$	$^{137}\text{Cs}$ , jesień, $\text{Bq kg}^{-1}$	$^{137}\text{Cs}$ , średnia roczna $\text{Bq kg}^{-1}$
1.	Wisła Kraków Tynec	$11,5 \pm 1,08^{\text{a}}$	$2,72 \pm 0,26^{\text{a}}$	$7,10 \pm 0,96^{\text{a}}$
2.	Wisła Annopol	$5,26 \pm 0,53$	$2,37 \pm 0,22$	$3,82 \pm 0,53$
3.	Wisła Warszawa	$2,32 \pm 0,24$	$1,96 \pm 0,21$	$2,14 \pm 0,31$
4.	Wisła Płock	$0,68 \pm 0,11$	$0,97 \pm 0,11$	$0,82 \pm 0,17$
5.	Wisła Kiezmark	$1,85 \pm 0,18$	$1,89 \pm 0,19$	$1,87 \pm 0,26$
6.	Narew Pułtusk	$13,4 \pm 2,06$	$6,17 \pm 0,59$	$9,80 \pm 1,77$
7.	Bug Wyszków	$1,03 \pm 0,11$	$5,92 \pm 0,59$	$3,48 \pm 0,51$
8.	Odra Chałupki	$24,7 \pm 2,26$	$29,8 \pm 2,74$	$27,2 \pm 3,53$
9.	Odra Wrocław	$3,31 \pm 0,32$	$0,88 \pm 0,11$	$2,09 \pm 0,33$
10.	Odra Głogów	$59,0 \pm 5,44$	$22,4 \pm 2,08$	$40,7 \pm 5,33$
11.	Odra Krajnik	$16,1 \pm 1,50$	$1,22 \pm 0,14$	$8,67 \pm 1,28$
12.	Warta Poznań	$2,27 \pm 0,27$	$0,67 \pm 0,08$	$1,47 \pm 0,23$
13.	Wigry Stary Folwark	$4,26 \pm 0,41$	$7,95 \pm 0,73$	$6,10 \pm 0,81$
14.	Wadąg Myki	$9,16 \pm 0,84$	$5,46 \pm 0,53$	$7,31 \pm 0,97$
15.	Wielkie Partęczyny	$9,09 \pm 0,83$	$11,5 \pm 1,07$	$10,3 \pm 1,34$
16.	Drawsko Stare Drawsko	$6,59 \pm 0,61$	$4,96 \pm 0,47$	$5,77 \pm 0,77$
17.	Niesłysz Niesulice	$5,90 \pm 0,54$	$7,15 \pm 0,67$	$6,52 \pm 0,86$
18.	Rogóźno Rogóźno	$53,8 \pm 4,88$	$12,0 \pm 1,11$	$32,9 \pm 4,23$

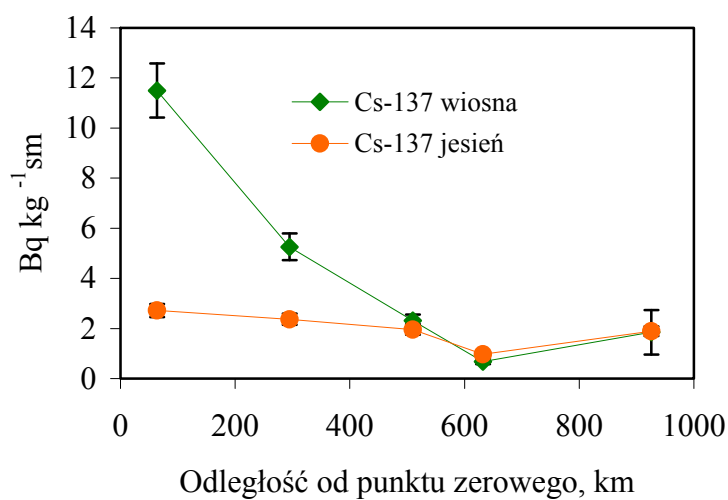
<sup>a)</sup>Wartość  $\pm$  CWN przy poziomie ufności 95%.

**Tabela 9.** Średnie stężenie  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych dorzecza Wisły, Odry i jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego izotopu

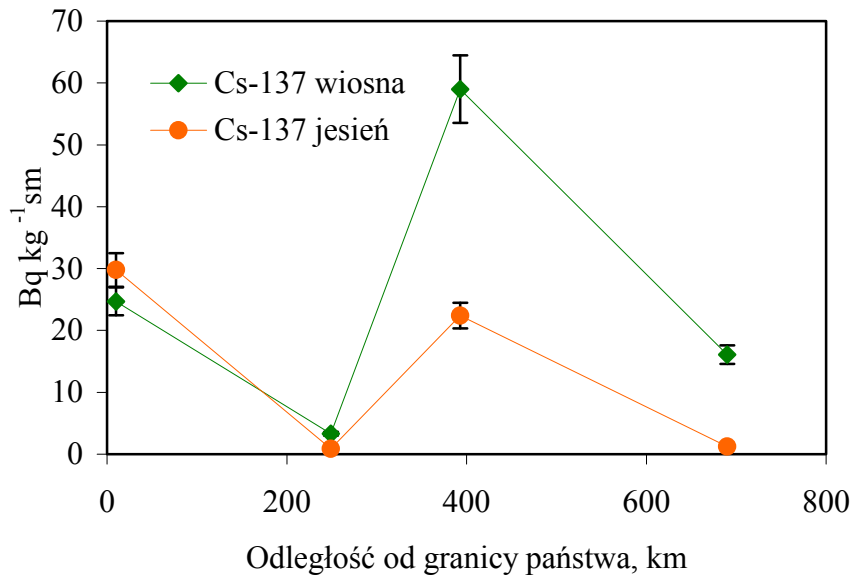
Lokalizacja poboru próbek	$^{137}\text{Cs}$ $\text{Bq kg}^{-1}$ wiosna	$^{137}\text{Cs}$ $\text{Bq kg}^{-1}$ jesień	$^{137}\text{Cs}$ $\text{Bq kg}^{-1}$ średnia roczna
Dorzecze Wisły (7) <sup>a)</sup>	$5,15 \pm 5,24$ <sup>b)</sup>	$3,14 \pm 2,06$	$4,15 \pm 3,20$
Dorzecze Odry (5)	$21,1 \pm 20,7$	$11,0 \pm 14,0$	$17,5 \pm 16,0$
Jeziora (6)	$14,8 \pm 19,2$	$8,16 \pm 2,97$	$11,5 \pm 10,6$
Średnia ogólna (18)	$12,8 \pm 17,0$	$7,00 \pm 7,85$	$8,87 \pm 11,5$

a) Liczba próbek osadów dennych

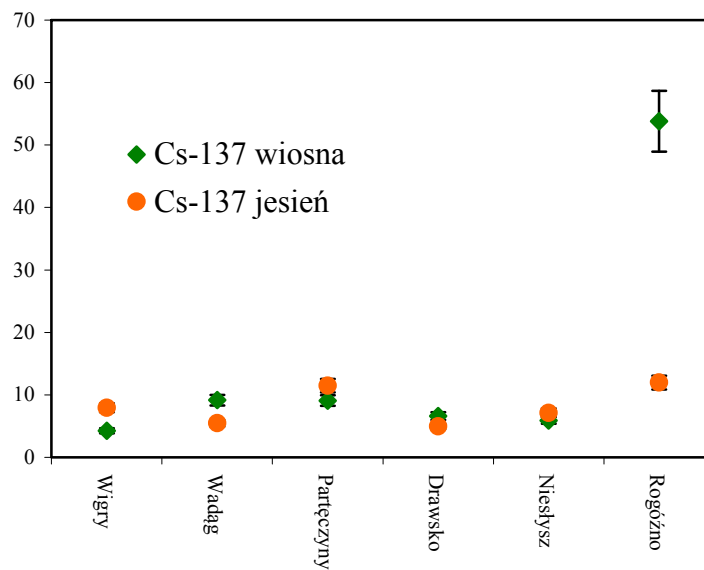
b) Wartość średnia  $\pm$  OS



Rys. 1. Stężenie  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych wzdłuż biegu Wisły, pobranych w okresie wiosennym i jesiennym 2008 roku



Rys. 2. Stężenie <sup>137</sup>Cs w osadach dennych pobranych w okresie wiosennym i jesiennym wzdłuż biegu Odry, 2008r.



Rys. 3. Stężenie <sup>137</sup>Cs w osadach dennych jezior, pobranych w okresie wiosennym i jesiennym 2008 roku

Stężenie <sup>239,240</sup>Pu w osadach dennych rzek zawiera się w granicach od 8,02 mBq/kg w Bugu (Wyszków) do 86,7 mBq/kg w Chałupkach (Odra). W jeziorach zakres ten jest mniejszy i wynosi od 4,68 mBq/kg w Parteczynach do 40,8 mBq/kg w Rogóżnie.

**Tabela 10.** Stężenie  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dennych Wisły, Odry ich dopływów i w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu

Lp.	Miejsce poboru próbki	$^{239,240}\text{Pu}$ wiosna $\text{mBq kg}^{-1}$	$^{239,240}\text{Pu}$ jesień $\text{mBq kg}^{-1}$	$^{239,240}\text{Pu}$ średnia roczna $\text{mBq kg}^{-1}$
1.	Wisła Kraków Tyniec	$44,9 \pm 3,95^{\text{a}}$	$9,18 \pm 1,90$	$27,0 \pm 6,08$
2.	Wisła Annopol	$85,1 \pm 6,54$	$26,3 \pm 6,28$	$55,7 \pm 14,0$
3.	Wisła Warszawa	$21,4 \pm 3,47$	$7,84 \pm 2,29$	$14,6 \pm 4,88$
4.	Wisła Płock	$7,19 \pm 2,91$	$18,7 \pm 4,00$	$13,0 \pm 5,93$
5.	Wisła Kieźmark	$7,89 \pm 3,02$	$8,21 \pm 2,85$	$8,05 \pm 4,16$
6.	Narew Pułtusk	$14,2 \pm 3,94$	$15,3 \pm 4,79$	$14,8 \pm 6,17$
7.	Bug Wyszaków	$8,67 \pm 4,00$	$7,37 \pm 2,17$	$8,02 \pm 4,39$
8.	Odra Chałupki	$84,2 \pm 5,68$	$89,1 \pm 7,60$	$86,7 \pm 9,42$
9.	Odra Wrocław	$23,1 \pm 4,10$	$10,1 \pm 3,25$	$16,6 \pm 6,10$
10.	Odra Głogów	$100 \pm 10,1$	$56,5 \pm 5,53$	$78,3 \pm 11,0$
11.	Odra Krajnik	$12,3 \pm 3,13$	$19,1 \pm 6,82$	$15,7 \pm 6,88$
12.	Warta Poznań	$18,8 \pm 3,04$	$5,21 \pm 1,95$	$12,0 \pm 4,89$
13.	Wigry Stary Folwark	$14,2 \pm 3,06$	$4,62 \pm 2,33$	$9,41 \pm 5,16$
14.	Wadąg Myki	$44,6 \pm 7,90$	$9,18 \pm 3,55$	$26,9 \pm 11,4$
15.	Wielkie Partęczyny	$2,24 \pm 2,15$	$7,11 \pm 4,11$	$4,68 \pm 3,24$
16.	Drawsko Stare Drawsko	$8,88 \pm 2,61$	$9,59 \pm 3,39$	$9,24 \pm 3,25$
17.	Niesłysz Niesulice	$13,4 \pm 4,28$	$12,3 \pm 2,63$	$12,9 \pm 4,94$
18.	Rogóżno Rogóżno	$60,1 \pm 7,88$	$21,4 \pm 5,97$	$40,8 \pm 12,6$

<sup>a)</sup>Wartość  $\pm$  CWN przy poziomie ufności 68%.

Podobnie jak w przypadku  $^{137}\text{Cs}$ , obserwowano znacznie wyższe stężenia  $^{239,240}\text{Pu}$  w górnym biegu Wisły w osadach pobranych wiosną w porównaniu do jesieni. Podwyższony poziom wystąpił również w Wiśle środkowej (Warszawa). W konsekwencji średnie stężenia  $^{239,240}\text{Pu}$  w obu dorzeczach były zdecydowanie wyższe w próbkach pobranych w okresie wiosennym niż w jesiennym (Tabela 11). Również w jeziorach średnie stężenie w osadach pobranych wiosną było ponad dwukrotnie wyższe niż w jesienią.

Dorzecze Odry charakteryzowało się zdecydowanie najwyższym stężeniem  $^{239,240}\text{Pu}$ . Najniższe stężenia zarówno w okresie wiosennym jak i jesiennym zanotowano w jeziorach, natomiast średnie stężenie w dorzeczu Wisły było od 1,7 (wiosna) do 2,7 (jesień) razy niższe niż w dorzeczu Odry.

**Tabela 11.** Średnie stężenie  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dennych dorzecza Wisły, Odry i jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tych izotopów w 2008 roku

Lokalizacja poboru próbek	$^{239,240}\text{Pu}$ mBq kg <sup>-1</sup> wiosna	$^{239,240}\text{Pu}$ mBq kg <sup>-1</sup> jesień	$^{239,240}\text{Pu}$ mBq kg <sup>-1</sup> średnia roczna
Dorzecze Wisły (7) <sup>a)</sup>	27,1 ± 28,8 <sup>b)</sup>	13,3 ± 7,18	20,2 ± 16,9
Dorzecze Odry (5)	46,7 ± 36,8	36,0 ± 35,9	41,8 ± 37,2
Jeziora (6)	23,9 ± 23,0	10,7 ± 5,83	17,3 ± 13,8
Średnia ogólna (18)	31,7 ± 30,9	18,7 ± 21,3	25,2 ± 24,4

a) Liczba próbek osadów dennych

b) Wartość średnia ± OS

W osadach równoległe z  $^{239,240}\text{Pu}$  oznaczano  $^{238}\text{Pu}$ . Stężenie tego ostatniego izotopu było w większości próbek mniejsze od granicy detekcji (2 mBq/kg). Obecność  $^{238}\text{Pu}$  powyżej granicy detekcji daje możliwość określenia stosunku aktywności  $^{238}\text{Pu}$  do  $^{239,240}\text{Pu}$ , a następnie źródła pochodzenia  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dennych. Stosunek ten w opadzie po próbnym wybuchach jądrowych mieścił się w zakresie od 0,03 do 0,05. Z powodu krótszego okresu połowicznego rozpadu  $^{238}\text{Pu}$  wartość tego stosunku uległa zmniejszeniu i w 2000 roku wynosiła średnio 0,029. Stosunek aktywności  $^{238}\text{Pu}$  do  $^{239,240}\text{Pu}$  w opadzie po awarii czarnobylskiej był znacznie wyższy i wynosił średnio 0,5.  $^{238}\text{Pu}$  w stężeniach wyższych od 2 mBq/kg oznaczono w siedmiu osadach pobranych w okresie wiosennym i w sześciu osadach pobranych jesienią. W Tabeli 12 przedstawiono stężenie  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach pochodzenia

globalnego i czarnobylskiego. Udział plutonu czarnobylskiego w górnym i środkowym biegu Wisły wynosił od 21 do 48%, w Narwi ok. 35%, w Głogowie i Chałupkach od ok. 15 do ok. 60%, a w Wigrach – 56% i w Rogóźnie od 14 do 42%.

Na podstawie wyników podanych w Tabeli 12 można wnioskować, że w wyniku awarii czarnobylskiej tylko niektóre rejony Polski zostały skażone izotopami plutonu.

**Tabela 12.** Stężenie  $^{239+240}\text{Pu}$  w osadach dennych, pochodzącego z opadu globalnego i czarnobylskiego w 2008 roku

L.p.	Miejsce poboru próbek	Stężenie Pu globalnego $\text{mBq kg}^{-1}$		Stężenie Pu czarnobylskiego $\text{mBq kg}^{-1}$		Udział Pu czarnobylskiego %	
		wiosna	jesień	wiosna	jesień	wiosna	jesień
1.	Wisła Kraków Tyniec	23,3	-	21,6	-	48	-
2.	Wisła Annopol	58,6	15,4	26,5	10,9	31	41
3.	Wisła Warszawa	16,8	-	4,57	-	21	-
4.	Wisła Płock	-	12,7	-	6,0	-	32
5.	Narew Pułtusk	-	9,9	-	5,4	-	35
6.	Odra Głogów	81,9	47,3	18,1	9,2	18	16
7.	Odra Chałupki	34,2	75,2	50,0	14,0	59	15
8.	Wigry Stary Folwark	6,24	-	7,96	-	56	-
9.	Rogóźnie	51,4	12,5	8,75	8,9	14	42

### PODSUMOWANIE I WNIOSKI

1. W ramach monitoringu skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych w 2008 roku pobrano dwukrotnie próbki wody i osadów dennych w 18 punktach, zlokalizowanych w dorzeczu Wisły (7 punktów poboru), w dorzeczu Odry (5 punktów poboru) i w wybranych jeziorach (6 jezior). Miejsca poboru próbek były zgodne z ustaleniami z Głównym Inspektorem Ochrony Środowiska.



2. Średnie roczne stężenie  $^{137}\text{Cs}$  w wodach rzek mieściło się w granicach od 1,47 mBq/l w Pułtusk (Narew) do 3,65 mBq/l w Odrze w Chałupkach, natomiast w jeziorach wynosiło od 1,39 mBq/l w Wigrach do 6,87 mBq/l w jeziorze Rogóźno.
3. Stężenie  $^{90}\text{Sr}$  w wodach rzek i jezior było zdecydowanie wyższe niż stężenie  $^{137}\text{Cs}$ . Średnie stężenie  $^{90}\text{Sr}$  wahało się od 2,70 mBq/l w wodzie z Wisły pobranej w Warszawie do 4,09 mBq/l w wodzie pobranej w Tyńcu, również z Wisły. W jeziorach zakres stężeń był szerszy i wynosił od 1,87 mBq/l w wodzie pobranej w jeziorze Niestysz do 8,70 mBq/l w Rogóźnie.
4. Średni stosunek aktywności Sr-90 do Cs-137 w wodach dorzecza Wisły wynosił 1,76 był ok. 40% wyższy niż w dorzeczu Odry (1,25) i w jeziorach (1,22). Wynika to z niższych stężeń  $^{137}\text{Cs}$  w wodzie Wisły i jej dopływów w porównaniu z Odrą i jeziorami oraz wyrównanego poziomu  $^{90}\text{Sr}$ . Zakresy stosunków aktywności  $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$  w poszczególnych próbkach wody mieszczą się w szerokich granicach, co może wynikać z różnego stopnia wymywania obu izotopów z gleby do zbiorników wodnych. Cez jest silniej wiązany ze składnikami gleby; w glebie kationy cezu są mniej ruchliwe niż kationy strontu.
5. Średnie roczne stężenia  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych rzek zawierały się w szerokich granicach od 0,82 Bq/kg w próbce pobranej w Wiśle w Płocku do 40,7 Bq/kg w osadzie dennym pobranym w Odrze w Głogowie. W wielu przypadkach wystąpiły wyraźne różnice w stężeniu  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych pobranych w okresie wiosennym i jesiennym w tym samym punkcie poboru.
6. Średnie roczne stężenie  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych jezior mieści się w zakresie od 6,10 Bq/kg w Wigrach do 32,9 Bq/kg w Rogóźnie. Poziom tego radionuklidu w jeziorach jest raczej stały. Jedynie w jeziorze Rogóźno wystąpiło wysokie stężenie  $^{137}\text{Cs}$  w osadach pobranych wiosną (53,8 Bq/kg). Należy zauważyć, że jezioro to objęte jest systematycznym monitoringiem radiologicznym od 1994 roku i stężenie  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych ulega powolnemu spadkowi.
7. Stężenie  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dennych rzek zawiera się w granicach od 8,02 mBq/kg w Bugu (Wyszków) do 86,7 mBq/kg w Chałupkach (Odra). W jeziorach zakres ten jest mniejszy i wynosi od 4,68 mBq/kg w Parteczynach do 40,8 mBq/kg w Rogóźnie. Dorzecze Odry charakteryzowało się zdecydowanie najwyższym stężeniem  $^{239,240}\text{Pu}$ . Najniższe stężenie zarówno w okresie wiosennym jak i jesiennym zanotowano w jeziorach, natomiast średnie stężenie w dorzeczu Wisły i było ono od 1,7 (wiosna) do 2,7 (jesień) razy niższe niż w dorzeczu Odry.

8. Stężenie  $^{238}\text{Pu}$  było w większości próbek mniejsze od granicy detekcji (2 mBq/kg). Jedynie w 7-miu osadach pobranych w okresie wiosennym i w 6-ciu pobranych w okresie jesiennym oznaczono stężenie  $^{238}\text{Pu}$ , a na podstawie stosunku aktywności  $^{238}\text{Pu}$  do  $^{239,240}\text{Pu}$  obliczono udział  $^{239,240}\text{Pu}$  pochodzenia czarnobylskiego. Udział plutonu czarnobylskiego w górnym i środkowym biegu Wisły wynosił od 21 do 48%, w Narwi ok. 35%, w Głogowie i Chałupkach od ok. 15 do ok. 60%, a w Wigrach – 56% i w Rogóźnie od 14 do 42%. Powyższe wyniki potwierdzają wcześniejsze obserwacje, że terytorium Polski w niewielkim stopniu zostało skażone plutonem po awarii reaktora w Czarnobylu.
9. Monitoring skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych pozwala na stwierdzenie, że skażenie wód powierzchniowych  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  jest niewielkie. Również skażenie  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{239,240}\text{Pu}$  osadów dennych pozostaje na niskim poziomie.