

**MONITORING SKAŻEŃ PROMIENIOTWÓRCZYCH WÓD  
POWIERZCHNIOWYCH I OSADÓW DENNYCH  
W LATACH 2013-2015**

**ETAP I**

**Raport roczny**

**Rok 2013**

M. Kardaś, A.Fulara, B Rubel M. Suplińska, A.Adameczyk



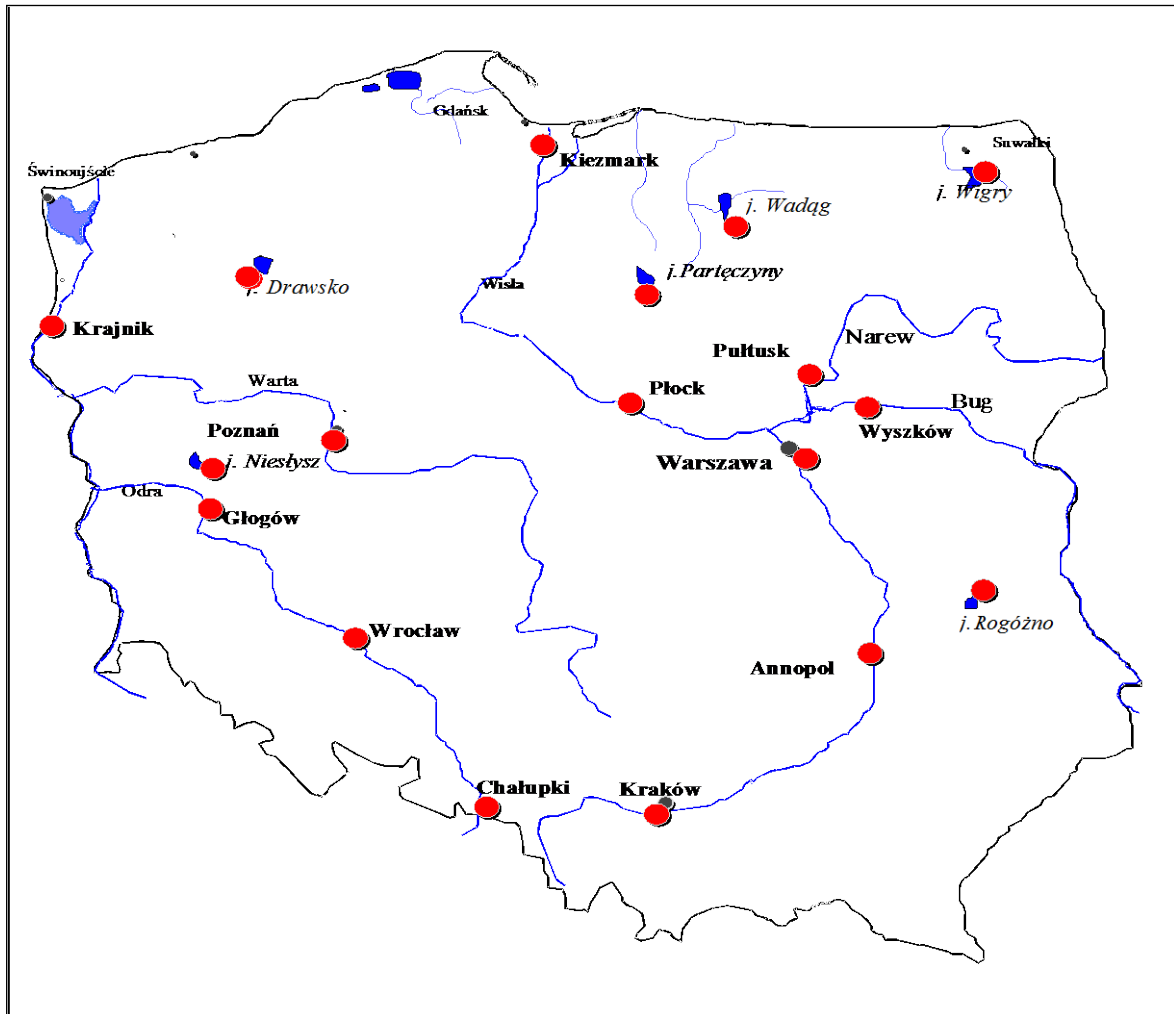
Opracowanie wykonano na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (umowa nr 12/F/2013 z dnia 27.05.2013r.) finansowane ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

**Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej**

**Listopad 2013**

## 1. LOKALIZACJA PUNKTÓW POMIAROWYCH Z PRZEDSTAWIENIEM NA MAPIE.

Usytuowanie miejsc poboru próbek przedstawia Rys. 1, a wykaz punktów poboru wody i osadów dennych oraz współrzędne geograficzne miejscowości, w których pobierano próbki podano w Tabeli 1 i 2.



Rys. 1. Usytuowanie miejsc poboru wód i osadów dennych.

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

<b>Jezioro i miejsce poboru</b>	<b>Województwo</b>	<b>Data poboru próbek wiosna</b>	<b>Data poboru próbek jesień</b>	<b>Długość geograficzna wschodnia DMS</b>	<b>Szerokość geograficzna północna DMS</b>
<b>Drawsko, Stare Drawsko</b>	<i>zachodnio-pomorskie</i>	15.05	30.08	16°11'51"	53°36'08"
<b>Wadąg, Myki</b>	<i>warmińsko-mazurskie</i>	20.06	12.09	20°32'35"	53°49'10"
<b>Wielkie, Partęczyny</b>	<i>kujawsko-pomorskie</i>	3.06	13.09	19°13'02"	53°28'13"
<b>Rogóżno</b>	<i>lubelskie</i>	13.05	27.08	22°59'25"	51°22'03"
<b>Niesłysz, Niesulice</b>	<i>lubuskie</i>	14.05	29.08	15°24'05"	52°12'41"
<b>Wigry, Stary Folwark</b>	<i>podlaskie</i>	20.06	12.09	23°03'24"	54°05'07"

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

<b>Rzeka</b>	<b>Miejsce poboru próbek</b>	<b>Data poboru próbek wiosna</b>	<b>Data poboru próbek jesień</b>	<b>Długość geograficzna wschodnia DMS</b>	<b>Szerokość geograficzna północna DMS</b>
<b>Wisła</b>	<b>Kraków Tyniec</b>	13.05	27.08	20°10'48"	50°42'50"
	<b>Annopol</b>	13.05	27.08	21°51'33"	50°53'10"
	<b>Warszawa</b>	21.06	20.09	21°00'59"	52°14'07"
	<b>Płock</b>	21.06	21.10	19°41'52"	52°32'50"
	<b>Kiezmark</b>	3.06	13.09	18°55'51"	54°15'14"
<b>Narew</b>	<b>Pułtusk</b>	21.06	12.09	21°05'08"	52°42'18"
<b>Bug</b>	<b>Wyszków</b>	21.06	12.09	21°27'22"	52°36'10"
<b>Odra</b>	<b>Chałupki</b>	13.05	28.08	18°19'10"	49°55'22"
	<b>Wrocław</b>	14.05	28.08	17°02'12"	51°06'34"
	<b>Głogów</b>	14.05	28.08	16°04'55"	51°39'11"
	<b>Krajnik</b>	14.05	28.08	14°28'50"	53°11'44"
<b>Warta</b>	<b>Poznań</b>	15.05	30.08	16°55'21"	52°24'30"

## 2. OPIS METODY POBORU I POMIARU PRÓBEK WODY I OSADÓW DENNYCH.

### 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 zakwaszano 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 kamyczków i części roślin, suszono w temp. 105°C do stałej wagi i przesiewano przez sito o średnicy oczek 2 mm.

CLOR posiada wdrożony System Zarządzania Laboratorium wg normy PN-EN ISO/IEC 17025:2005 i poniżej opisane metody są stosowane od wielu lat.

Stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych,  $^{90}\text{Sr}$  w wodach i  $^{238}\text{Pu}$  i  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dennych oznaczano zgodnie z metodami akredytowanymi.

W celu zapewnienia jakości laboratorium bierze udział w porównaniach między laboratoryjnych krajowych i zagranicznych osiągając bardzo dobre wyniki.

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

Stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  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 stężenia promieniotwórczego  $^{90}\text{Sr}$  stosowano metodę polegającą na oznaczeniu  $^{90}\text{Y}$ , krótko żyjącego 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 stężenia promieniotwórczego  $^{90}\text{Sr}$  wynosiła od 76 do 100%.

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. 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 stężenia promieniotwórczego  $^{90}\text{Sr}$  dla czasu pomiaru 120 min wynosi 0,45 mBq/l.

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

Stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  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 osłonnym 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.

Zasada metody oznaczania stężenia promieniotwórczego  $^{239,240}\text{Pu}$  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 metodą spektrometrii alfa. Układ pomiarowy składał się z detektorów krzemowych typu PIPS (implantowane, płaskie o pasywowanej powierzchni) umieszczonych w komorach próżniowych i połączonych z analizatorem wielokanałowym Multiport II MCA (Canberra MP2-GE) z oprogramowaniem spektrometrycznym GENIE 2000. Pomiar prowadzono przez 164000 s, granica detekcji wynosiła 0,2 mBq/ próbkę.

### 3. ANALIZA WYNIKÓW OZNACZEŃ STĘŻEŃ $^{137}\text{Cs}$ I $^{90}\text{Sr}$ W PRÓBKACH WODY POBRANEJ W PUNKTACH BADAWCZYCH W BADANYM ROKU.

#### 3.1. Ocena zawartości $^{137}\text{Cs}$ w wodach badanych rzek z uwzględnieniem podziału na dorzecza.

W Tabeli 3 przedstawiono stężenia promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w próbkach wody z poszczególnych miejsc poboru próbek w rzekach w okresie wiosennym i jesiennym 2013 roku oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu. Średnie stężenia  $^{137}\text{Cs}$  w wodach rzek mieściły się w granicach od 1,98 mBq/l w Warcie (Poznań) do 5,23 mBq/l w Odrze (Wrocław). Zakres średnich rocznych stężeń  $^{137}\text{Cs}$  dla dorzecza Wisły mieści się w przedziale od 2,65 do 4,92 mBq/l a, dla dorzecza Odry od 1,98 do 4,46 mBq/l.

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

Lp.	Miejsce poboru próbki	$^{137}\text{Cs}$ , wiosna mBq l <sup>-1</sup>	$^{137}\text{Cs}$ , jesień, mBq l <sup>-1</sup>	$^{137}\text{Cs}$ , średnia roczna mBq l <sup>-1</sup>
<b>DORZECZE ODRY</b>				
1.	Wisła Kraków Tyniec	5,65 ± 0,63 <sup>a)</sup>	4,18 ± 0,49	4,92 ± 1,04 <sup>b)</sup>
2.	Wisła Anopol	2,63 ± 0,37	3,59 ± 0,43	3,11 ± 0,68
3.	Wisła Warszawa	2,97 ± 0,37	1,92 ± 0,26	2,45 ± 0,74
4.	Wisła Plock	2,99 ± 0,37	2,82 ± 0,35	2,91 ± 0,12
5.	Wisła Kiezmark	3,27 ± 0,40	2,64 ± 0,33	2,96 ± 0,45
6.	Narew Pultusk	2,77 ± 0,35	2,43 ± 0,31	2,60 ± 0,24
7.	Bug Wyszków	2,00 ± 0,27	4,30 ± 0,49	3,15 ± 1,63
<b>DORZECZE ODRY</b>				
8.	Odra Chałupki	1,66 ± 0,24	7,25 ± 0,79	4,46 ± 3,95
9.	Odra Wrocław	5,16 ± 0,58	5,30 ± 0,59	5,23 ± 0,10
10.	Odra Głogów	4,42 ± 0,41	4,22 ± 0,49	3,82 ± 0,57
11.	Odra Krajnik	2,41 ± 0,16	2,03 ± 0,15	2,22 ± 0,27
12.	Warta Poznań	1,77 ± 0,25	2,18 ± 0,29	1,98 ± 0,29

<sup>a)</sup> Liczba próbek wody

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

### 3.2. Ocena zawartości $^{90}\text{Sr}$ w wodach badanych rzek z uwzględnieniem podziału na dorzecza.

Stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w wodzie badanych rzek różniło się znacznie. Najniższą wartość stężenia promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  odnotowano w próbce wody pobranej jesienią z Bugu w Wyszkanie – 1,56 mBq/l, najwyższą zaś w próbce wody pobranej wiosną również z Bugu – 11,59 mBq/l (Tabela 4.). Średnie roczne stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w wodach badanych rzek wahało się od 3,04 mBq/l w wodzie z Narwi (Pułtusk) do 6,58 mBq/l w wodzie pobranej z Bugu w Wyszkanie. Zakres średnich rocznych stężeń  $^{90}\text{Sr}$  dla dorzecza Wisły i Odry jest zbliżony i mieści się w przedziale od 3 do 6,5 mBq/l.

**Tabela 4.** Stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w wodach dorzecza Wisły i Odry w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu.

Lp.	Miejsce poboru próbki	$^{90}\text{Sr}$ , wiosna mBq l <sup>-1</sup>	$^{90}\text{Sr}$ , jesień, mBq l <sup>-1</sup>	$^{90}\text{Sr}$ , średnia roczna mBq l <sup>-1</sup>
<b>DORZECZE WISŁY</b>				
1.	Wisła Kraków Tynieć	4,46 ± 0,87 <sup>a)</sup>	2,56 ± 0,52	3,52 ± 1,34 <sup>b)</sup>
2.	Wisła Anopol	4,38 ± 0,81	3,25 ± 0,66	3,82 ± 0,80
3.	Wisła Warszawa	4,62 ± 0,90	3,41 ± 0,70	4,02 ± 0,86
4.	Wisła Płock	5,05 ± 0,96	1,96 ± 0,40	3,51 ± 2,18
5.	Wisła Kieźmark	5,71 ± 1,20	1,59 ± 0,33	3,65 ± 2,91
6.	Narew Pułtusk	3,61 ± 0,69	2,46 ± 0,50	3,04 ± 0,81
7.	Bug Wyszaków	11,59 ± 2,18	1,56 ± 0,32	6,58 ± 7,09
<b>DORZECZE ODRY</b>				
8.	Odra Chalupki	4,88 ± 0,88	3,01 ± 0,61	3,95 ± 1,32
9.	Odra Wrocław	4,60 ± 0,83	3,70 ± 0,76	4,15 ± 0,64
10.	Odra Głogów	4,65 ± 0,88	2,54 ± 0,52	3,60 ± 1,49
11.	Odra Krajnik	4,83 ± 0,87	3,45 ± 0,70	4,14 ± 0,98
12.	Warta Poznań	6,00 ± 1,16	6,22 ± 1,27	6,11 ± 0,16

<sup>a)</sup> Liczba próbek wody

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

### 3.3. Ocena zawartości $^{137}\text{Cs}$ w wodach badanych jezior.

W Tabeli 5. przedstawiono stężenia promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w próbkach wody z poszczególnych miejsc poboru próbek w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym 2013 roku oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu. Średnie stężenia  $^{137}\text{Cs}$  w wodach jezior mieściły się w granicach od 0,76 mBq/l jesienią w jeziorze Drawsko do 5,88 mBq/l w jeziorze Rogóžno wiosną. Zakres średnich rocznych stężeń promieniotwórczych  $^{137}\text{Cs}$  wynosił od 1,69 mBq/l w jeziorze Wadąg do 5,59 mBq/l w jeziorze Rogóžno. Najwyższe wartości średnie stężenia promieniotwórczego  $^{137}\text{Cs}$  zanotowano w próbkach wody z jeziora Rogóžno. W przypadku tego jeziora na ogół obserwujemy podwyższone wartości stężeń promieniotwórczych badanych pierwiastków w stosunku do pozostałych jezior. Jezioro Rogóžno nie jest jeziorem przepływowym, co może powodować kumulację badanych nuklidów. Wpływ na poziom badanych pierwiastków może mieć również ilość i rodzaj cieków wodnych wpływających do jeziora.

**Tabela 5.** Stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w wodach jezior w okresie wiosennym, i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu.

Lp.	Miejsce poboru próbki	$^{137}\text{Cs}$ , wiosna mBq l <sup>-1</sup>	$^{137}\text{Cs}$ , jesień, mBq l <sup>-1</sup>	$^{137}\text{Cs}$ , średnia roczna mBq l <sup>-1</sup>
1	Wigry Stary Folwark	2,33 ± 0,30 <sup>a)</sup>	2,94 ± 0,36	2,64 ± 0,43 <sup>b)</sup>
2	Wadąg Myki	1,50 ± 0,22	1,88 ± 0,26	1,69 ± 0,27
3	Wielkie Partęczyny	2,70 ± 0,34	1,06 ± 0,17	1,88 ± 1,16
4	Drawsko Stare Drawsko	2,81 ± 0,30	0,76 ± 0,14	2,83 ± 2,92
5	Niesłysz Niesulice	5,63 ± 0,56	2,67 ± 0,34	4,15 ± 2,09
6	Rogóžno Rogóžno	5,88 ± 0,65	5,30 ± 0,59	5,59 ± 0,41

<sup>a)</sup> Liczba próbek wody

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



### 3.4. Ocena zawartości $^{90}\text{Sr}$ w wodach badanych jezior.

**Tabela 6.** Stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w wodach jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu.

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	Wigry Stary Folwark	$2,52 \pm 0,48^{\text{a}}$	$1,42 \pm 0,29$	$1,97 \pm 0,78^{\text{b}}$
2	Wadąg Myki	$2,65 \pm 0,57$	$2,26 \pm 0,46$	$2,46 \pm 0,28$
3	Wielkie Partęcz. Partęczyny	$2,16 \pm 0,45$	$1,69 \pm 0,34$	$1,93 \pm 0,33$
4	Drawsko Stare Drawsko	$3,67 \pm 0,72$	$4,68 \pm 0,96$	$4,18 \pm 0,71$
5	Niesłysz Niesulice	$2,49 \pm 0,49$	$1,35 \pm 0,28$	$1,92 \pm 0,81$
6	Rogóżno Rogóżno	$8,36 \pm 1,63$	$7,56 \pm 1,55$	$7,96 \pm 0,57$

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

<sup>b)</sup>Wartość średnia  $\pm$  Odchylenie Standardowe (OS)

W Tabeli 6. przedstawiono stężenia promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w próbkach wody z poszczególnych miejsc poboru próbek w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym 2013 roku oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu.

Najniższą wartość stężenia promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  odnotowano w próbce wody pobranej jesienią z jeziora Niesłysz – 1,35 mBq/l, najwyższą zaś w próbce wody pobranej wiosną w Rogóżnie – 8,36 mBq/l. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w wodach badanych jezior wahało się od 1,92 mBq/l w wodzie z jeziora Niesłysz do 7,96 mBq/l w wodzie pobranej w Rogóżnie. Podobnie jak w przypadku  $^{137}\text{Cs}$  najwyższe wartości średnie stężenia promieniotwórczego  $^{90}\text{Sr}$  zanotowano w próbkach wody z jeziora Rogóżno.

### 3.5. Porównanie zawartości $^{137}\text{Cs}$ w wodach badanych rzek z zawartościami notowanym w jeziorach.

Średnie stężenia promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w wodach dorzecza Wisły, dorzecza Odry i w jeziorach oraz wartości średnie dla wszystkich wód, pobieranych w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne przedstawiono w Tabeli 7. Najniższe średnie stężenie

promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  określono w jeziorach w okresie jesiennym i wynosiło 2,44 mBq/l, najwyższe zaś w dorzeczu Odry – 4,20 mBq/l również jesienią.

Średnie roczne stężenia promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w wodach dorzeczy i jezior były na wyrównanym poziomie 3,13 – 3,54 mBq/l. Najmniejsze różnice w stężeniach promieniotwórczych  $^{137}\text{Cs}$  odnotowano dla wód dorzecza Wisły, największe dla wód dorzecza Odry.

**Tabela 7.** Średnie stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  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	$^{137}\text{Cs}$ mBq l <sup>-1</sup> zakres
Dorzecze Wisły (7) <sup>a)</sup>	3,18 ± 1,16 <sup>b)</sup>	3,13 ± 0,91	3,15 ± 1,00 (14)	1,92 – 5,65
Dorzecze Odry (5)	2,88 ± 1,45	4,20 ± 2,20	3,54 ± 1,89 (10)	1,66 – 7,25
Jeziora (6)	3,82 ± 1,87	2,44 ± 1,64	3,13 ± 1,83 (12)	1,06 – 5,88
Średnia ogólna (18)	3,31 ± 1,47	3,19 ± 1,65	3,25 ± 1,54 (36)	1,06 – 7,25

<sup>a)</sup> Liczba próbek wody

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

### 3.6. Porównanie zawartości $^{90}\text{Sr}$ w wodach badanych rzek z zawartościami notowanym w jeziorach.

**Tabela 8.** Średnie stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  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	$^{90}\text{Sr}$ mBq l <sup>-1</sup> zakres
Dorzecze Wisły (7) <sup>a)</sup>	5,63 ± 2,70 <sup>b)</sup>	2,40 ± 0,74	4,02 ± 2,54 (14)	1,56 – 11,59
Dorzecze Odry (5)	4,99 ± 0,58	3,78 ± 1,43	4,39 ± 1,21 (10)	3,01 – 6,22
Jeziora (6)	3,64 ± 2,37	3,16 ± 2,49	3,40 ± 2,33 (12)	1,35 – 8,36
Średnia ogólna (18)	4,79 ± 2,25	3,04 ± 1,68	3,91 ± 2,15 (36)	1,35 – 11,59

<sup>a)</sup> Liczba próbek wody

<sup>b)</sup> Wartość średnia ± OS

Średnie stężenia promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w próbkach wody były wyższe w okresie wiosenny niż jesiennym zarówno dla dorzecza Wisły, Odry jak i jezior. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w dorzeczu Wisły i Odry wynosiło odpowiednio 4,02 mBq/l i 4,39 mBq/l, a w jeziorach 3,40 mBq/l (Tabela 8). Najmniejsze różnice w stężeniach  $^{90}\text{Sr}$ , zarówno dla próbek pobranych wiosną jak i jesienią, odnotowano dla wód dorzecza Odry.

### 3.7. Analiza zależności pomiędzy zawartościami $^{137}\text{Cs}$ i $^{90}\text{Sr}$ w próbkach badanych w danym roku.

Stosunek średnich stężeń promieniotwórczych  $^{90}\text{Sr}$  do  $^{137}\text{Cs}$  prawie we wszystkich próbkach wody pobranej z rzek był większe od jednośc (1,17-3,09), jedynie w czterech próbkach było mniejszy od jednośc (0,71-0,94). W wodach pobranych w jeziorach, w dwóch przypadkach stężenie  $^{137}\text{Cs}$  przewyższało stężenie  $^{90}\text{Sr}$ . Średnie roczne wartości stosunku stężenia  $^{90}\text{Sr}$  do  $^{137}\text{Cs}$  w wodach dorzecza Wisły, dorzecza Odry i jezior przedstawiono w Tabeli 9.

**Tabela 9.** Średnie roczne stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w oraz stosunek średnich rocznych stężenie.

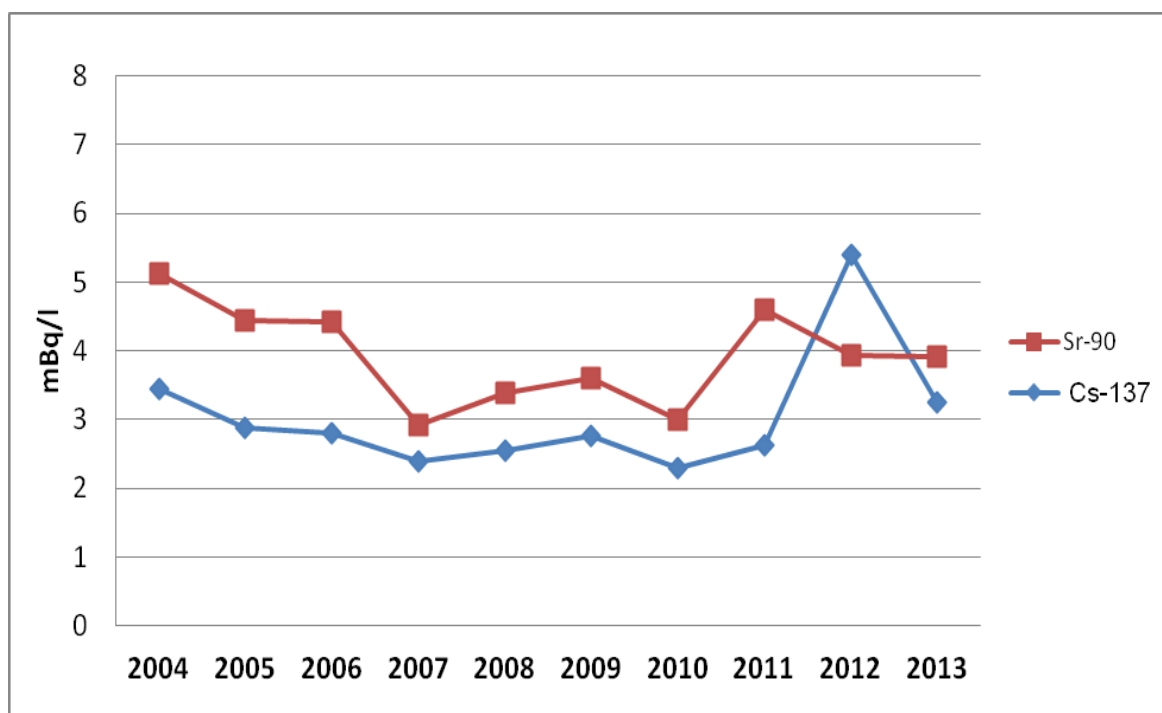
Lokalizacja poboru próbek	$^{137}\text{Cs}$ mBq l <sup>-1</sup> średnia roczna	$^{90}\text{Sr}$ mBq l <sup>-1</sup> średnia roczna	$\frac{^{90}\text{Sr}}{^{137}\text{Cs}}$
Dorzecze Wisły (7) <sup>a)</sup>	3,15 ± 1,00 (14)	4,02 ± 2,54 (14)	1,27
Dorzecze Odry (5)	3,54 ± 1,89 (10)	4,39 ± 1,21 (10)	1,24
Jeziora (6)	3,13 ± 1,83 (12)	3,40 ± 2,33 (12)	1,09
Średnia ogólna (18)	3,25 ± 1,54 (36)	3,91 ± 2,15 (36)	1,20

<sup>a)</sup> Liczba próbek wody

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

Przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  w wodach rzek i jezior w latach 2004 – 2013 przedstawiono na Rys.2. Podane wartości są średnimi arytmetycznymi z oznaczeń poszczególnych radionuklidów w próbkach wody i osadów dennych pobranych w kolejnych latach monitoringu. Najwyższy średni poziom stężeń

badanych radionuklidów zanotowano w pierwszym roku obserwacji. W kolejnych latach średni poziom  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  w wodach nieznacznie ulegał zmianom – pozostając na niskim poziomie. Zawartość  $^{90}\text{Sr}$  w wodach była naogół wyższa niż zawartość  $^{137}\text{Cs}$  z wyjątkiem roku 2012. Należy jednak zauważyć, że najniższe wartości rocznych średnich stężeń promieniotwórczych dla obu radionuklidów uzyskano w latach 2007 i 2010, gdzie miały miejsce wiosenne powodzie w naszym kraju. Możemy zatem przypuszczać, że duże masy wody spowodowały rozcieńczenie oznaczanych izotopów. To przypuszczenie potwierdzają również wyższe stężenia  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  uzyskane w 2011 i 2012 roku, gdzie pobór prób odbywał się przy niskich i bardzo niskich poziomach wód. W bieżącym roku warunki pogodowe były bardziej zmienne, a stany wód w okresie poboru prób wahały się od niskich do średnich. W stosunku do ubiegłego roku stężenie  $^{90}\text{Sr}$  utrzymuje się na tym samym poziomie, a odnotowano wyraźny spadek stężenia  $^{137}\text{Cs}$ . Stężenia  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  w wodach pozostają nadal na bardzo niskim poziomie.



**Rys.2.** Średnie roczne stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  w wodach rzek i jezior w Polsce w latach 2004 – 2013.

**4. ANALIZA WYNIKÓW OZNACZEŃ STĘŻEŃ  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{Pu}$  I  $^{239,240}\text{Pu}$  W ODSADACH DENNYCH POBRANYCH W PUNKTACH BADAWCZYCH W DANYM ROKU.**

**4.1. Ocena zawartości  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych badanych rzek z uwzględnieniem podziału na dorzecza.**

**Tabela 10.** Stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych dorzecza Wisły i Odry w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu.

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 $\text{Bq kg}^{-1}$
<b>DORZECZE WISŁY</b>				
1.	Wisła Kraków Tynec	$63,75 \pm 3,64^{\text{a}}$	$1,97 \pm 0,06$	$32,86 \pm 43,69^{\text{b}}$
2.	Wisła Annopol	$2,61 \pm 0,11$	$0,98 \pm 0,18$	$1,80 \pm 1,15$
3.	Wisła Warszawa	$5,14 \pm 0,16$	$1,72 \pm 0,05$	$3,43 \pm 2,42$
4.	Wisła Płock	$2,69 \pm 0,12$	$0,74 \pm 0,05$	$1,72 \pm 1,38$
5.	Wisła Kieźmark	$1,42 \pm 0,10$	$1,04 \pm 0,41$	$1,23 \pm 0,27$
6.	Narew Pułtusk	$11,48 \pm 0,32$	$5,23 \pm 0,17$	$8,26 \pm 1,09$
7.	Bug Wyszków	$8,05 \pm 0,24$	$0,72 \pm 0,05$	$4,39 \pm 5,18$
<b>DORZECZE ODRY</b>				
8.	Odra Chalupki	$8,86 \pm 0,40$	$5,18 \pm 0,19$	$7,02 \pm 2,60$
9.	Odra Wrocław	$3,41 \pm 0,14$	$3,12 \pm 0,13$	$3,27 \pm 0,21$
10.	Odra Głogów	$11,66 \pm 0,38$	$3,04 \pm 0,47$	$7,35 \pm 6,10$
11.	Odra Krajnik	$1,48 \pm 0,11$	$3,62 \pm 0,19$	$2,55 \pm 1,51$
12.	Warta Poznań	$3,62 \pm 0,19$	$1,03 \pm 0,08$	$2,33 \pm 1,83$

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

<sup>b)</sup>Wartość średnia  $\pm$  Odchylenie Standardowe (OS)

Stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych Wisły, Odry ich dopływów w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu przedstawiono w Tabeli 10. Najniższe stężenie  $^{137}\text{Cs}$  ( $0,72 \text{ Bq/kg}$ ) było

oznaczone jesienią w osadzie pobranym z Bugu w Wyszku, a największe (63,75 Bq/kg) wiosną w osadzie z Wisły pobranym w Tyńcu. Średnie roczne stężenia tego izotopu zawierały się w granicach od 1,23 Bq/kg w osadzie pobranym z Wisły w Kieźmarku do 38,86 Bq/kg w osadzie pobranym z Wisły w Tyńcu.

#### 4.2. Ocena zawartości $^{238}\text{Pu}$ i $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych badanych rzek z uwzględnieniem podziału na dorzecza.

**Tabela 11.** Stężenie promieniotwórcze  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dorzecza Wisły i Odry w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu.

Lp.	Miejsce poboru próbki	$^{239,240}\text{Pu}$ wiosna mBq kg <sup>-1</sup>	$^{239,240}\text{Pu}$ jesień mBq kg <sup>-1</sup>	$^{239,240}\text{Pu}$ średnia roczna mBq kg <sup>-1</sup>
<b>DORZECZE WISŁY</b>				
1.	Wisła Kraków Tynec	225,75 ± 10,55	9,49 ± 1,89	117,62±152,92 <sup>b)</sup>
2.	Wisła Annopol	43,15 ± 4,35	29,07 ± 2,88	36,11 ± 9,96
3.	Wisła Warszawa	45,99 ± 2,26	24,39 ± 3,78	35,19 ± 15,27
4.	Wisła Płock	29,41 ± 4,01	15,99 ± 3,50	22,70 ± 9,49
5.	Wisła Kieźmark	9,94 ± 2,23	7,50 ± 2,92	8,72 ± 13,72
6.	Narew Pułtusk	41,85 ± 15,71	22,45 ± 3,50	32,15 ± 7,26
7.	Bug Wyszku	62,08 ± 4,31	4,86 ± 2,29	33,47 ± 40,46
<b>DORZECZE ODRY</b>				
8.	Odra Chalupki	82,92 ± 8,30	30,50 ± 4,86	56,71 ± 37,07
9.	Odra Wrocław	37,13 ± 4,45	25,70 ± 3,01	31,42 ± 8,08
10.	Odra Głogów	62,84 ± 4,94	15,7 ± 1,80	36,08 ± 37,84
11.	Odra Krajnik	31,17 ± 4,69	5,18 ± 2,76	18,18 ± 18,38
12.	Warta Poznań	43,48 ± 6,44	15,70 ± 3,45	29,59 ± 19,64

<sup>a)</sup> Wartość ± CWN przy poziomie ufności 68%.

<sup>b)</sup> Wartość średnia ± OS

Stężenie  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dennych pobranych w okresie wiosennym i jesiennym w dorzeczu Wisły i Odry przedstawiono w Tabeli 11. W tabeli podano również średnie roczne stężenie powyższych izotopów.

Średnie roczne stężenie  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dennych zawiera się w granicach od 8,72 mBq/kg w Wiśle (Kiezmark) do 117,62 mBq/kg również w Wiśle (Kraków, Tyniec).

Stężenie  $^{238}\text{Pu}$  w osadach dennych było w większości przypadków mniejsze od granicy detekcji (2 mBq/kg). W przypadku dorzeczy Wisły i Odry  $^{238}\text{Pu}$  został oznaczony w 4 z pośród 42 próbek osadów pobranych z :

- Wisły – wiosną w Tyńcu ( $26,19 \pm 4,22$  mBq/ kg), Annopolu ( $6,78 \pm 2,79$  mBq/ kg) i Wyszku ( $6,18 \pm 3,15$  mBq/ kg)
- Odry – jesienią w Chałupkach ( $4,48 \pm 2,09$  mBq/ kg).

#### 4.3. Ocena zawartości $^{137}\text{Cs}$ w osadach dennych badanych jezior.

**Tabela 12.** Stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu.

Lp.	Miejsce poboru próbki	$^{137}\text{Cs}$ , wiosna Bq kg <sup>-1</sup>	$^{137}\text{Cs}$ , jesień, Bq kg <sup>-1</sup>	$^{137}\text{Cs}$ , średnia roczna Bq kg <sup>-1</sup>
3.	Wigry Stary Folwark	$5,12 \pm 0,17$	$3,60 \pm 0,14$	$4,36 \pm 1,07$
4.	Wadąg Myki	$1,47 \pm 0,09$	$1,17 \pm 0,06$	$1,86 \pm 0,97$
5.	Wielkie Partęczyny	$2,58 \pm 0,12$	$4,98 \pm 0,17$	$3,78 \pm 1,70$
6.	Drawsko Stare Drawsko	$3,06 \pm 0,13$	$3,54 \pm 0,14$	$3,30 \pm 0,34$
7.	Niesłysz Niesulice	$7,90 \pm 0,26$	$6,44 \pm 0,20$	$7,17 \pm 1,03$
8.	Rogóżno Rogóżno	$11,96 \pm 0,32$	$29,03 \pm 0,75$	$20,50 \pm 12,70$

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

<sup>b)</sup>Wartość średnia  $\pm$  Odchylenie Standardowe (OS)

Stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu przedstawiono w Tabeli 12. Średnie roczne stężenia tego izotopu zawierały się w granicach od 1,86 Bq/kg w osadzie pobranym z jeziora Wadąg do 20,50 Bq/kg w osadzie pobranym z Rogóżnia.

Najniższe stężenie  $^{137}\text{Cs}$  (1,17 Bq/kg) było oznaczone jesienią w osadzie pobranym z jeziora Wadąg, a największe (29,03 Bq/kg) również w osadzie z Jeziora Rogóžno. Na ogół w jeziorze Rogóžno obserwowane są większe wartości stężenia promieniotwórczo  $^{137}\text{Cs}$  (jak i pozostałych badanych izotopów).

#### 4.4. Ocena zawartości $^{238}\text{Pu}$ i $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych badanych jezior.

W Tabeli 13. podano stężenie  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dennych pobranych w okresie wiosennym i jesiennym w jeziorach oraz średnie roczne stężenie powyższych izotopów.

Najniższe stężenie  $^{239,240}\text{Pu}$  (6,38 mBq/kg) było oznaczone jesienią w osadzie pobranym z jeziora Wigry, a największe (192,73 mBq/kg) w osadzie z jeziora Niesłysz. Średnie roczne stężenie  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dennych zawiera się w granicach od 7,97 mBq/kg w jeziorze Drawsko do 125,72 mBq/kg w jeziorze Niesłysz. . Podwyższona średnia roczna  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadzie dennym w jeziorze Niesłysz obserwowana w roku 2013 spowodowana została oznaczonym stężeniem tego izotopu w próbce wiosennej (192,73 mBq/kg) które można jedynie tłumaczyć czasowym naniesieniem w to miejsce innego typu osadu, który łatwiej kumulował zanieczyszczenie. Trwałość tej zmiany nie potwierdziły badania jesienne, w których oznaczone stężenie  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadzie jeziora Niesłysz wynosiło 58,7 mBq/kg.

**Tabela 13.** Stężenie promieniotwórcze  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu.

Lp.	Miejsce poboru próbki	$^{239,240}\text{Pu}$ wiosna mBq kg <sup>-1</sup>	$^{239,240}\text{Pu}$ jesień mBq kg <sup>-1</sup>	$^{239,240}\text{Pu}$ średnia roczna mBq kg <sup>-1</sup>
3.	Wigry Stary Folwark	36,95 ± 6,29	6,38 ± 2,19	18,48 ± 26,13
4.	Wadąg Myki	8,82 ± 2,33	21,60 ± 4,32	15,21 ± 9,04
5.	Wielkie Partęczyny	21,32 ± 4,04	27,14 ± 4,85	24,23 ± 4,19
6.	Drawsko Stare Drawsko	9,32 ± 2,55	6,62 ± 2,60	7,97 ± 1,91
7.	Niesłysz Niesulice	192,73 ± 10,50	58,70 ± 6,31	125,72 ± 94,77
8.	Rogóžno Rogóžno	30,82 ± 4,07	60,02 ± 5,30	45,42 ± 20,65

a) Wartość ± CWN przy poziomie ufności 68%.

b) Wartość średnia ± OS



Stężenie  $^{238}\text{Pu}$  w osadach dennych było w większości przypadków mniejsze od granicy detekcji (2 mBq/kg).  $^{238}\text{Pu}$  został oznaczony w 3 z pośród 12 próbek osadów pobranych z :

- jeziora Niesłysz – wiosną ( $5,77 \pm 3,80$  mBq/ kg) i jesienią ( $7,80 \pm 5,04$  mBq/ kg)
- jeziora Rogóźno – jesienią ( $8,44 \pm 2,06$  mBq/ kg).

#### 4.5. Porównanie zawartości $^{137}\text{Cs}$ w osadach dennych badanych rzek z zawartościami notowanym w jeziorach.

Średnie stężenia promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dorzecza Wisły, dorzecza Odry i w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne i zakres stężeń przedstawiono w Tabeli 14. Średnie stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w 2013 roku było najniższe jesienią w dorzeczu Wisły i wynosiło 1,77 Bq/kg, a najwyższe jesienią w jeziorach – 8,13 Bq/kg. Zarówno w dorzeczu Odry jak i Wisły średnie stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  jesienią było niższe niż wiosną. Odwrotną zależność odnotowano w przypadku jezior. Najbardziej zbliżone stężenia pomiędzy analizowanymi punktami odnotowano dla osadów dennych pobieranych w dorzeczu Odry. Mieściły się one w zakresie od 1,03 do 11,66 Bq/kg. Dla dorzecza Odry określono także najniższe średnie roczne stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  – 4,5 Bq/kg.

**Tabela 14.** Średnie stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych dorzecza Wisły, Odry i jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego izotopu

Lokalizacja poboru próbek	$^{137}\text{Cs}$ Bq kg <sup>-1</sup> wiosna	$^{137}\text{Cs}$ Bq kg <sup>-1</sup> jesień	$^{137}\text{Cs}$ Bq kg <sup>-1</sup> średnia roczna	$^{137}\text{Cs}$ Bq kg <sup>-1</sup> zakres
Dorzecze Wisły (7) <sup>a)</sup>	$13,59 \pm 22,40$ <sup>b)</sup>	$1,77 \pm 1,60$	$7,68 \pm 16,44$ (14)	0,72 – 63,75
Dorzecze Odry (5)	$5,81 \pm 4,27$	$3,20 \pm 1,49$	$4,50 \pm 3,01$ (10)	1,03 – 11,66
Jeziora (6)	$5,53 \pm 3,76$	$8,13 \pm 10,39$	$6,83 \pm 7,57$ (12)	1,17 – 29,03
Średnia ogólna (18)	$8,74 \pm 14,19$	$4,29 \pm 6,43$	$6,51 \pm 7,93$ (36)	0,72 – 63,75

<sup>a)</sup> Liczba próbek osadów dennych

<sup>b)</sup> Wartość średnia  $\pm$  OS

#### 4.6. Porównanie zawartości $^{238}\text{Pu}$ i $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych badanych rzek z zawartościami notowanym w jeziorach.

**Tabela 15.** Średnie stężenie promieniotwórcze  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dennych dorzecza Wisły, Odry i jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego izotopu.

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	$^{239,240}\text{Pu}$ mBq kg <sup>-1</sup> zakres
Dorzecze Wisły (7) <sup>a)</sup>	65,45 ± 72,48 <sup>b)</sup>	16,25 ± 9,32	40,85 ± 55,83	4,86 – 225,75
Dorzecze Odry (5)	51,51 ± 21,21	17,28 ± 10,70	34,39 ± 24,01	5,18 – 82,95
Jeziora (6)	49,99 ± 70,83	29,01 ± 25,47	39,50 ± 51,92	6,38 – 192,73
Średnia ogólna (18)	56,43 ± 59,09	20,79 ± 16,86	38,61 ± 32,62	4,86 – 225,75

<sup>a)</sup> Liczba próbek osadów dennych

<sup>b)</sup> Średnia ± OS

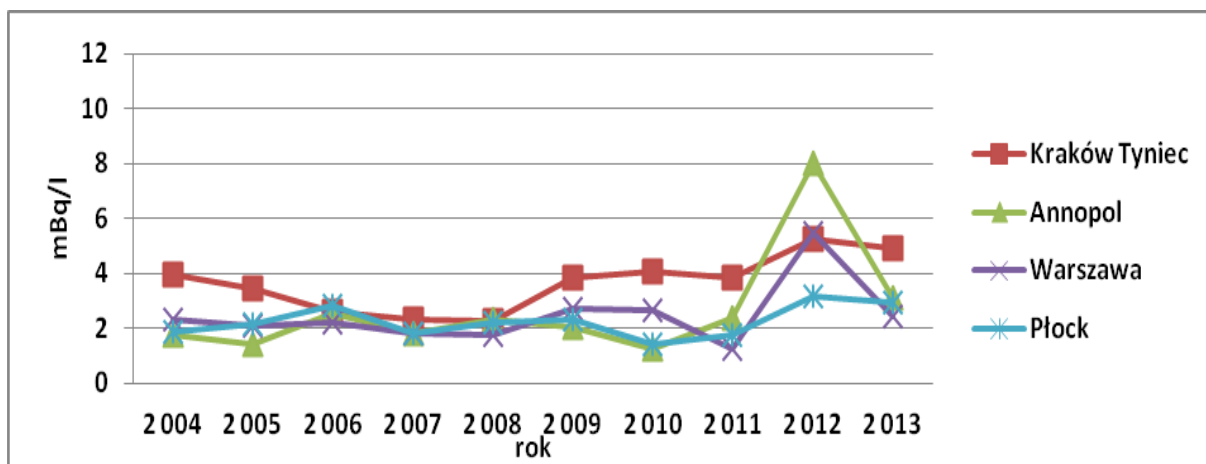
Średnie stężenia promieniotwórcze  $^{239,240}\text{Pu}$  dla dorzeczy Wisły i Odry oraz jezior zarówno w okresie wiosenny jak i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego izotopu i zakres przedstawia Tabela 15. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dorzeczy Wisły i Odry wynosiło, odpowiednio 40,85 mBq/kg i 34,39 mBq/kg, a w jeziorach 39,50 mBq/kg i były na wyrównanym poziomie. Najmniejsze różnice stężeń tego izotopu występowały w dorzeczu Odry, największe w dorzeczu Wisły.

## 5. ZMIAN WARUNKÓW RADIOLOGICZNYCH NA PRZESTRZENI LAT.

### 5.1. Analiza zawartości $^{137}\text{Cs}$ w wodach dla wybranych punktów badawczych na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

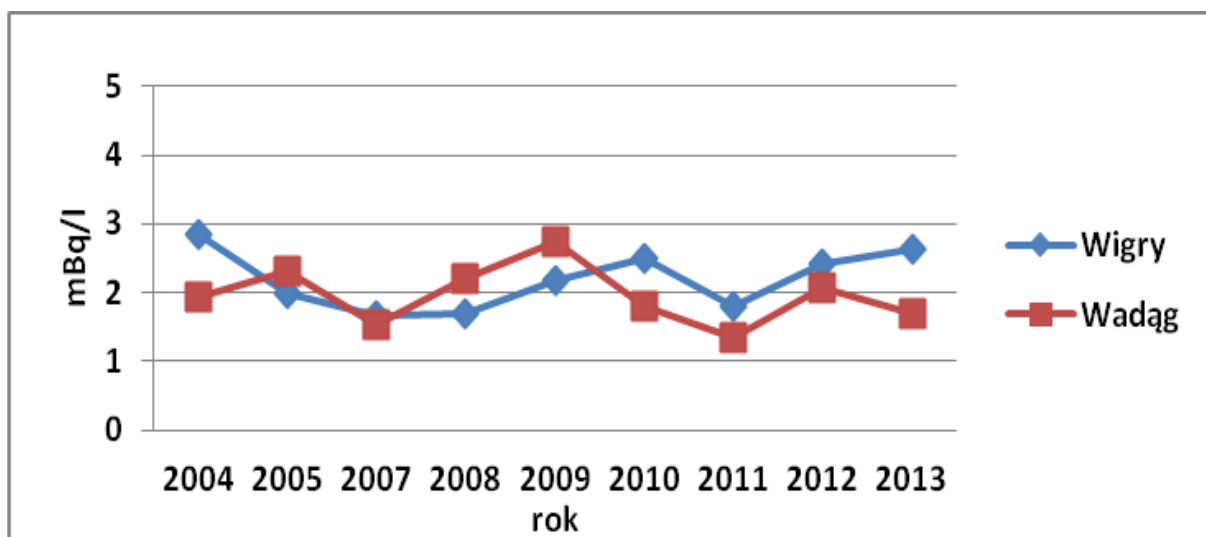
Rysunek 3. Przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych  $^{137}\text{Cs}$  w wodach dorzecza Wisły dla czterech punktów pomiarowych w latach 2004 – 2013. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu. W początkowych latach najwyższy średni poziom stężeń promieniotwórczego  $^{137}\text{Cs}$  zanotowano w pierwszym roku obserwacji. W kolejnych latach średnia zawartość  $^{137}\text{Cs}$  w wodach ulegała nieznacznym zmianom. Od roku 2009 obserwujemy nieznaczny wzrost

stężenia promieniotwórczego badanego izotopu w wodzie pobieranej w Tyńcu. W roku 2012 zanotowano niewielki wzrost zawartości  $^{137}\text{Cs}$  w dwóch punktach: w Anopolu i w Warszawie. Należy jednak podkreślić, że pomimo zaobserwowanych zmian zawartość  $^{137}\text{Cs}$  w wodach dorzecza Wisły pozostając na niskim poziomie.



**Rys. 3.** Zawartość  $^{137}\text{Cs}$  w wodach rzecznych dla czterech wybranych lokalizacji w latach 2004-2013.

**5.2. Analiza zawartości  $^{137}\text{Cs}$  w wodach jeziornych dla dla czterech wybranych lokalizacji na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.**

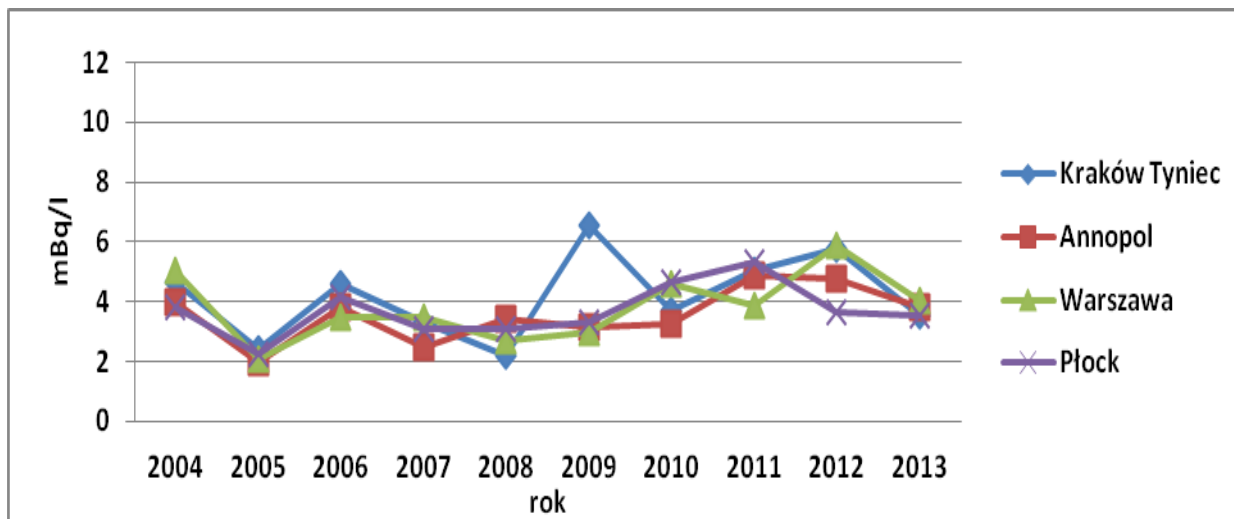


**Rys. 4.** Zawartość  $^{137}\text{Cs}$  w wodach jeziornych dla dwóch wybranych lokalizacji w latach 2004-2013.

Przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych  $^{137}\text{Cs}$  w wodach z dwóch jezior w latach 2004 – 2013 przedstawiono na Rys.4. Podane wartości są średnimi rocznymi w poszczególnych latach.

Z przedstawionej zależności wynika, że w przeciągu dziesięciu lat dla obu lokalizacji zmiany zawartości  $^{137}\text{Cs}$  w wodach miały podobny przebieg i były nieznaczne. Zakres w jakim obserwowano fluktuacje to ok. 2 mBq/kg. Można zatem stwierdzić, że zawartość  $^{137}\text{Cs}$  w wodach jezior Wigry i Wadąg jest niezmienna od 10 lat i jest na niskim poziomie.

### 5.3. Analiza zawartości $^{90}\text{Sr}$ w wodach rzecznych dla wybranych punktów badawczych na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.



**Rys. 5.** Zawartość  $^{90}\text{Sr}$  w wodach rzecznych dla czterech wybranych lokalizacji w latach 2004-2013.

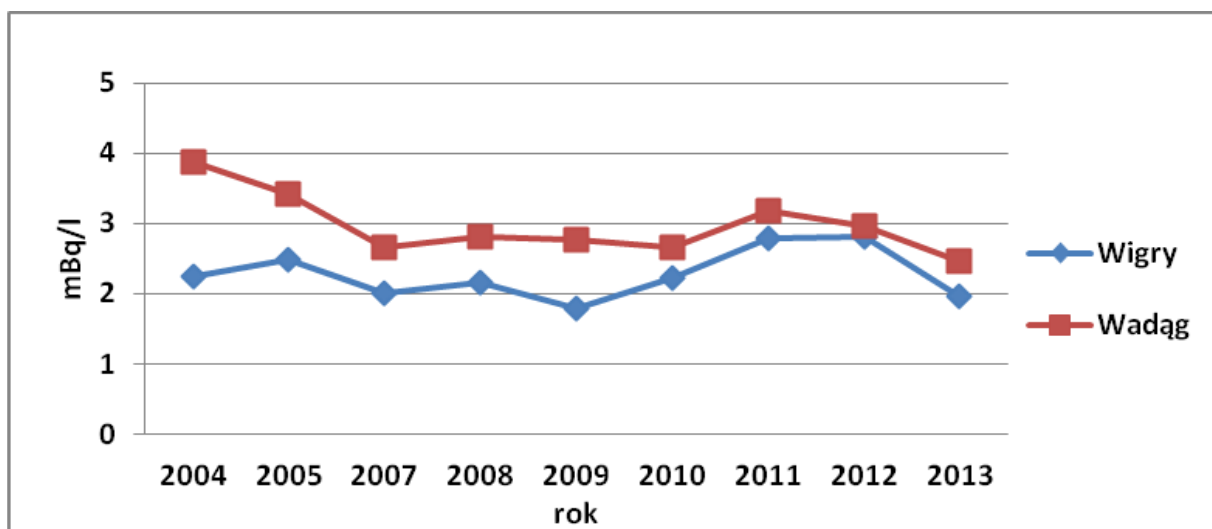
Rysunek 5. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych  $^{90}\text{Sr}$  w wodach dorzecza Wisły dla poszczególnych punktów pomiarowych w latach 2004 – 2013. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.

Na przestrzeni lat średnie stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  dla przedstawionych punktów pomiarowych dorzecza Wisły mieści się w zakresie od 2.0 do 6,6 mBq/kg i ma bardzo zbliżony przebieg. Jedynie wyższe stężenie  $^{90}\text{Sr}$  zaobserwowano w Tyńcu w roku 2009, ale nie utrzymało się ono na tym poziomie w kolejnych latach monitoringu. Można przyjąć, że stężenie  $^{90}\text{Sr}$  w latach 2004-2013 przy nieznacznych fluktuacjach pozostaje na stałym poziomie dla wszystkich monitorowanych lokalizacji.

#### 5.4. Analiza zawartości $^{90}\text{Sr}$ w wodach jeziornych dla wybranych punktów badawczych na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych  $^{90}\text{Sr}$  w wodach z dwóch jezior w latach 2004 – 2013 przedstawiono na Rys.6. Podane wartości są średnimi rocznymi w poszczególnych latach.

Od 2004 do 2009 roku obserwujemy dla obu punktów tendencję spadkową średnich stężeń promieniotwórczych  $^{90}\text{Sr}$ . W dwóch kolejnych latach nastąpił nieznaczny wzrost, by w roku bieżącym wrócić do poziomu z roku 2010. Zmiany zawartości  $^{90}\text{Sr}$  w wodach miały podobny przebieg (analogicznie jak w przypadku izotopu cezu) przy nieznacznie większej ilości  $^{90}\text{Sr}$  w jeziorze Wigry. Fluktuacje średniego stężenia promieniotwórczego  $^{90}\text{Sr}$  w wodach obu jezior mieszczą się w zakresie 2 mBq/l.

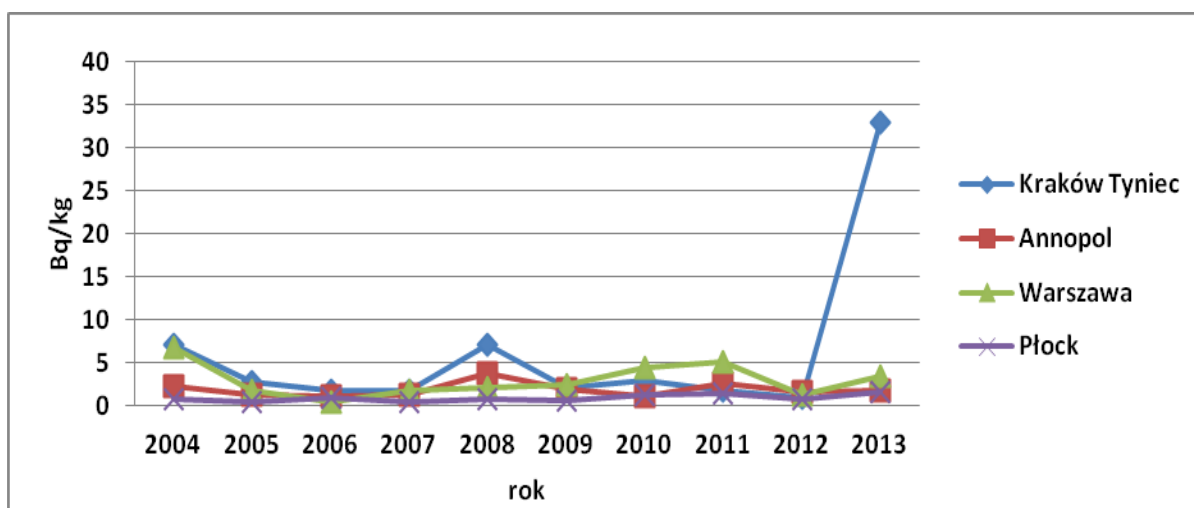


Rys. 6. Zawartość  $^{90}\text{Sr}$  w wodach jeziornych dla dwóch wybranych lokalizacji w latach 2004-2013.

#### 5.5. Analiza zawartości $^{137}\text{Cs}$ w osadach dennych rzecznych dla wybranych punktów badawczych na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Rysunek 7. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dorzecza Wisły dla poszczególnych punktów pomiarowych w latach 2004 – 2013. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu. W początkowych latach najwyższy średni poziom stężenia promieniotwórczego  $^{137}\text{Cs}$

zanotowano w pierwszym roku badań. Po czym dla wszystkich punktów pomiarowych obserwowano tendencję spadkową do roku 2008. W roku 2008 (jeden rok po powodzi), w większości analizowanych osadów dennych obserwowano niewielki wzrost stężeń  $^{137}\text{Cs}$  spowodowany prawdopodobnie wymywaniem tego izotopu z gleby zlewiska do wody a następnie jego kumulacją w osadach dennych. Podwyższona średnia roczna  $^{137}\text{Cs}$  w osadzie dennym w Tyńcu obserwowana w roku 2013 spowodowana została oznaczonym stężeniem tego izotopu w próbce wiosennej (63,75 Bq/kg) które można jedynie tłumaczyć czasowym naniesieniem w to miejsce innego typu osadu, który łatwiej kumulował zanieczyszczenie z wody. Trwałość tej zmiany nie potwierdziły badania jesienne, w których oznaczone stężenie  $^{137}\text{Cs}$  w osadzie z Tyńca wynosiło jedynie 1,97 Bq/kg.

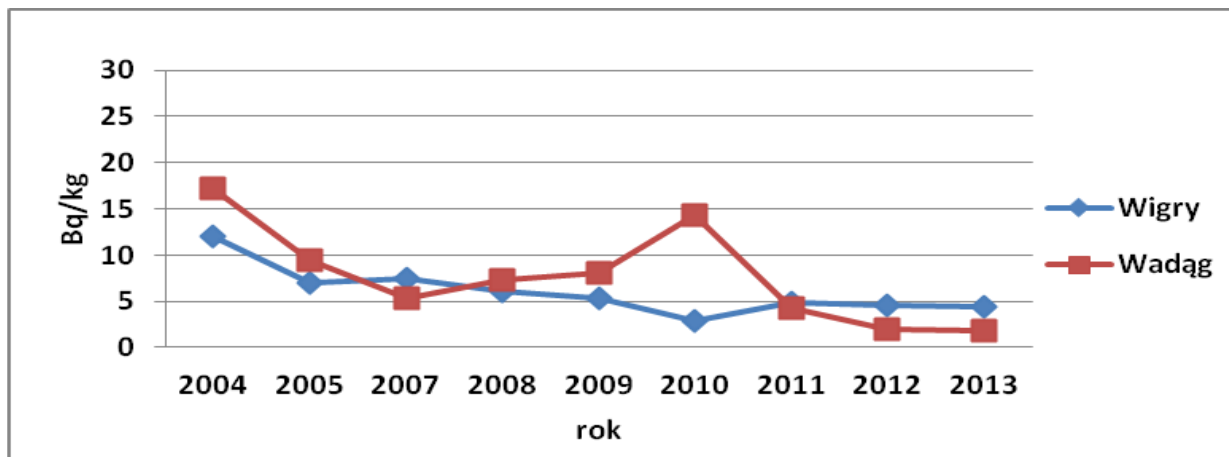


**Rys. 7.** Zawartość  $^{137}\text{Cs}$  w osadach rzecznych dla czterech wybranych lokalizacji w latach 2004-2013.

### 5.6. Analiza zawartości $^{137}\text{Cs}$ w osadach dennych jeziornych dla wybranych punktów badawczych na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

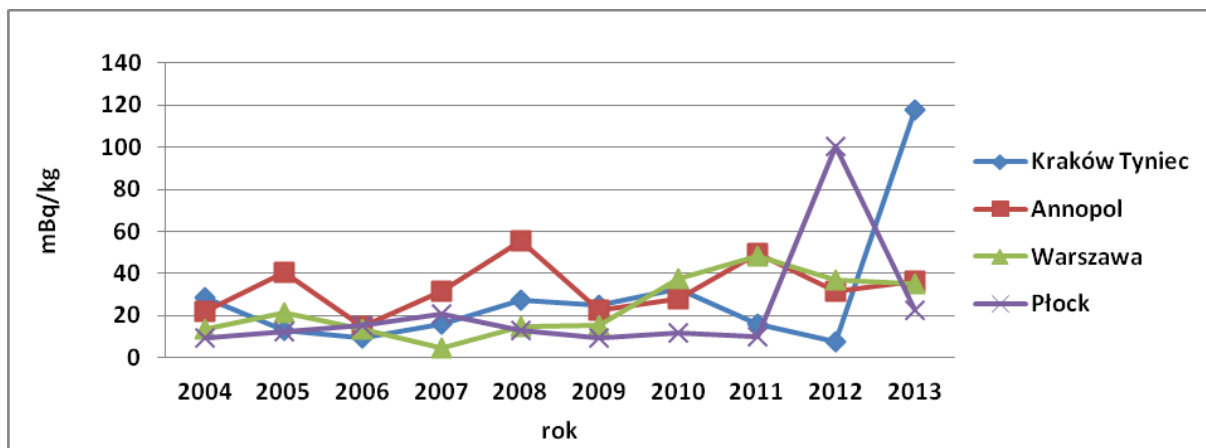
Na Rysunek 8. pokazano przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dwóch jezior w latach 2004 – 2013. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu. Od początku prowadzenia badań obserwujemy ogólną tendencję spadkową dla obu lokalizacji. Wyjątek stanowi podwyższona zawartość  $^{137}\text{Cs}$  w osadzie z jeziora Wadąg w roku 2010. W tym roku w naszym kraju miały miejsce liczne powodzie. Mogło wystąpić czasowe naniesieniem w to miejsce osadu, który łatwiej

kumulował zanieczyszczenie z wody. Dodatkowo jezioro Wadąg jest jeziorem przepływowym, co również w przypadku obfitych deszczy może mieć wpływ na zmiany zawartości badanych izotopów.



**Rys. 8.** Zawartość <sup>137</sup>Cs w osadach jeziornych dla dwóch wybranych lokalizacji w latach 2004-2013.

### 5.7. Analiza zawartości <sup>238</sup>Pu i <sup>239,240</sup>Pu w osadach dennych dla wybranych punktów badawczych na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

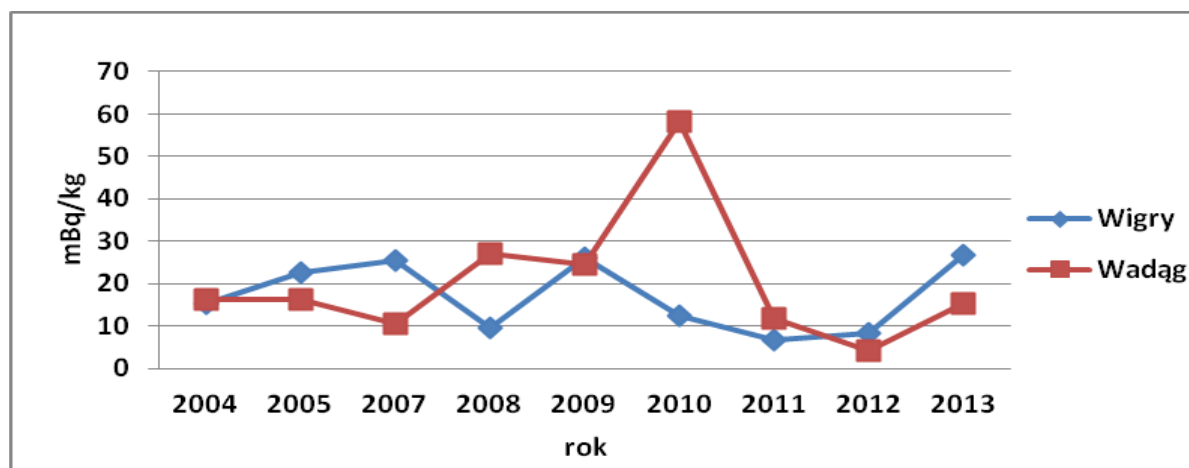


**Rys. 9.** Zawartość <sup>239,240</sup>Pu w osadach rzecznych w latach 2004-2013.

Rysunek 9. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych <sup>239,240</sup>Pu w osadach dorzecza Wisły dla czterech wybranych punktów pomiarowych w latach 2004 – 2013. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu. Zakres średnich stężeń określonych w latach 2004-2013 zawiera się od pojedynczych Bq/kg do ok. 60 mBq/kg. Wyższe średnie stężenia zaobserwowano jedynie w Płocku w roku 2012 lecz nie utrzymało się ono w kolejnym roku badań oraz Tyńcu w roku 2013, które wymaga przyszłych

obserwacji. Należy jednak zwrócić uwagę, że nawet stężenia promieniotwórcze  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dennych są w porównaniu ze stężeniami  $^{137}\text{Cs}$  co najmniej 100 razy niższe.

### 5.8. Analiza zawartości $^{238}\text{Pu}$ i $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych jeziornych dla wybranych punktów badawczych na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.



**Rys. 10.** Zawartość  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach jeziornych dla dwóch wybranych lokalizacji w latach 2004-2013.

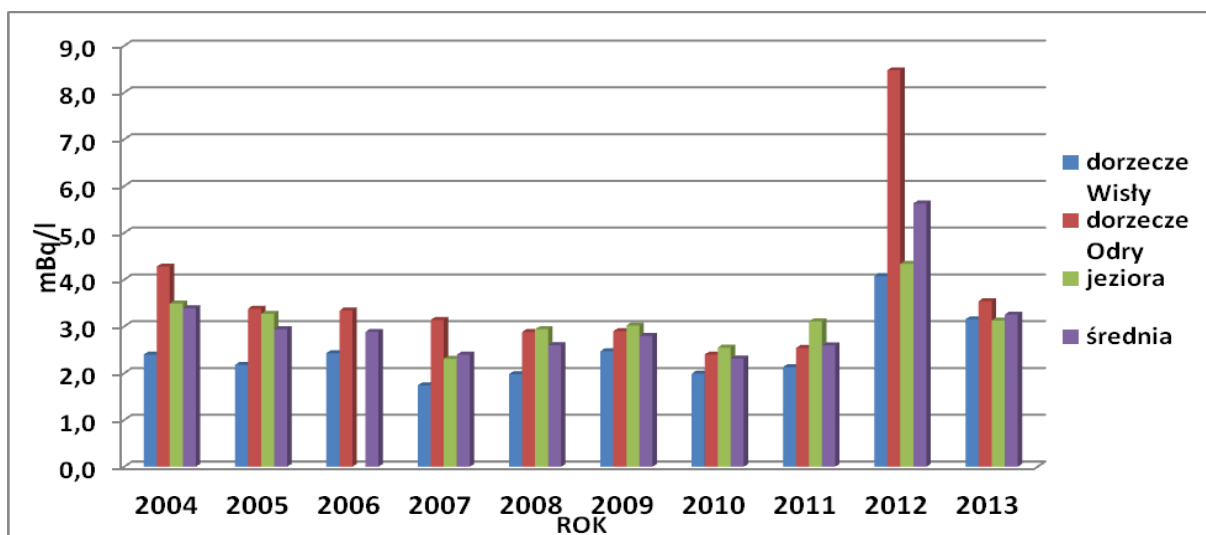
Rysunek 10. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach jezior Wigry i Wadąg w latach 2004 – 2013. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu. Z przedstawionej zależności wynika, że w przeciągu dziesięciu lat dla obu lokalizacji zmiany zawartości  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach miały odmienny przebieg, lecz średnie stężenie promieniotwórcze  $^{239,240}\text{Pu}$  w obu jeziorach była na niskim poziomie. Podwyższoną zawartość  $^{239,240}\text{Pu}$  odnotowano jedynie w osadzie z jeziora Wadąg w roku 2010. Jest to analogiczna sytuacja jak w przypadku analizowanego w tym osadzie izotopu cezu i może potwierdzać wpływ obfitych opadów na zmiany zawartości badanych izotopów.

### 5.9. Analiza zawartości $^{137}\text{Cs}$ w wodach rzecznych w układzie dorzeczy oraz ich porównanie do wód jeziornych na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Rysunek 11. przedstawia wykres obrazujący średnie roczne stężenia promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w wodzie dla dorzeczy Wisły, Odry i jezior w odniesieniu do ogólnej średniej rocznej w latach 2004-2013. Najniższe wartość średniego rocznego stężenia promieniotwórczego  $^{137}\text{Cs}$  w każdym roku monitoringu obserwujemy dla dorzecza Wisły. Zawartości  $^{137}\text{Cs}$  w dorzeczu

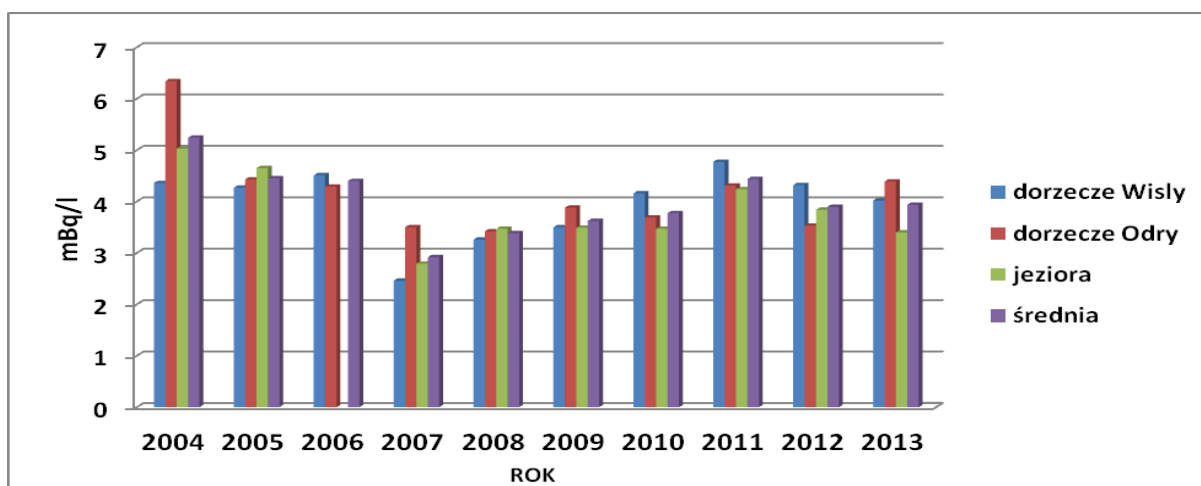


Odry i jeziorach są zazwyczaj bardziej porównywalne ze sobą. Wyjątek stanowi rok 2012, kiedy odnotowano najwyższe średnie roczne stężenia promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w dorzeczu Odry. Prawdopodobnie było to spowodowane niskim poziomem wód jaki miał miejsce w tym roku, szczególnie był widoczny dla dorzecza Odry.



**Rys.11.** Średnie roczne stężenia promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2013.

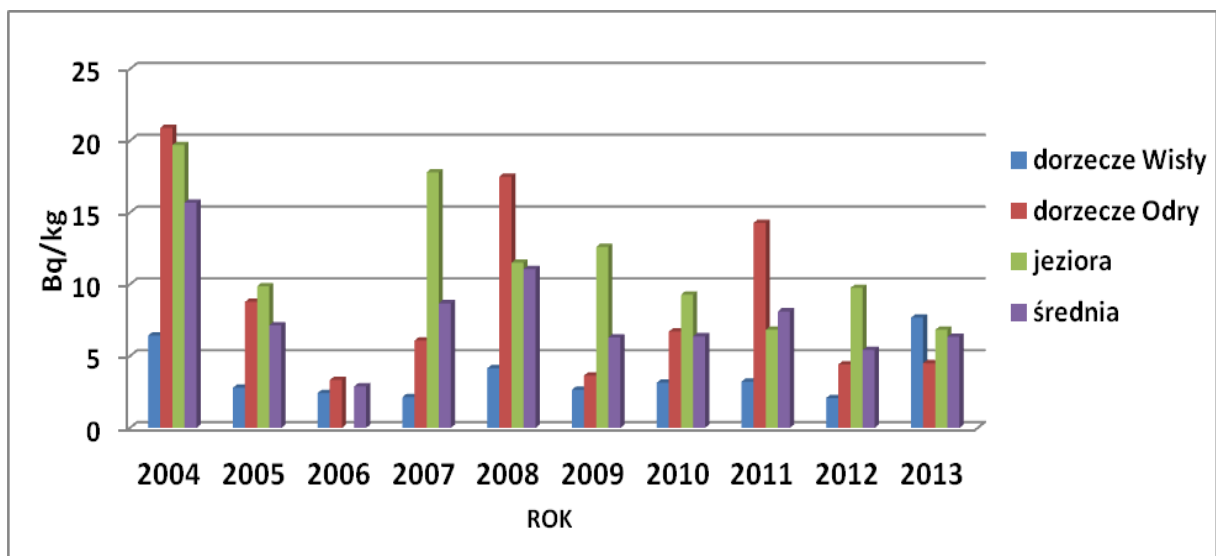
#### 5.10. Analiza zawartości $^{90}\text{Sr}$ w wodach rzecznych w układzie dorzeczy oraz ich porównanie do wód jeziornych na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.



**Rys.12.** Średnie roczne stężenia promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2013.

Na Rysunku 12. przedstawiono średnie roczne stężenia promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w wodzie dla dorzeczy Wisły, Odry i jezior w odniesieniu do ogólnej średniej rocznej w latach 2004-2013. W przypadku  $^{90}\text{Sr}$  na przestrzeni dziesięciu lat monitoringu nie widać wyraźnie powtarzających się zależności. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w poszczególnych latach zarówno dla dorzeczy Wisły i Odry jak i jezior są bardziej wyrównane niż w przypadku analogicznych średnich rocznych stężeń promieniotwórczych  $^{137}\text{Cs}$ .

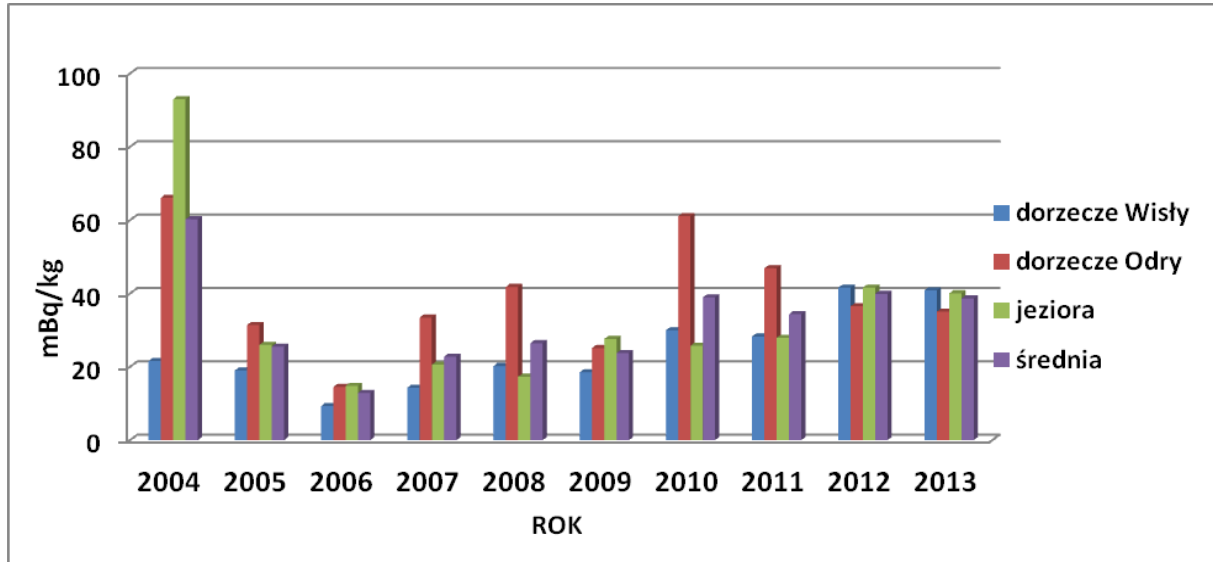
**5.11. Analiza zawartości  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych rzecznych w układzie dorzeczy oraz ich porównanie do wód jeziornych na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.**



**Rys.13.** Średnie roczne stężenia promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2013.

Rysunek 13. przedstawia wykres obrazujący średnie roczne stężenia promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych dla dorzeczy Wisły, Odry i jezior w odniesieniu do ogólnej średniej rocznej w latach 2004-2013. Największe zawartości  $^{137}\text{Cs}$  zanotowano w roku 2004. Podobne średnie roczne stężenia promieniotwórcze zanotowano jeszcze dwukrotnie; dla jezior w roku 2007 i dla dorzecza Odry w roku 2008. We wszystkich latach monitoringu zawartość  $^{137}\text{Cs}$  była znacznie niższa dla dorzecza Wisły niż dorzecza Odry i jezior. Jedynie w rok bieżący stężenie nie obserwuje się tej zależności, a wszystkie wartości średnich rocznych stężeń  $^{137}\text{Cs}$  są bardziej wyrównane.

**5.12. Analiza zawartości  $^{238}\text{Pu}$  i  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dennych rzecznych w układzie dorzeczy oraz ich porównanie do wód jeziornych na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.**



**Rys.14.** Średnie roczne stężenia promieniotwórcze  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2013.

Rysunek 14. przedstawia wykres obrazujący średnie roczne stężenia promieniotwórcze  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dennych dla dorzeczy Wisły, Odry i jezior w odniesieniu do ogólnej średniej rocznej w latach 2004-2013.

Osady dennie charakteryzują się bardzo niskimi zawartościami izotopów plutonu. Na wartość oznaczonego stężenia duży wpływ ma skład granulometryczny (typ) osadu, który może zmieniać się w poszczególnych latach wskutek np. prądów rzecznych lub nawet niewielkich różnic miejsc poboru próbki. Niskie stężenia obarczone są również większym błędem pomiarowym. W roku 2004 najwyższe średnie stężenia  $^{239,240}\text{Pu}$  obserwowano w osadach dennych jezior, natomiast w 2010 najwyższe średnie stężenia odnotowano w osadach dennych dorzecza Odry.

Z obserwacji średnich rocznych zawartości  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dennych wynika że obecnie poziom jego stężeń (lata 2012 i 2013) w dorzeczach Wisły, Odry i w jeziorach jest zbliżony i wynosi ok. 40 mBq/kg.

## 6. PODSUMOWANIE.

Monitoring skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych w 2013 roku obejmował dwukrotny pobór ( wiosną i jesienią) próbek 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.

Przy ogólnej ocenie sytuacji radiologicznej wzięto pod uwagę wartości średnie roczne, ponieważ te odzwierciedlają najlepiej ogólny poziom skażeń badanego środowiska.

Ocena skażeń promieniotwórczych na podstawie wyników uzyskanych w poszczególnych lokalizacjach wiosną i jesienią przysparza trudności. Ze względu na różniące się warunki atmosferycznych zaistniałe w okresach pomiędzy poborem prób.

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior był na bardzo wyrównanym poziomie i zawierały się w granicach 3,13 mBq/l (dla jezior) do 3,54 mBq/l (dla dorzecza Odry). Podobnie sytuacja wyglądała w przypadku średnich rocznych stężeń promieniotwórczych  $^{90}\text{Sr}$  i zawierała się w granicach, 3,40 mBq/l dla jezior – 4,39 mBq/l dla dorzecza Odry.

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych wynosiły odpowiednio: najmniej w dorzeczu Odry 4,50 Bq/kg, a najwięcej w dorzeczu Wisły 7,68 Bq/kg.

Zbliżone średnie roczne stężenia promieniotwórcze  $^{239,240}\text{Pu}$  obserwowano w osadach dennych jezior – 39,50 mBq/kg i osadach dorzecza Wisły – 40,85 mBq/kg, a nieco niższe w dorzeczu Odry – 34,39 mBq/kg.

Dla izotopu  $^{238}\text{Pu}$  nie przeprowadzono analizy wyników tak jak dla pozostałych pierwiastków, ponieważ od kilku lat w większości przypadków zawartość  $^{238}\text{Pu}$  w analizowanych próbkach jest mniejsza od granicy detekcji (2 mBq/kg).

Zarówno średnie roczne stężenia promieniotwórcze wszystkich badanych nuklidów jak i dane uzyskane dla pojedynczych próbek badanej wody i osadów dennych nie odbiegają od wyników uzyskiwanych w poprzednich latach.

Z analizy danych dla sześciu wybranych punktów pomiarowych wynika, że przebieg zmienności zawartość oznaczanych izotopów w próbkach jeziornych jest mniej

zróżnicowany niż w przypadku próbek rzecznych. Jest to prawdopodobnie spowodowane bardziej stabilną sytuacją hydrologiczną w przypadku jezior.

## **7. WNIOSKI.**

Na podstawie wyników uzyskanych w 2013 można stwierdzić, że nie wystąpiły nowe uwolnienia izotopów promieniotwórczych do środowiska, a skażenie wód powierzchniowych takimi nuklidami jak  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  jest niewielkie. Podobnie zawartość  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dennych rzek i jezior pozostaje na niskim poziomie.