

**MONITORING PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO REALIZOWANY W  
RAMACH PAŃSTWOWEGO MONITORINGU ŚRODOWISKA W LATACH  
2023-2025  
ZADANIE 2:  
MONITORING SKAŻEŃ PROMIENIOTWÓRCZYCH WÓD  
POWIERZCHNIOWYCH I OSADÓW DENNYCH**

**ETAP I**

**RAPORT**

**Rok 2022**

M. Kardaś, M. Suplińska, B. Rubel, A. Matysiak, J. Lemańska, M. Kazimierowicz, A. Fulara,  
K. Wiatr, K. Pachocki, E. Starościak, K. Wojtkowski



Opracowanie wykonano na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (umowa nr GIOŚ/ZP/51/2023/DMS/NFOŚ z dnia 03,04.2023 r.) finansowane ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

Zastępca Dyrektora  
Centralnego Laboratorium  
Ochrony Radiologicznej  
  
mgr inż. Paweł Lipiński

Kierownik  
Zakładu Higieny Radiacyjnej CLOR  
  
dr Małgorzata Kardaś



**CENTRALNE LABORATORIUM  
OCHRONY RADIOLOGICZNEJ**  
Laboratorium Analiz  
Radiochemicznych i Spektrometrycznych  
AB 1213  
ul. Konwaliowa 7, 03-194 Warszawa  
Tel. (22) 811-02-51, tel/fax (22) 747-06-12

**Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej**

**Czerwiec 2023**

## WSTĘP

Celem pracy było oznaczenie skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych. W ramach Państwowego Monitoringu Środowiska oznaczono  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  w wodach oraz  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{Pu}$  i  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dennych.

Próbki wody i osadów dennych pobierano w 18 punktach, usytuowanych w dorzeczu Wisły (7 punktów), w dorzeczu Odry (5 punktów) i w sześciu jeziorach. Terminy poboru próbek w roku 2022 były następujące:

1. Termin wiosenny – od 6 do 20 maja;
2. Termin jesienny – od 6 do 22 października.

## 1. SŁOWNIK STOSOWANYCH SKRÓTÓW

AMP	fosfomolibdenian amonu
Bq kg <sup>-1</sup>	bekerele na kilogram
CLOR	Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej
$^{137}\text{Cs}$	izotop cezu 137
CWN	całkowita względna niepewność
°C	stopień Celsjusza
imp/min	impulsy na minutę
keV	kiloelektronowolt
kg	kilogram
m	metr
mBq kg <sup>-1</sup>	milibekerele na kilogram
mBq l <sup>-1</sup>	milibekerele na litr
min	minuta
ml	mililitr
mm	milimetr
OS	odchylenie standardowe
$^{238}\text{Pu}$	izotop plutonu 238
$^{239,240}\text{Pu}$	suma izotopów plutonu 239, 240
$^{242}\text{Pu}$	izotop plutonu 242
$^{90}\text{Sr}$	izotop strontu 90
T <sub>1/2</sub>	czas połowicznego zaniku
$^{90}\text{Y}$	izotop itru 90

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

Usytuowanie miejsc poboru próbek przedstawia Rysunek 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

Jezioro i miejsce poboru	Województwo	Data poboru próbek wiosna 2022	Data poboru próbek jesień 2022	Długość geograficzna wschodnia DMS	Szerokość geograficzna północna DMS
Drawsko, Stare Drawsko	<i>zachodnio-pomorskie</i>	11.05	06.10	16°11'51"	53°36'08"
Wadąg, Barczewko	<i>warmińsko-mazurskie</i>	06.05	21.09	20°33'44"	53°51'02"
Partęczyny, Wielkie Partęczyny	<i>kujawsko-pomorskie</i>	07.05	22.09	19°13'02"	53°28'13"
Rogóźno, Rogóźno	<i>lubelskie</i>	09.05	03.10	22°59'25"	51°22'03"
Niesłysz, Niesulice	<i>lubuskie</i>	11.05	05.10	15°24'05"	52°12'41"
Wigry, Stary Folwark	<i>podlaskie</i>	06.05	21.09	23°03'24"	54°05'07"

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

Rzeka	Miejsce poboru próbek	Data poboru próbek wiosna 2022	Data poboru próbek jesień 2022	Długość geograficzna wschodnia DMS	Szerokość geograficzna północna DMS
Wisła	Kraków Tyniec	09.05	03.10	20°10'48"	50°42'50"
	Annopol	09.05	03.10	21°51'33"	50°53'10"
	Warszawa	20.05	10.10	21°00'59"	52°14'07"
	Płock	07.05	22.09	19°41'52"	52°32'50"
	Kiezmark	07.05	22.09	18°55'51"	54°15'14"
Narew	Pultusk	06.05	21.09	21°05'08"	52°42'18"
Bug	Wyszaków	06.05	21.09	21°27'22"	52°36'10"
Odra	Chałupki	10.05	04.10	18°19'10"	49°55'22"
	Wrocław	10.05	04.10	16°59'31"	51°08'01"
	Głogów	10.05	04.10	16°04'55"	51°39'11"
	Krajnik	11.05	05.10	14°28'50"	53°11'44"
Warta	Poznań	12.05	06.10	16°55'21"	52°24'30"

### 3. 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 około 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.

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

Wszystkie metody wykorzystywane w oznaczaniu izotopów promieniotwórczych w tej pracy posiadają zatwierdzenie Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki.

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<sup>-1</sup>. Granica oznaczalności stężenia promieniotwórczego <sup>90</sup>Sr dla czasu pomiaru 120 min wynosi 0,45 mBq l<sup>-1</sup>.

#### **<sup>137</sup>Cs, <sup>238</sup>Pu i <sup>239,240</sup>Pu w osadach dennych**

Stężenie promieniotwórcze <sup>137</sup>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 <sup>60</sup>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<sup>-1</sup> suchej masy osadu dennego.

Zasada metody oznaczania stężenia promieniotwórczego <sup>238</sup>Pu i <sup>239,240</sup>Pu polega na wydzieleniu plutonu z badanej próbki, elektrodepozycji i pomiarze aktywności metodą α-spektrometryczną. Analizę prowadzono w obecności znacznika (<sup>242</sup>Pu), co pozwala na określenie wydajności chemicznej i wydajności pomiaru. Pluton wydzielano z próbki stosując wymianę jonową, a następnie prowadzono elektrodepozycję 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, a granica detekcji wynosiła 0,2 mBq/ próbkę.

#### 4. ANALIZA WYNIKÓW OZNACZEŃ STĘŻEŃ $^{137}\text{Cs}$ I $^{90}\text{Sr}$ W PRÓBKACH WODY POBRANEJ W PUNKTACH BADAWCZYCH W 2022 ROKU

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

W Tabeli 3. przedstawione są stężenia promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w próbkach wody z poszczególnych miejsc poboru próbek w rzekach w okresie wiosennym i jesiennym 2022 roku oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w wodach rzek mieściły się w granicach od 1,06 mBq l<sup>-1</sup> w Warcie (Poznań) do 8,93 mBq l<sup>-1</sup> w Wiśle (Płock). Zakres średnich rocznych stężeń promieniotwórczych  $^{137}\text{Cs}$  dla dorzecza Odry mieścił się w przedziale od 1,06 (Warta, Poznań) do 5,25 mBq l<sup>-1</sup> (Odra, Chałupki), a dla dorzecza Wisły od 2,53 (Wisła, Kiezmark) do 8,93 mBq l<sup>-1</sup> (Wisła, Płock).

**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 w 2022 r.

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 WISŁY</b>				
1.	Wisła Kraków Tyniec	4,69 ± 0,61 <sup>a)</sup>	5,14 ± 0,56 <sup>a)</sup>	4,92 ± 0,32 <sup>b)</sup>
2.	Wisła Annopol	2,17 ± 0,30	2,88 ± 0,38	2,53 ± 0,50
3.	Wisła Warszawa	1,65 ± 0,22	4,07 ± 0,34	2,86 ± 1,71
4.	Wisła Płock	15,97 ± 2,27	1,88 ± 0,21	8,93 ± 9,96
5.	Wisła Kiezmark	2,49 ± 0,38	2,57 ± 0,31	2,53 ± 0,06
6.	Narew Pułtusk	4,39 ± 0,65	2,15 ± 0,30	3,27 ± 1,58
7.	Bug Wyszków	2,83 ± 0,38	5,49 ± 0,48	4,16 ± 1,88
<b>DORZECZE ODRY</b>				
8.	Odra Chałupki	6,33 ± 0,81	4,17 ± 0,38	5,25 ± 1,53
9.	Odra Wrocław	3,27 ± 0,45	4,58 ± 0,41	3,93 ± 0,93
10.	Odra Głogów	2,49 ± 0,40	4,07 ± 0,30	3,28 ± 1,12
11.	Odra Krajnik	2,85 ± 0,43	1,31 ± 0,17	2,09 ± 1,07
12.	Warta Poznań	1,04 ± 0,16	1,08 ± 0,18	1,06 ± 0,03

<sup>a)</sup>Wartość ± CWN przy poziomie ufności 95%

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

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

W Tabeli 4. przedstawiono stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w wodach badanych rzek w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2022 roku.

Najwyższą wartość stężenia promieniotwórczego  $^{90}\text{Sr}$  odnotowano w próbce wody pobranej jesienią z Odry w Głogowie –  $3,47 \text{ mBq l}^{-1}$ , najniższą w próbce wody pobranej wiosną również w Głogowie –  $1,23 \text{ mBq l}^{-1}$ .

**Tabela 4.** Stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w wodach dorzecza Wisły i Odry w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2022r.

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 $\text{mBq l}^{-1}$
<b>DORZECZE WISŁY</b>				
1.	Wisła Kraków Tyniec	$2,17 \pm 0,26^{\text{a}}$	$1,85 \pm 0,20^{\text{a}}$	$2,01 \pm 0,23^{\text{b}}$
2.	Wisła Annapol	$2,41 \pm 0,27$	$1,70 \pm 0,18$	$2,06 \pm 0,50$
3.	Wisła Warszawa	$1,89 \pm 0,23$	$1,96 \pm 0,26$	$1,93 \pm 0,05$
4.	Wisła Płock	$2,70 \pm 0,34$	$1,97 \pm 0,19$	$2,34 \pm 0,52$
5.	Wisła Kiezmark	$2,07 \pm 0,24$	$3,01 \pm 0,45$	$2,54 \pm 0,66$
6.	Narew Pułtusk	$3,11 \pm 0,36$	$2,40 \pm 0,24$	$2,76 \pm 0,50$
7.	Bug Wyszków	$2,19 \pm 0,25$	$1,70 \pm 0,18$	$1,95 \pm 0,35$
<b>DORZECZE ODRY</b>				
8.	Odra Chałupki	$2,00 \pm 0,23$	$2,20 \pm 0,24$	$2,10 \pm 0,14$
9.	Odra Wrocław	$2,35 \pm 0,27$	$2,38 \pm 0,29$	$2,37 \pm 0,02$
10.	Odra Głogów	$1,23 \pm 0,16$	$3,47 \pm 0,36$	$2,35 \pm 1,58$
11.	Odra Krajnik	$2,70 \pm 0,30$	$2,63 \pm 0,26$	$2,67 \pm 0,05$
12.	Warta Poznań	$2,46 \pm 0,27$	$2,66 \pm 0,29$	$2,56 \pm 0,14$

<sup>a)</sup>Wartość  $\pm$  CWN przy poziomie ufności 95% <sup>b)</sup>Wartość średnia  $\pm$  Odchylenie Standardowe (OS)

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w wodach badanych rzek mieściło się w zakresie się od  $1,93 \text{ mBq l}^{-1}$  w wodzie z Wisy (Warszawa) do  $2,76 \text{ mBq l}^{-1}$  w wodzie pobranej z Narwi w Pułtusku.



Zakres średnich rocznych stężeń promieniotwórczych  $^{90}\text{Sr}$  wynosi odpowiednio: dla dorzecza Wisły od 1,93 do 2,76  $\text{mBq l}^{-1}$ , a dla dorzecza Odry od 2,10 do 2,67  $\text{mBq l}^{-1}$ .

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

Tabela 5. przedstawia stężenia promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w próbkach wody z poszczególnych miejsc poboru próbek w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym 2022 roku oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu. Stężenia promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  oznaczone w wodach jezior mieściły się w granicach od 1,15  $\text{mBq l}^{-1}$  wiosną w jeziorze Wadąg do 5,26  $\text{mBq l}^{-1}$  w jeziorze Wielkie Partęczyny również wiosną. Zakres średnich rocznych stężeń promieniotwórczych  $^{137}\text{Cs}$  wynosił od 1,42  $\text{mBq l}^{-1}$  w jeziorze Wadąg do 4,87  $\text{mBq l}^{-1}$  w jeziorze Rogóžno. W tym roku najwyższą średnią wartość stężenia promieniotwórczego  $^{137}\text{Cs}$  odnotowywano w próbkach wody z jeziora Rogóžno. Nie odbiega jednak znacząco od pozostałych średnich wartości stężenia promieniotwórczego  $^{137}\text{Cs}$  oznaczonego w pozostałych jeziorach.

**Tabela 5.** Stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w wodach jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2022 r.

Lp.	Miejsce poboru próbki	$^{137}\text{Cs}$ , wiosna $\text{mBq l}^{-1}$	$^{137}\text{Cs}$ , jesień $\text{mBq l}^{-1}$	$^{137}\text{Cs}$ , średnia roczna $\text{mBq l}^{-1}$
1	Wigry Stary Folwark	$3,94 \pm 0,52^{\text{a}}$	$1,60 \pm 0,19^{\text{a}}$	$2,77 \pm 1,65^{\text{b}}$
2	Wadąg Barczewko	$1,15 \pm 0,19$	$1,68 \pm 0,20$	$1,42 \pm 0,37$
3	Wielkie Partęczyny Partęczyny	$5,26 \pm 0,68$	$3,09 \pm 0,30$	$4,18 \pm 1,53$
4	Drawsko Stare Drawsko	$2,79 \pm 0,38$	$3,72 \pm 0,32$	$3,26 \pm 0,66$
5	Niesłysz Niesulice	$1,53 \pm 0,21$	$2,28 \pm 0,31$	$1,91 \pm 0,53$
6	Rogóžno Rogóžno	$5,24 \pm 0,69$	$4,50 \pm 0,44$	$4,87 \pm 0,52$

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

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

#### 4.4. 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 w 2022 r.

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>
1	<b>Wigry</b> Stary Folwark	1,87 ± 0,22 <sup>a)</sup>	1,50 ± 0,18 <sup>a)</sup>	1,69 ± 0,26 <sup>b)</sup>
2	<b>Wadąg</b> Barczewko	1,99 ± 0,20	1,32 ± 0,15	1,66 ± 0,47
3	<b>Wielkie Partęczyny</b> Partęczyny	1,56 ± 0,18	1,99 ± 0,23	1,78 ± 0,30
4	<b>Drawsko</b> Stare Drawsko	2,23 ± 0,26	1,98 ± 0,25	2,11 ± 0,18
5	<b>Niesłysz</b> Niesulice	2,29 ± 0,27	1,09 ± 0,12	1,69 ± 0,85
6	<b>Rogóżno</b> Rogóżno	8,46 ± 0,84	6,34 ± 0,65	7,40 ± 1,50

<sup>a)</sup>Wartość ± CWN przy poziomie ufności 95%.

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

Stężenia promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w wodach z poszczególnych miejsc poboru w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym 2022 roku oraz jego roczne stężenie promieniotwórcze przedstawia Tabela 6.

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w wodach badanych jezior wahało się od 1,66 mBq l<sup>-1</sup> w wodzie z jeziora Wadąg do 7,40 mBq l<sup>-1</sup> w wodzie pobranej z Rogóżna. Najwyższą wartość stężenia promieniotwórczego  $^{90}\text{Sr}$  odnotowano w próbce wody pobranej wiosną z jeziora Rogóżno – 8,46 mBq l<sup>-1</sup>, najniższą zaś w próbce wody pobranej jesienią z jeziora Niesłysz – 1,09 mBq l<sup>-1</sup>. Niezmiennie od wielu lat najwyższe wartości stężenia promieniotwórczego  $^{90}\text{Sr}$  notuje się w próbkach wody z jeziora Rogóżno. W roku 2022 także oznaczono najwyższe wartości stężenia promieniotwórczego  $^{90}\text{Sr}$ , zarówno w próbce pobranej wiosną jak i jesienią.

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

W Tabeli 7. przedstawiono średnie stężenia promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  dla wód dorzecza Wisły, dorzecza Odry i jezior, pobieranych w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenia promieniotwórcze tego izotopu.

Średnie roczne stężenia promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w wodach dorzeczy Wisły oraz Odry i jezior wynosiły odpowiednio: 4,17; 3,12; 3,07  $\text{mBq l}^{-1}$ .

Najniższe średnie stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  oznaczono w wodach jeziornych w okresie jesiennym i wynosiło ono 2,81  $\text{mBq l}^{-1}$ , najwyższe wiosną w wodach dorzecza Wisły – 4,88  $\text{mBq l}^{-1}$ .

Najmniejsze różnice w stężeniach promieniotwórczych  $^{137}\text{Cs}$  odnotowano dla wód jeziornych (1,15–5,26  $\text{mBq l}^{-1}$ ), największe dla wód dorzecza Wisły (1,65–15,97  $\text{mBq l}^{-1}$ ).

**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 w 2022 r.

Lokalizacja poboru próbek	$^{137}\text{Cs}$ $\text{mBq l}^{-1}$ wiosna	$^{137}\text{Cs}$ $\text{mBq l}^{-1}$ jesień	$^{137}\text{Cs}$ $\text{mBq l}^{-1}$ średnia roczna	$^{137}\text{Cs}$ $\text{mBq l}^{-1}$ zakres
Dorzecze Wisły (7) <sup>a)</sup>	4,88 ± 5,02 <sup>b)</sup>	3,45 ± 1,45 <sup>b)</sup>	4,17 ± 3,69 <sup>b)</sup> (14)	1,65 – 15,97
Dorzecze Odry (5)	3,20 ± 1,94	3,05 ± 1,69	3,12 ± 1,72 (10)	1,04 – 6,33
Jeziora (6)	3,32 ± 1,79	2,81 ± 1,16	3,07 ± 1,46 (12)	1,15 – 5,26
Średnia ogólna (18)	3,89 ± 3,37	3,13 ± 1,38	3,51 ± 2,57 (36)	1,04 – 15,97

<sup>a)</sup> Liczba próbek wody

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

#### 4.6. Porównanie zawartości $^{90}\text{Sr}$ w wodach badanych rzek z zawartościami notowanymi 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 w 2022 r.

Lokalizacja poboru próbek	$^{90}\text{Sr}$ $\text{mBq l}^{-1}$ wiosna	$^{90}\text{Sr}$ $\text{mBq l}^{-1}$ jesień	$^{90}\text{Sr}$ $\text{mBq l}^{-1}$ średnia roczna	$^{90}\text{Sr}$ $\text{mBq l}^{-1}$ zakres
Dorzecze Wisły (7) <sup>a)</sup>	2,36 ± 0,42 <sup>b)</sup>	2,08 ± 0,47 <sup>b)</sup>	2,22 ± 0,45 <sup>b)</sup> (14)	1,70 - 3,11
Dorzecze Odry (5)	2,15 ± 0,57	2,67 ± 0,49	2,41 ± 0,57 (10)	1,23 – 3,47
Jeziora (6)	3,07 ± 2,66	2,37 ± 1,98	2,72 ± 2,26 (12)	1,09 – 8,46
Średnia ogólna (18)	2,45 ± 0,78	2,34 ± 1,16	2,44 ± 1,35 (36)	1,09 – 8,46

<sup>a)</sup> Liczba próbek wody

<sup>b)</sup> Wartość średnia ± OS

Najniższe średnie stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  oznaczono w wodach dorzecza Wisły w okresie jesiennym i wynosiło ono  $2,08 \text{ mBq l}^{-1}$ , najwyższe wiosną w wodach jeziornych –  $3,07 \text{ mBq l}^{-1}$ .

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w dorzeczu Wisły i Odry było na bardzo zbliżonym poziomie i wynosiło odpowiednio  $2,22 \text{ mBq l}^{-1}$  i  $2,41 \text{ mBq l}^{-1}$ . Dla jezior średnie roczne stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  było nieznacznie wyższe i wynosiło  $2,72 \text{ mBq l}^{-1}$  (Tabela 8.) Najmniejsze różnice w stężeniach  $^{90}\text{Sr}$  (zakres  $1,70 - 3,11 \text{ mBq l}^{-1}$ ) odnotowano dla wód dorzecza Wisły, największe dla wód jeziornych (zakres  $1,09 - 8,46 \text{ mBq l}^{-1}$ ).

#### 4.7. Analiza zależności pomiędzy zawartościami $^{137}\text{Cs}$ i $^{90}\text{Sr}$ w próbkach badanych w 2022 roku

Tabela 9. przedstawia średnie roczne wartości stosunku stężenia  $^{90}\text{Sr}$  do  $^{137}\text{Cs}$  w wodach dorzecza Wisły, dorzecza Odry i jezior w 2022 roku.

Stosunek średnich rocznych stężeń promieniotwórczych  $^{90}\text{Sr}$  do  $^{137}\text{Cs}$  w próbkach wody pobranej z rzek mieścił się w zakresie  $0,26-2,42$  (dla większości próbek był mniejszy od jedności). W próbkach wody pobranej z jezior stosunek średnich rocznych stężeń promieniotwórczych  $^{90}\text{Sr}$  do  $^{137}\text{Cs}$  mieścił się w zakresie  $0,51-1,52$ .

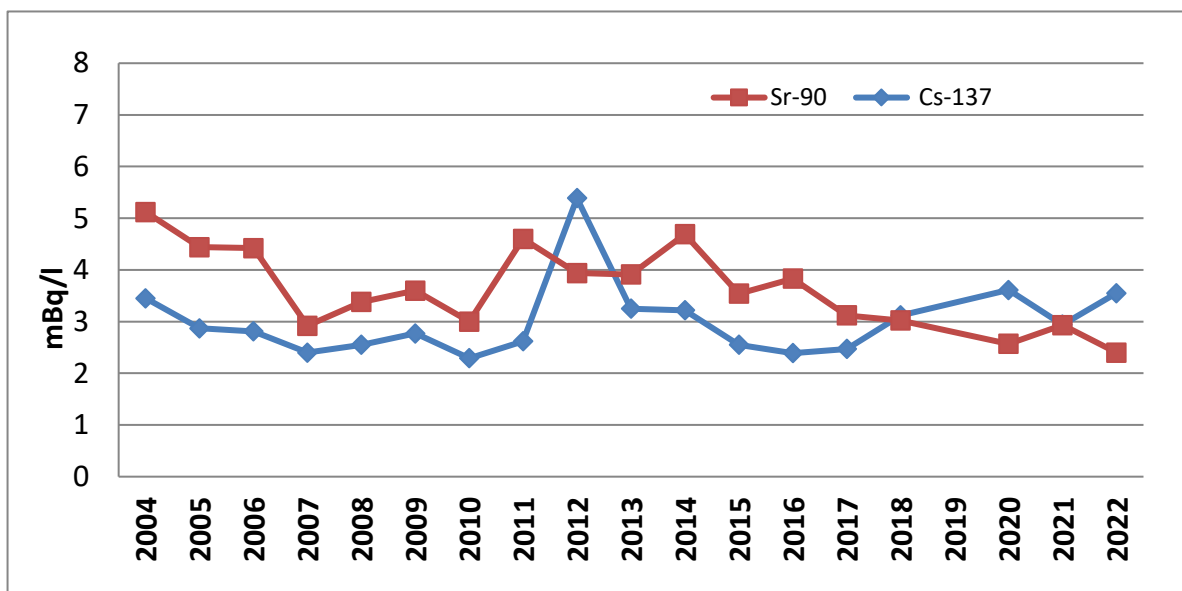
**Tabela 9.** Średnie roczne stężenia promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior oraz stosunek średnich rocznych stężeń w 2022 r.

Lokalizacja poboru próbek	$^{137}\text{Cs}$ $\text{mBq l}^{-1}$ średnia roczna	$^{90}\text{Sr}$ $\text{mBq l}^{-1}$ średnia roczna	$\frac{^{90}\text{Sr}}{^{137}\text{Cs}}$
<b>Dorzecze Wisły (7)<sup>a)</sup></b>	$4,17 \pm 3,69^{\text{b)}$ (14)	$2,22 \pm 0,45^{\text{b)}$ (14)	0,53
<b>Dorzecze Odry (5)</b>	$3,12 \pm 1,72$ (10)	$2,41 \pm 0,57$ (10)	0,77
<b>Jeziora (6)</b>	$3,07 \pm 1,46$ (12)	$2,72 \pm 2,26$ (12)	0,89
<b>Średnia ogólna (18)</b>	$3,51 \pm 2,57$ (36)	$2,44 \pm 1,35$ (36)	0,69

<sup>a)</sup> Liczba próbek wody

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

Rysunek 2. przedstawia czasowy przebieg średnich rocznych stężeń promieniotwórczych  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  w wodach rzek i jezior w latach 2004 – 2022. Podane wartości są średnimi arytmetycznymi z oznaczeń poszczególnych radionuklidów w próbkach wody pobranych w kolejnych latach monitoringu. Najwyższy średni poziom stężeń promieniotwórczych 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 na ogół wyższa niż zawartość  $^{137}\text{Cs}$ . Wyjątkiem był rok 2012, 2018, 2020, 2021 i 2022. 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, gdy pobór prób odbywał się przy niskich i bardzo niskich stanach wód. Od 2014 roku obserwujemy spadek zawartości  $^{90}\text{Sr}$  w badanych wodach. Natomiast stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  utrzymuje się na podobnym poziomie biorąc pod uwagę błąd oznaczenia wynoszący ok. 15%. Szczególnie jest to widoczne dla próbek pobieranych w ostatnich pięciu latach.



Rys. 2. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  w wodach rzek i jezior w Polsce w latach 2004 – 2022

**5. ANALIZA WYNIKÓW OZNACZEŃ STĘŻEŃ  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{Pu}$  I  $^{239,240}\text{Pu}$  W ODSADACH DENNYCH POBRANYCH W PUNKTACH BADAWCZYCH W 2022 ROKU**

**5.1. 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 w 2022 r.

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>
<b>DORZECZE WISŁY</b>				
1.	Wisła Kraków Tyniec	6,53 ± 0,57 <sup>a)</sup>	3,01 ± 0,20 <sup>a)</sup>	4,77 ± 2,49 <sup>b)</sup>
2.	Wisła Annapol	3,69 ± 0,34	2,09 ± 0,13	2,89 ± 1,13
3.	Wisła Warszawa	1,74 ± 0,09	1,71 ± 0,09	1,73 ± 0,02
4.	Wisła Płock	0,76 ± 0,05	0,24 ± 0,09	0,50 ± 0,37
5.	Wisła Kieźmark	0,90 ± 0,07	0,73 ± 0,10	0,82 ± 0,12
6.	Narew Pułtusk	7,71 ± 0,35	9,10 ± 0,36	8,41 ± 0,98
7.	Bug Wyszków	4,37 ± 0,22	0,32 ± 0,06	2,35 ± 2,86
<b>DORZECZE ODRY</b>				
8.	Odra Chałupki	8,09 ± 0,73	10,02 ± 0,48	9,06 ± 1,36
9.	Odra Wrocław	1,08 ± 0,10	0,34 ± 0,06	0,71 ± 0,52
10.	Odra Głogów	0,88 ± 0,09	20,22 ± 0,87	10,55 ± 13,68
11.	Odra Krajnik	0,73 ± 0,08	0,30 ± 0,04	0,52 ± 0,30
12.	Warta Poznań	0,76 ± 0,10	0,65 ± 0,05	0,71 ± 0,08

<sup>a)</sup>Wartość ± CWN przy poziomie ufności 95%.

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

W Tabeli 10. przedstawiono stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych Wisły, Odry ich dopływów w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu.

Najniższe stężenia promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  były oznaczone zarówno wiosną jak i jesienią w osadzie pobranym z Odry w Krajniku i z Wisły w Płocku i wynosiły odpowiednio

0,73 i 0,30 Bq kg<sup>-1</sup> i 0,76 i 0,24 Bq kg<sup>-1</sup>. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze tego izotopu zawierały się w granicach od 0,50 Bq kg<sup>-1</sup> do 10,55 Bq kg<sup>-1</sup> i odnosiły się odpowiednio do osadów pobranych na Wiśle w Płocku i na Odrze w Głogowie. Dotychczas zawartości <sup>137</sup>Cs otrzymywane dla większości punktów wiosną były wyższe niż jesienią. Tendencja ta również jest obserwowana w tym roku.

Najwyższe stężenie promieniotwórcze <sup>137</sup>Cs było oznaczone jesienią w osadzie pobranym z Odry w Głogowie (20,22 Bq kg<sup>-1</sup>). Pomimo, że jest kilkakrotnie wyższe od najniższych wartości przedstawionych w tabeli pozostaje jednak na niskim poziomie i nie odbiega od wyników otrzymywanych w poprzednich latach. Sporadycznie otrzymywane podwyższone wartości dla pojedynczych pomiarów mogą wynikać z różnic w składzie osadów czasowo nanoszonych w miejscach poboru próbek (od typowo piaszczystych do ilasto gliniastych).

## **5.2. Ocena zawartości <sup>238</sup>Pu i <sup>239,240</sup>Pu w osadach dennych badanych rzek z uwzględnieniem podziału na dorzecza**

W Tabeli 11. przedstawiono stężenie promieniotwórcze <sup>239,240</sup>Pu w osadach dennych pobranych w okresie wiosennym i jesiennym w dorzeczu Wisły i Odry oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze powyższych izotopów.

W dwóch osadach pobranych jesienią (Bug, Wyszków i Warta, Poznań) zawartość izotopów plutonu była poniżej granicy oznaczalności. W pozostałych lokalizacjach najniższe stężenia promieniotwórcze <sup>239,240</sup>Pu były oznaczone wiosną w osadzie pobranym z Wisły w Kiezmarku (3,47 mBq kg<sup>-1</sup>). Najwyższe w osadzie z Odry pobranym jesienią w Głogowie (110,0 mBq kg<sup>-1</sup>). Wartości średnich rocznych stężeń promieniotwórczych <sup>239,240</sup>Pu w osadach dennych zawierają się w granicach od 5,39 mBq kg<sup>-1</sup> w osadzie z Warty (Poznań) do 60,42 mBq kg<sup>-1</sup> w osadzie z Odry (Chałupki).

Stężenie promieniotwórcze <sup>238</sup>Pu w osadach dennych (podobnie jak w roku ubiegłym) było w większości przypadków mniejsze od granicy detekcji (1,5 mBq kg<sup>-1</sup>). W przypadku dorzeczy Wisły i Odry <sup>238</sup>Pu został oznaczony w 3 z pośród 24 pobranych próbek osadów, a wszystkie osady były pobrane wiosną:

- z Narwi w Pułtusku i wynosił 1,98 ± 0,85 mBq kg<sup>-1</sup>,
- z Bugu w Wyszkanie i wynosił 2,58 ± 0,89 mBq kg<sup>-1</sup>,
- z Odry w Chałupkach i wynosił 2,00 ± 0,87 mBq kg<sup>-1</sup>.

**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 w 2022 r.

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 $\text{mBq kg}^{-1}$
<b>DORZECZE WISŁY</b>				
1.	Wisła Kraków Tyniec	$43,35 \pm 3,53^{\text{a}}$	$15,80 \pm 2,46^{\text{a}}$	$29,58 \pm 19,48^{\text{b}}$
2.	Wisła Annopol	$22,07 \pm 2,92$	$42,40 \pm 3,53$	$32,24 \pm 14,38$
3.	Wisła Warszawa	$32,34 \pm 3,16$	$24,10 \pm 3,82$	$28,22 \pm 5,83$
4.	Wisła Płock	$12,98 \pm 2,93$	$12,20 \pm 3,52$	$12,59 \pm 0,55$
5.	Wisła Kiezmark	$15,04 \pm 2,97$	$3,47 \pm 1,71$	$9,26 \pm 8,18$
6.	Narew Pułtusk	$25,23 \pm 2,75$	$27,70 \pm 3,37$	$26,47 \pm 1,75$
7.	Bug Wyszków	$46,15 \pm 3,57$	<1,5	$23,08 \pm 32,63$
<b>DORZECZE ODRY</b>				
8.	Odra Chałupki	$59,03 \pm 4,04$	$61,80 \pm 4,75$	$60,42 \pm 1,96$
9.	Odra Wrocław	$8,56 \pm 1,96$	$8,90 \pm 1,63$	$8,73 \pm 0,24$
10.	Odra Głogów	$5,14 \pm 1,79$	$110,0 \pm 6,8$	$57,57 \pm 74,15$
11.	Odra Krajnik	$10,12 \pm 3,38$	$8,75 \pm 2,22$	$9,44 \pm 0,97$
12.	Warta Poznań	$10,78 \pm 2,31$	<1,5	$5,39 \pm 7,62$

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

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

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

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.

Stężenia oznaczanego izotopu zawierały się w granicach od  $1,24 \text{ Bq kg}^{-1}$  w osadzie pobranym wiosną z jeziora Drawsko do  $9,83 \text{ Bq kg}^{-1}$  w osadzie pobranym również wiosną z jeziora Rogóžno. Najniższe średnie roczne stężenie  $^{137}\text{Cs}$  ( $1,29 \text{ Bq kg}^{-1}$ ) było oznaczone w osadach z jeziora Drawsko, a najwyższe ( $6,44 \text{ Bq kg}^{-1}$ ) w osadach z jeziora Rogóžno.



Z wieloletnich obserwacji wynika, że dla jeziora Rogóźno charakterystyczne są większe wartości stężenia promieniotwórczego  $^{137}\text{Cs}$ . Wpływ na poziom badanych pierwiastków może mieć ilość i rodzaj cieków wodnych wpływających do jeziora tym bardziej, że jezioro Rogóźno nie jest jeziorem przepływowym. Jednocześnie jest pochodzenia krasowego, a takie jeziora często charakteryzują się obecnością osadów nieprzepuszczalnych. Mogą być to powody kumulacji badanych nuklidów.

**Tabela 12.** Stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2022 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.	Wigry Stary Folwark	$3,66 \pm 0,16^{\text{a}}$	$4,83 \pm 0,32^{\text{a}}$	$4,25 \pm 0,83^{\text{b}}$
2.	Wadąg Barczewko	$2,31 \pm 0,10$	$1,84 \pm 0,11$	$2,08 \pm 0,33$
3.	Wielkie Partęczyny Partęczyny	$3,13 \pm 0,14$	$4,25 \pm 0,28$	$3,69 \pm 0,79$
4.	Drawsko Stare Drawsko	$1,24 \pm 0,12$	$1,33 \pm 0,10$	$1,29 \pm 0,06$
5.	Niesłysz Niesulice	$4,68 \pm 0,29$	$3,57 \pm 0,23$	$4,13 \pm 0,78$
6.	Rogóźno Rogóźno	$9,83 \pm 0,81$	$3,04 \pm 0,22$	$6,44 \pm 4,80$

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

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

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

Tabela 13. przedstawia stężenia promieniotwórcze  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dennych pobranych w okresie wiosennym i jesiennym w jeziorach oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze powyższych izotopów.

Najniższe stężenie  $^{239,240}\text{Pu}$  ( $2,81 \text{ mBq kg}^{-1}$ ) było oznaczone jesienią w osadzie pobranym z jeziora Drawsko, a największe  $22,70 \text{ mBq kg}^{-1}$  w osadzie jesiennym z jeziora Wielkie Partęczyny.

Średnie roczne stężenie izotopów  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dennych zawiera się w granicach od  $1,41 \text{ mBq kg}^{-1}$  w jeziorze Drawsko do  $17,73 \text{ mBq kg}^{-1}$  w jeziorze Niesłysz.

**Tabela 13.** Stężenie promieniotwórcze  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2022 r.

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>
1.	Wigry Stary Folwark	5,76 ± 2,00 <sup>b)</sup>	7,86 ± 2,60 <sup>b)</sup>	6,81 ± 1,48 <sup>b)</sup>
2.	Wadąg Barczewko	12,46 ± 2,88	6,19 ± 2,38	9,33 ± 4,43
3.	Wielkie Parteczyny Parteczyny	9,40 ± 2,11	22,70 ± 5,35	16,05 ± 9,40
4.	Drawsko Stare Drawsko	<1,5	2,81 ± 1,01	1,41 ± 1,99
5.	Niesłysz Niesulice	16,96 ± 3,13	18,50 ± 3,47	17,73 ± 1,09
6.	Rogóżno Rogóżno	6,61 ± 2,45	17,30 ± 4,13	11,96 ± 7,56

<sup>a)</sup>Wartość ± CWN przy poziomie ufności 68%    <sup>b)</sup>Wartość średnia ± OS

Stężenie  $^{238}\text{Pu}$  w osadach dennych było oznaczone w 2 spośród 12 próbek, a oba osady były pobrane wiosną:

- z jeziora Niesłysz 3,18 ± 1,50 mBq kg<sup>-1</sup>
- z jeziora Rogóżno 2,21 ± 1,65 mBq kg<sup>-1</sup>.

### 5.5. Porównanie zawartości $^{137}\text{Cs}$ w osadach badanych rzek z zawartościami notowanymi w jeziorach

W Tabeli 14. przedstawiono średnie stężenia promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dorzecza Wisły, dorzecza Odry i w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenia promieniotwórcze i ich zakres.

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  dla dorzecza Wisły, Odry i jezior było bardziej zróżnicowane niż w ubiegłym roku i wynosiło odpowiednio 3,06; 4,31 i 3,64 Bq kg<sup>-1</sup>. Największe różnice w stężeniach  $^{137}\text{Cs}$  obserwowano dla dorzecza Odry od 0,30 do 20,22 Bq kg<sup>-1</sup>.

Średnie stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w 2022 roku było najniższe wiosną w dorzeczu Odry i wynosiło 2,31 Bq kg<sup>-1</sup>, Najwyższą wartość oznaczono wiosną w jeziorach – 4,14 Bq kg<sup>-1</sup>.

**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 w 2022 r.

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>	3,67 ± 2,73	2,46 ± 3,10	3,06 ± 2,88 (14)	0,32–7,71
Dorzecze Odry (5)	2,31 ± 3,24	3,24 ± 6,31	4,31 ± 5,96 (10)	0,30–20,22
Jeziora (6)	4,14 ± 3,02	3,14 ± 1,36	3,64 ± 2,29 (12)	1,24–9,83
Średnia ogólna (18)	3,45 ± 2,89	3,76 ± 5,00	3,60 ± 3,15 (36)	0,32–20,22

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

<sup>b)</sup> Wartość średnia ± OS

### 5.6. Porównanie zawartości $^{238}\text{Pu}$ i $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych badanych rzek z zawartościami notowanymi 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 tych izotopów w 2022 r.

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>	28,17 ± 13,04 <sup>b)</sup>	17,95 ± 14,32	23,06 ± 14,37 (14)	3,47–46,15
Dorzecze Odry (5)	18,76 ± 22,64	37,89 ± 47,16	28,31 ± 36,31 (10)	5,14–110,0
Jeziora (6)	8,53 ± 5,85	12,56 ± 7,98	10,55 ± 7,00 (12)	2,81–22,70
Średnia ogólna (18)	19,00 ± 16,25	21,69 ± 27,04	20,35 ± 16,71 (36)	2,81–110,0

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

<sup>b)</sup> Średnia ± OS

W Tabeli 15. przedstawiono średnie stężenia promieniotwórcze  $^{239,240}\text{Pu}$  dla dorzeczy Wisły i Odry oraz jezior zarówno w okresie wiosennym jak i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego izotopu i zakres.

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dorzecza Wisły, Odry i jezior wynosiły odpowiednio 23,06 mBq kg<sup>-1</sup>, 28,31 mBq kg<sup>-1</sup> i 10,55 mBq kg<sup>-1</sup>. Największe różnice

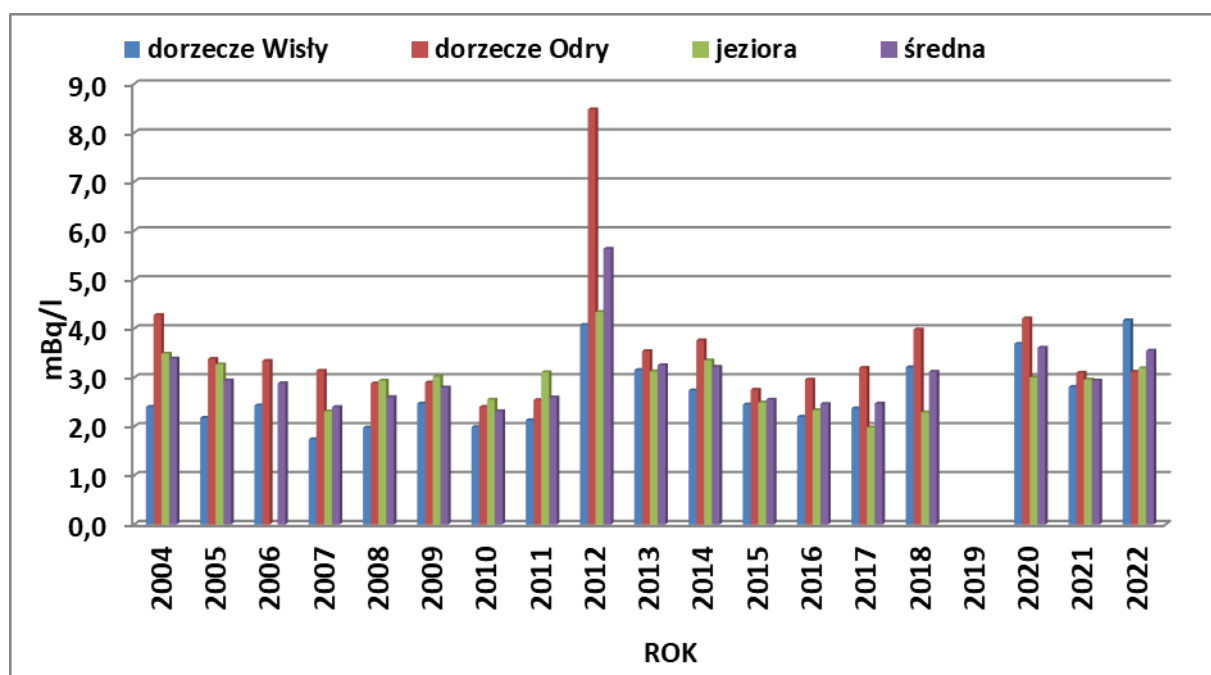
stężenia oznaczanych izotopów występowały w dorzeczu Odry i mieściły się w zakresie od 5,14 do 110,0 mBq kg<sup>-1</sup>.

Stężenie promieniotwórcze <sup>238</sup>Pu w osadach dennych było w większości przypadków poniżej granicy detekcji (1,5 mBq kg<sup>-1</sup>). Zostało oznaczone tylko w 3 z pośród 24 próbek osadów rzecznych i w 2 z pośród 12 próbek osadów jeziornych. Wszystkie osady były pobrane jesienią (z Narwi w Pułtusku - 1,98 ± 0,85 mBq kg<sup>-1</sup>, z Bugu w Wyszowie - 2,58 ± 0,89 mBq kg<sup>-1</sup>, z Odry w Chałupkach - 2,00 ± 0,87 mBq kg<sup>-1</sup>, z jeziora Niesłysz 3,18 ± 1,50 mBq kg<sup>-1</sup> z jeziora Rogóźno 2,21 ± 1,6+5 mBq kg<sup>-1</sup>).

## 6. ZMIANY WARUNKÓW RADIOLOGICZNYCH NA PRZESTRZENI LAT

Zmiany warunków radiologicznych przedstawiono w układzie dorzeczy rzek w porównaniu do jezior na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

### 6.1. Analiza zawartości <sup>137</sup>Cs w wodach rzecznych w układzie dorzeczy oraz ich porównanie do wód jeziornych



**Rys. 3.** Średnie roczne stężenia promieniotwórcze <sup>137</sup>Cs w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2022

Rysunek 3. przedstawia wykres obrazujący średnie roczne stężenia promieniotwórcze <sup>137</sup>Cs w wodzie dla dorzecza Wisły, Odry i jezior w odniesieniu do ogólnej średniej rocznej w

latach 2004-2022. W roku 2019 badania prowadzone były tylko dla jednego (jesiennego) poboru stąd brak wartości średnich rocznych.

Najniższe wartości średniego rocznego stężenia promieniotwórczego  $^{137}\text{Cs}$  w latach 2004-2015 obserwujemy dla dorzecza Wisły. Natomiast od 2017 do 2020 roku najniższe wartości odnotowano dla wód jeziornych. 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  $^{137}\text{Cs}$ . Prawdopodobnie było to spowodowane niskim poziomem wód, jaki miał miejsce w tym roku, mogło to być przyczyną kumulacji badanego izotopu. Szczególnie podwyższony poziom był widoczny dla dorzecza Odry.

Wpływ na podwyższenie wartości średniej miał również otrzymany wynik dla próbki osadu pobranego wiosną w Chałupkach ( $40,72 \text{ mBq l}^{-1}$ ). Jesienią oznaczona zawartość  $^{137}\text{Cs}$  była już dziesięciokrotnie niższa. W przedziałach czasowych 2013-2014 i 2015-2017 obserwujemy wyrównany poziom stężenia promieniotwórczego  $^{137}\text{Cs}$ . W 2016 roku zawartość izotopu cezu w wodzie dla dorzecza Wisły i jezior była wyrównana i niższa niż w ostatnich latach. Natomiast zawartość izotopu cezu w wodzie dorzecza Odry była nieznacznie wyższa niż w 2015 roku. W roku 2018 nastąpił wzrost średnich rocznych zawartości  $^{137}\text{Cs}$  dla dorzeczy i jezior w stosunku do trzech wcześniejszych lat. Podobna sytuacja miała miejsce w 2020 roku. Biorąc pod uwagę ok.15% błąd oznaczenia można stwierdzić, że średnia zawartość  $^{137}\text{Cs}$  w wodach rzek i jezior zarówno w 2020 roku jak i kilku ubiegłych latach jest na zbliżonym poziomie.

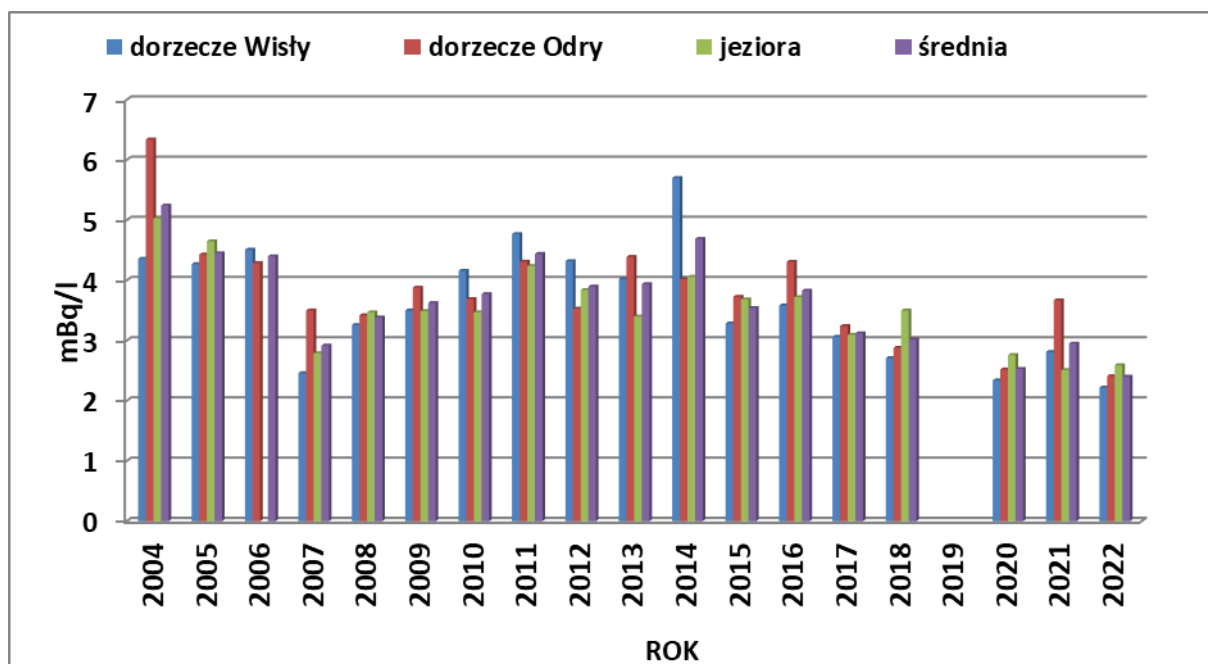
W bieżącym roku obserwujemy bardzo wyrównane stężenia izotopu cezu w wodach dorzeczy Odry i wodach jeziornych i nieznacznie większe dla dorzecza Wisły.

## **6.2. Analiza zawartości $^{90}\text{Sr}$ w wodach rzecznych w układzie dorzeczy oraz ich porównanie do wód jeziornych**

Na Rysunku 4. przedstawiono średnie roczne stężenia promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w wodzie dla dorzeczy Wisły, Odry i jezior w odniesieniu do ogólnej średniej rocznej w latach 2004-2022. W roku 2019 badania prowadzone były tylko dla jednego (jesiennego) poboru stąd brak wartości średnich rocznych.

W przypadku  $^{90}\text{Sr}$  na przestrzeni osiemnastu lat monitoringu nie widać wyraźnie powtarzających się zależności. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w

poszczególnych latach dla dorzecza Wisły i Odry jak i jezior są bardziej wyrównane niż w przypadku analogicznych średnich rocznych stężeń promieniotwórczych  $^{137}\text{Cs}$ .



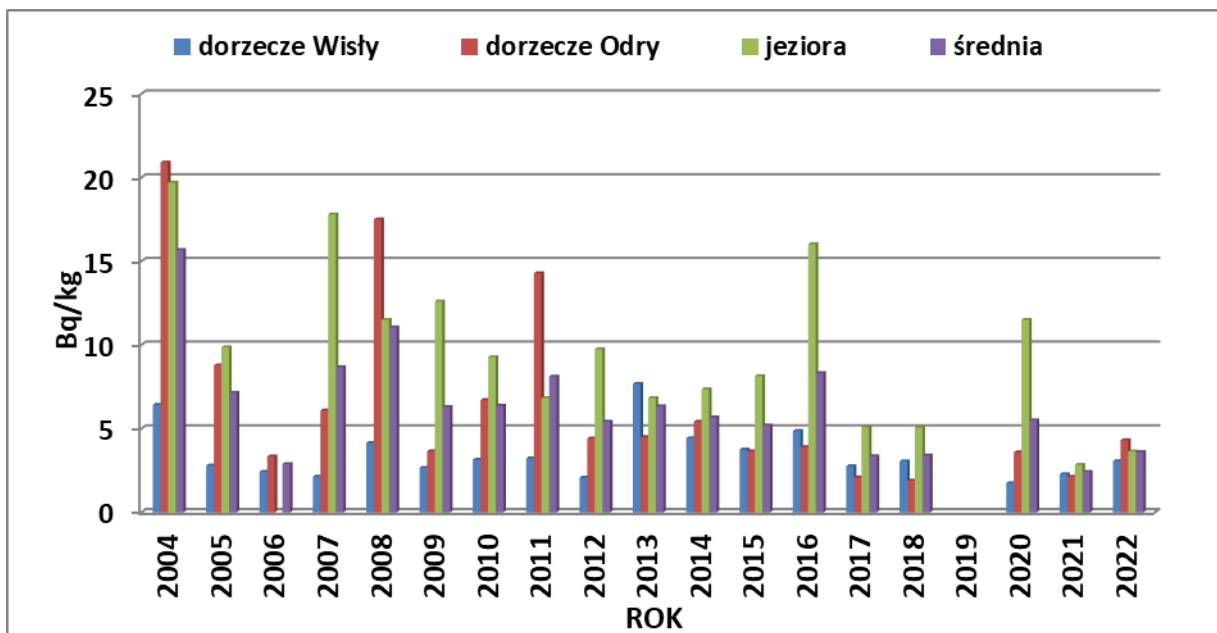
**Rys. 4.** Średnie roczne stężenia promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2022

Najwyższą wartość otrzymano w pierwszym roku badań ( $5,2 \text{ mBq l}^{-1}$ ). Przez kolejne trzy lata obserwowano spadek ogólnego średniego rocznego stężenia promieniotwórczego  $^{90}\text{Sr}$  do roku 2007, w którym to roku odnotowano najniższą wartość –  $2,9 \text{ mBq l}^{-1}$ . Przez kolejne dziewięć lat zawartość  $^{90}\text{Sr}$  w analizowanych wodach utrzymywała się na zbliżonym poziomie. Zarejestrowane zmiany mieściły się w zakresie  $1,5 \text{ mBq l}^{-1}$ . Poszczególne podwyższone wartości średnich rocznych dla dorzecza i jezior zazwyczaj spowodowane były jednokrotnym oznaczeniem wyższej zawartości  $^{90}\text{Sr}$  w pojedynczych próbkach, które nie znajdowały potwierdzenia stabilności zmiany w kolejnych analizach. Na przykład w 2014 roku na wyższą wartość ogólnej średniej rocznej stężenia promieniotwórczego  $^{90}\text{Sr}$  dla dorzecza Wisły w stosunku do pozostałych lat, miał wpływ wynik otrzymany dla próbki osadu pobranego jesienią w Płocku. Stężenie wynosiło  $16,15 \text{ mBq l}^{-1}$  i było od 3 do 5 razy wyższe od wartości uzyskanych dla próbek pobranych w innych lokalizacjach. W 2017 roku odnotowano najbardziej zbliżone wartości średniego rocznego stężenia promieniotwórczego  $^{90}\text{Sr}$  w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior i nieznacznie niższą wartość średniej rocznej w stosunku do kilku ubiegłych lat. W roku 2018 wyniki dla dorzecza i jezior nie były tak bardzo zbliżone jak rok wcześniej, ale wartość średniego rocznego stężenia izotopu strontu pozostała na tym samym poziomie. W 2020 roku odnotowano nieznaczny spadek zawartości badanego izotopu, w stosunku do ubiegłych lat, zarówno dla dorzecza jak i jezior. W 2021 roku

zauważalny jest niewielki wzrost zawartości izotopu strontu w dorzeczu Odry, co miało nieznaczny wpływ na wartość średniej, utrzymującej się na zbliżonym poziomie od kilku lat. W roku bieżącym średniego roczne stężenia promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior powróciły do wartości z roku 2020.

### 6.3. Analiza zawartości $^{137}\text{Cs}$ w osadach dennych rzecznych w układzie dorzeczy oraz ich porównanie do osadów jeziornych

Rysunek 5. 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 2004-2022.



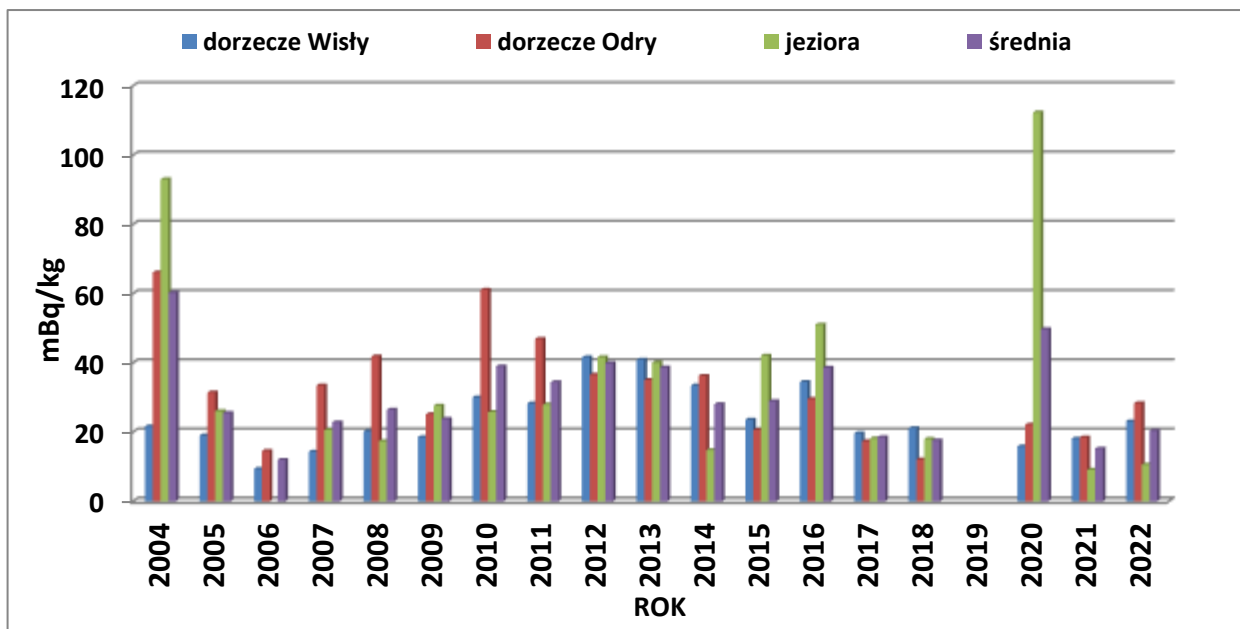
Rys. 5. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2022

W ocenie ogólnej średniej rocznej zawartości  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych pomijamy rok 2006, ponieważ w tym roku nie były monitorowane jeziora oraz rok 2019, ponieważ w tym roku przeprowadzono tylko pobór jesienny.

Najwyższe ogólne średnie roczne stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych zanotowano w roku 2004. Średnie roczne stężenia wynosiły wówczas odpowiednio: dla dorzecza Wisły –  $6,4 \text{ Bq kg}^{-1}$ , dla dorzecza Odry -  $20,9 \text{ Bq kg}^{-1}$  i dla jezior –  $19,7 \text{ Bq kg}^{-1}$ . Najbardziej zbliżone średnie roczne stężenia promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  zanotowano jeszcze kilkakrotnie; dla jezior w roku 2007 ( $12,6 \text{ Bq kg}^{-1}$ ) i 2016 ( $16,0 \text{ Bq kg}^{-1}$ ), dla dorzecza Wisły w 2013 ( $7,7 \text{ Bq kg}^{-1}$ ), a dla dorzecza Odry w roku 2008 ( $17,5 \text{ Bq kg}^{-1}$ ). W większości przypadków w latach monitoringu zawartość  $^{137}\text{Cs}$  była znacznie niższa dla dorzecza Wisły

niż dorzecza Odry i jezior. W roku 2013 nie obserwuje się tej zależności. W tym roku na wyższą wartość średniej rocznej stężenia promieniotwórczego  $^{137}\text{Cs}$  dla dorzecza Wisły w stosunku do pozostałych lat, miał wpływ wynik otrzymany dla próbki osadu pobranego wiosną w Krakowie Tyńcu ( $63,75 \text{ Bq kg}^{-1}$ ). Wszystkie wartości średnich rocznych stężeń  $^{137}\text{Cs}$  są najbardziej zbliżone dla danych z roku 2021. Natomiast ogólna średnia roczna zawartości  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych osiągnęła niemal identyczną wartość w latach 2017, 2018 i wynosiła odpowiednio:  $3,35 \text{ Bq kg}^{-1}$  i  $3,40 \text{ Bq kg}^{-1}$  (z pominięciem roku 2006, w którym nie były monitorowane jeziora). W roku 2020 uzyskano znacznie wyższą wartość średnią dla osadów jeziornych niż w latach 2017 i 2018. Wpływ na taką wartość miały wyniki uzyskane zarówno wiosną jak i jesienią dla jeziora Rogóźno ( $49,67 \pm 1,70$  i  $64,86 \pm 1,10 \text{ Bq kg}^{-1}$ ). W 2021 roku otrzymano jedne z najniższych wartości średnich dla dorzeczy i jezior na przestrzeni wszystkich lat. Ponadto wartości te są na bardzo zbliżonym poziomie. W roku 2022 odnotowaliśmy niewielki ogólny wzrost średnich rocznych stężeń promieniotwórczych  $^{137}\text{Cs}$ .

#### 6.4. Analiza zawartości $^{238}\text{Pu}$ i $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych rzecznych w układzie dorzeczy oraz ich porównanie do osadów jeziornych



**Rys. 6.** Średnie roczne stężenia promieniotwórcze  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2022.



Rysunek 6. 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 2004-2022.

Podobnie jak w przypadku izotopu  $^{137}\text{Cs}$  w ocenie ogólnej średniej rocznej zawartości  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dennych nie bierzemy pod uwagę roku 2006, w którym nie były monitorowane jeziora oraz roku 2019, ponieważ w tym roku przeprowadzono tylko pobór jesienny.

Z pominięciem pierwszego roku badań i roku 2006 widzimy, że zmiany średniego rocznego stężenia izotopów  $^{239,240}\text{Pu}$  na przestrzeni osiemnastu lat obserwacji mieszczą się w zakresie  $20 \text{ mBq kg}^{-1}$ .

Najwyższe średnie stężenia  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dennych obserwowano w roku 2004 i 2020 dla jezior ( $93,0 \text{ mBq kg}^{-1}$  i  $112,3 \text{ mBq kg}^{-1}$ ) i w 2010 dla dorzecza Odry ( $61,1 \text{ mBq kg}^{-1}$ ).

Z obserwacji średnich rocznych zawartości  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dennych wynika, że w latach 2012 i 2013 poziom jego stężenia w dorzeczach Wisły, Odry i w jeziorach jest najbardziej zbliżony i wynosi ok.  $40 \text{ mBq kg}^{-1}$ . Taka sytuacja miała miejsce jeszcze w roku 2017, 2018 i 2021 z tym, że wartości średnich rocznych dla dorzeczy i jezior były dwukrotnie niższe i wynosiły ok.  $20 \text{ mBq kg}^{-1}$ . W roku 2014 i 2015 odnotowano spadek ogólnej rocznej zawartości  $^{239,240}\text{Pu}$  w stosunku do kilku wcześniejszych lat (2010-2013). Pomimo podwyższonej zawartości izotopów plutonu w 2015 roku w jeziorach wartość ogólnej średniej rocznej pozostała na tym samym poziomie co w roku 2014 (ok.  $28 \text{ mBq kg}^{-1}$ ).

W roku 2016 zaobserwowaliśmy niewielki wzrost stężeń izotopów plutonu w dorzeczach Wisły, Odry i w jeziorach w stosunku do roku 2015. Odnotowane wyższe wartości nie świadczą o zmianie warunków radiologicznych obserwowanych od wielu lat, są wynikiem oznaczenia większej ilości  $^{239,240}\text{Pu}$  dla pojedynczych próbek. Kilkakrotnie większe wartości mogą jednak sugerować zmianę składu osadów nanoszonych w miejscach poboru prób w poszczególnych okresach badań.

Osady denne 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 2021 odnotowano najniższą wartość ogólnej średniej rocznej izotopów  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dennych, a wynosiła ona  $15,18 \text{ mBq kg}^{-1}$  (z pominięciem roku 2006, w którym nie były monitorowane jeziora).

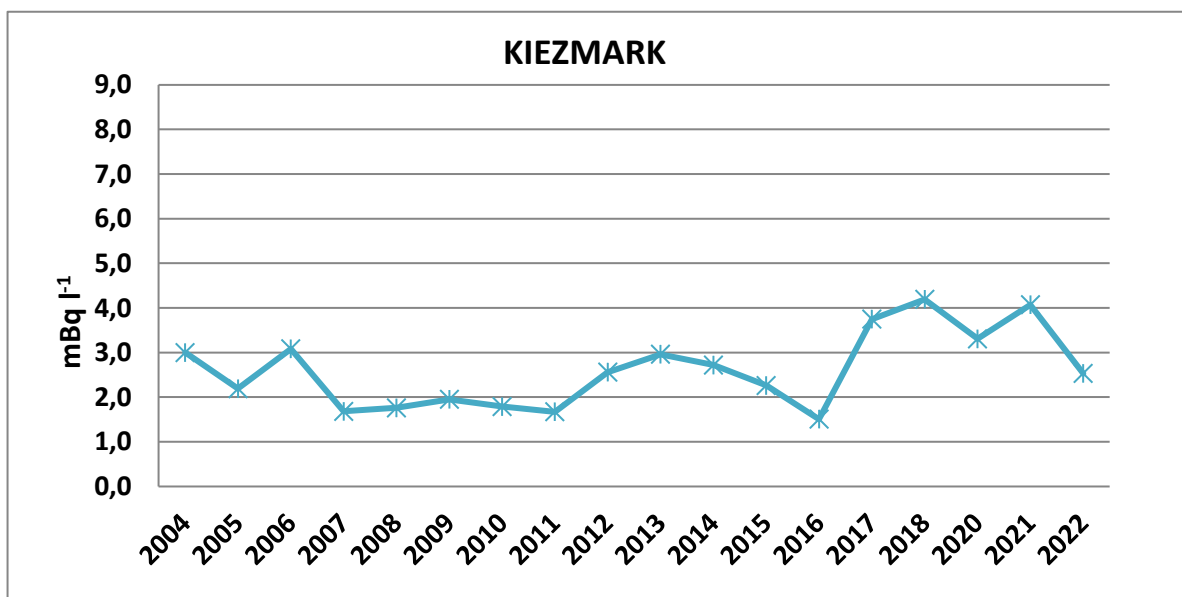
W roku 2020 uzyskano najwyższą wartość średnią na przestrzeni lat dla jezior. Wpływ na taką wartość (podobnie jak w przypadku cezu) miały wyniki uzyskane zarówno wiosną jak i jesienią dla jeziora Rogóźno. W 2021 roku taka sytuacja nie miała miejsca. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach miało najniższą wartość na przestrzeni wszystkich lat badawczych. W bieżącym roku odnotowaliśmy wzrost stężenia badanych izotopów dla dorzecza Wisły i Odry przy niezmiennym poziomie dla jezior.

## 7. ZMIANY WARUNKÓW RADIOLOGICZNYCH NA PRZESTRZENI LAT W WYBRANYCH PUNKTACH BADAWCZYCH

Zmiany warunków radiologicznych na przestrzeni lat przedstawiono dla czterech wybranych punktów pomiarowych zlokalizowanych: w dorzeczu Wisły (Kieźmark, Pułtusk, Wyszaków) i dorzeczu Odry (Poznań) oraz na dwóch jeziorach Niesłysz i Rogóźno. Przedstawione w rozdziale wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu. Aby była możliwość porównania wartości parametrów w poszczególnych latach w danym punkcie poboru, ale również pomiędzy poszczególnymi punktami na wykresach została zachowana ta sama skala dla poszczególnych izotopów.

### 7.1. Analiza zawartości $^{137}\text{Cs}$ w wodach na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych

#### 7.1.1. Analiza zawartości $^{137}\text{Cs}$ w wodzie pobranej z Wisły w Kieźmarku



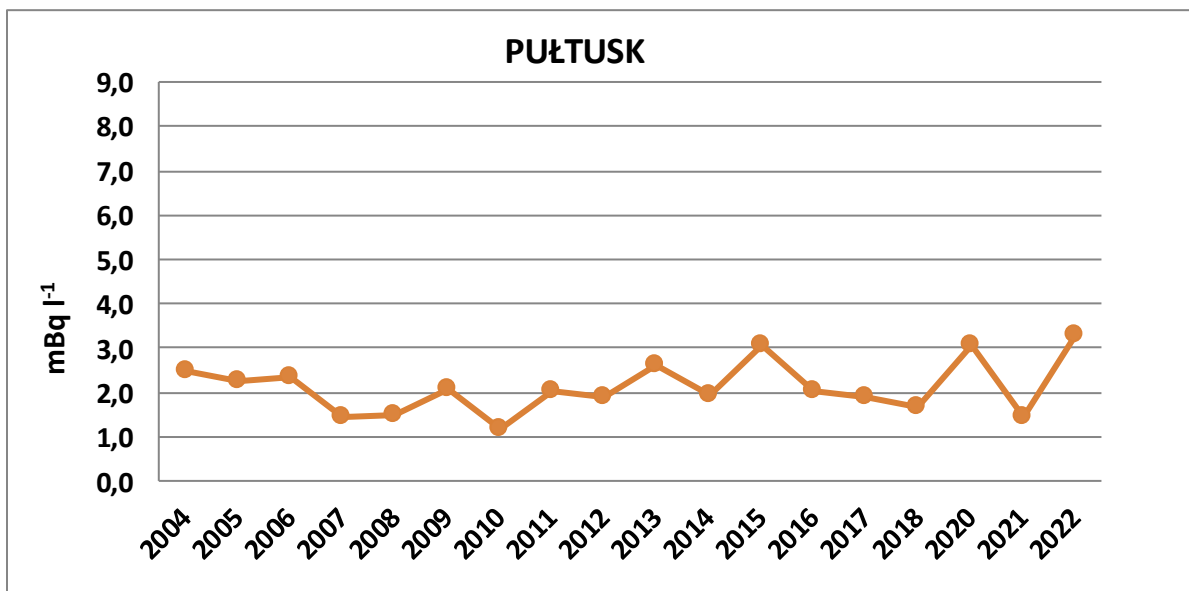
Rys. 7. Zawartość  $^{137}\text{Cs}$  w wodach Wisły pobranej w Kieźmarku w latach 2004-2022

Średni poziom stężenia promieniotwórczego  $^{137}\text{Cs}$  w wodzie pobieranej w Kieźmarku przez wszystkie lata obserwacji był dosyć wyrównany. Nieco wyższe wartości odnotowano w 2018 roku badań – 4,19  $\text{mBq l}^{-1}$  oraz w 2021 roku – 4,07  $\text{mBq l}^{-1}$ . Zmiany średniej rocznej zawartości  $^{137}\text{Cs}$  w wodzie na przestrzeni 18 lat mieszczą się w zakresie od 1,51  $\text{mBq l}^{-1}$  do 4,19  $\text{mBq l}^{-1}$ . Najniższą wartość odnotowano w roku 2016 -1,51  $\text{mBq l}^{-1}$ , a najwyższą 4,19  $\text{mBq l}^{-1}$  w roku 2018. Należy jednak podkreślić, że pomimo odnotowanego nieznacznego wzrostu zawartość  $^{137}\text{Cs}$  w wodzie z Wisły w Kieźmarku pozostaje na niskim poziomie.

### 7.1.2. Analiza zawartości $^{137}\text{Cs}$ w wodzie pobranej z Narwi w Pułtusk

Rysunek 8. Przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych  $^{137}\text{Cs}$  w wodach Narwi pobranej w Pułtusk w latach 2004-2022. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.

Na przestrzeni lat średnie stężenie promieniotwórcze izotopu  $^{137}\text{Cs}$  mieści się w wąskim zakresie od 1,15 w roku 2010 do 3,27  $\text{mBq l}^{-1}$  w roku bieżącym. Najbardziej stabilną sytuację obserwowaliśmy w latach 2016 – 2018. Pomimo nieznacznego wzrostu w kolejnych latach zawartość  $^{137}\text{Cs}$  w wodzie z Narwi w Pułtusk pozostaje na niskim poziomie.

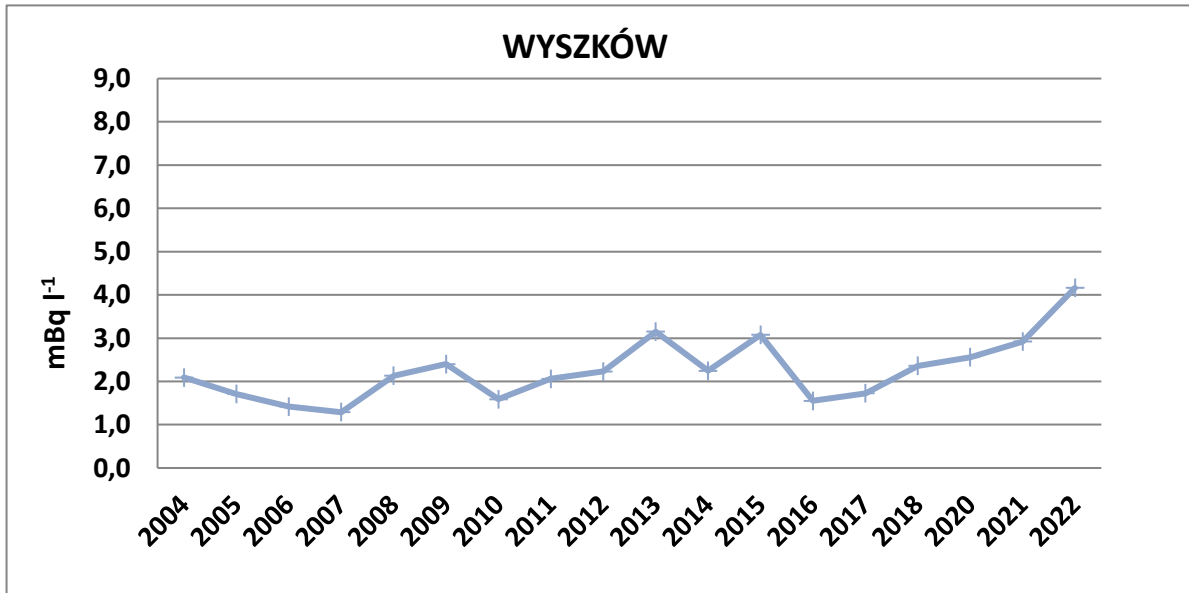


Rys. 8. Zawartość  $^{137}\text{Cs}$  w wodach Narwi pobranej w Pułtusk w latach 2004-2022

### 7.1.3. Analiza zawartości $^{137}\text{Cs}$ w wodzie pobranej z Bugu w Wyszkwie

Średni poziom stężenia promieniotwórczego  $^{137}\text{Cs}$  w wodzie pobieranej z Bugu w Wyszkwie w latach 2004-2022 był wyrównany (Rysunek 9.). Minimalną wartość

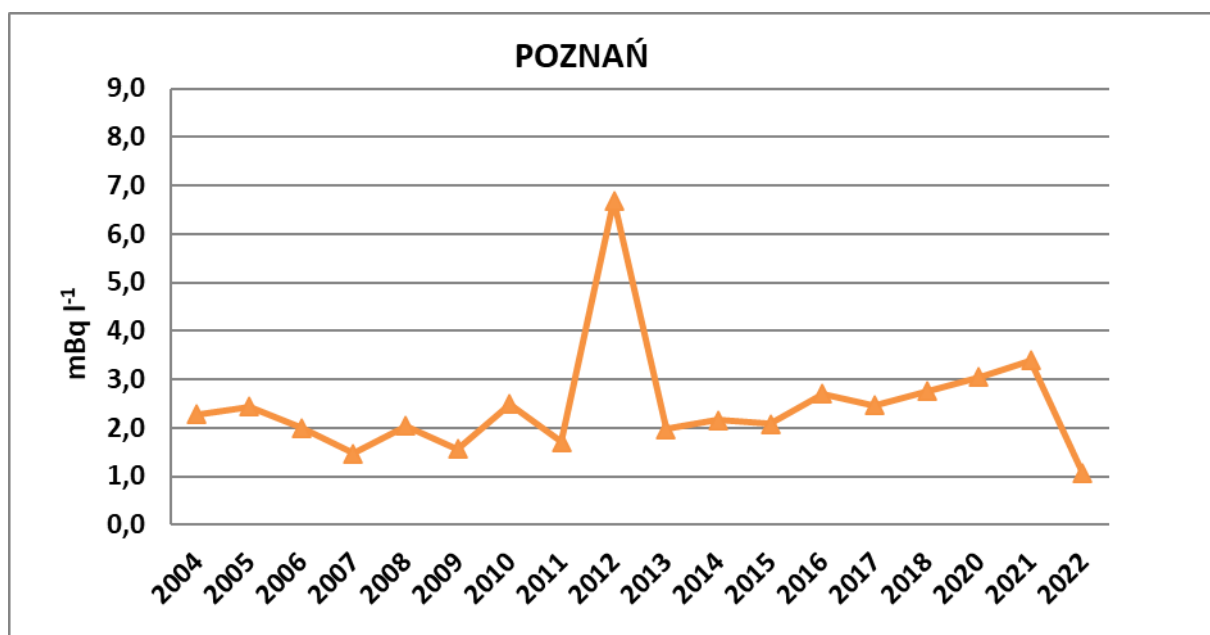
odnotowano w roku 2007 i wynosiła ona 1,29 mBq l<sup>-1</sup>, zaś maksymalną w roku 2022 – ok 4,2 mBq l<sup>-1</sup>. Poziom średnich rocznych stężeń promieniotwórczych <sup>137</sup>Cs mieści się w zakres ok. 2,5 mBq l<sup>-1</sup>. W bieżącym roku oznaczono izotop cezu na najwyższym poziomie. Wartość ta jest jednak zbliżona do średnich wartości dla kilku punktów pomiarowych.



Rys. 9. Zawartość <sup>137</sup>Cs w wodach Bugu pobieranych w Wyszkwowie w latach 2004-2022

#### 7.1.4. Analiza zawartości <sup>137</sup>Cs w wodzie pobranej z Warty w Poznaniu

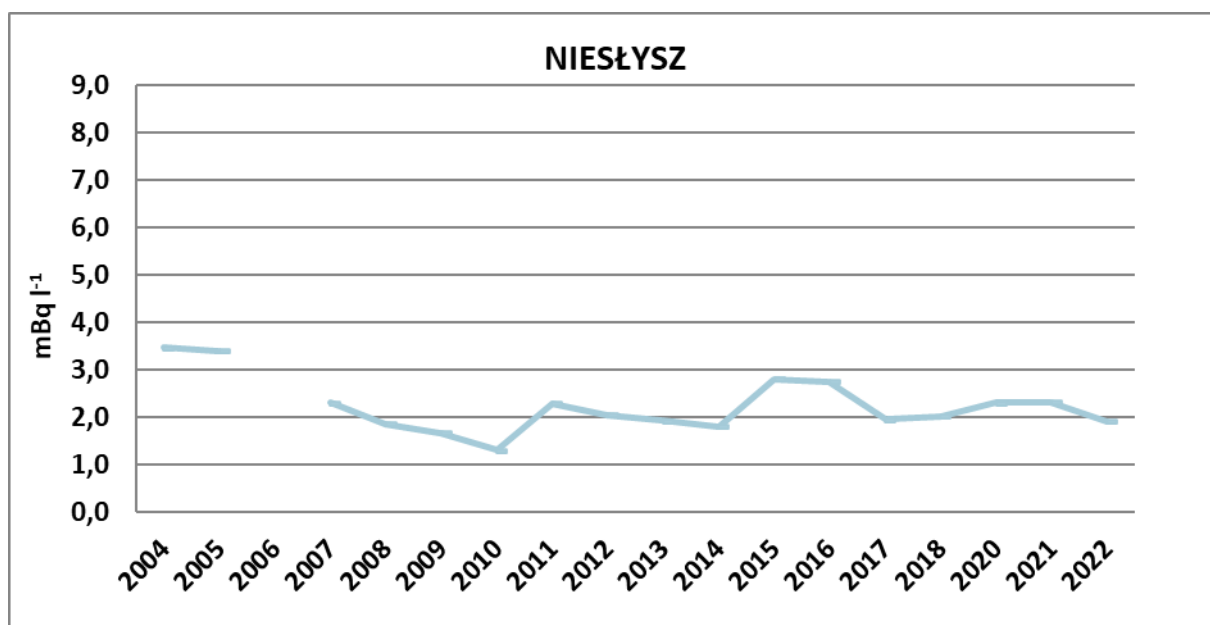
Średni poziom stężeń promieniotwórczego <sup>137</sup>Cs w wodzie pobieranej w Poznaniu w latach 2004-2022 był wyrównany (Rysunek 10.), a zmiany mieściły się w zakresie ok. 2 mBq l<sup>-1</sup>. Jedynie w roku 2012 zanotowano wzrost zawartości <sup>137</sup>Cs. Średnią roczną stężenia tego izotopu zawyżył wynik próbki wiosennej (10,96 mBq l<sup>-1</sup>). Mogło to być spowodowane czasowym wpływem wód innego pochodzenia w to miejsce. Trwałości tej zmiany nie potwierdziły zarówno badania jesienne, w których oznaczone stężenie promieniotwórcze <sup>137</sup>Cs w wodzie wynosiło 2,41 mBq l<sup>-1</sup> jak i badania w kolejnych latach. W latach 2017 - 2021 obserwujemy nieznaczny wzrost zawartości izotopu cezu w wodach Warty. Pozostaje ona nadal na niskim poziomie. Najniższą wartość odnotowano w bieżącym roku, a wynosiła ona 1,06 mBq l<sup>-1</sup>.



Rys. 10. Zawartość <sup>137</sup>Cs w wodzie z Warty pobranej w Poznaniu w latach 2004-2022

#### 7.1.5. Analiza zawartości <sup>137</sup>Cs w wodzie pobranej z jeziora Niesłysz

Przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych <sup>137</sup>Cs w wodach z jeziora Niesłysz w latach 2004–2022 przedstawiono na Rys.11.



Rys. 11. Zawartość <sup>137</sup>Cs w wodzie z jeziora Niesłysz w latach 2004-2022

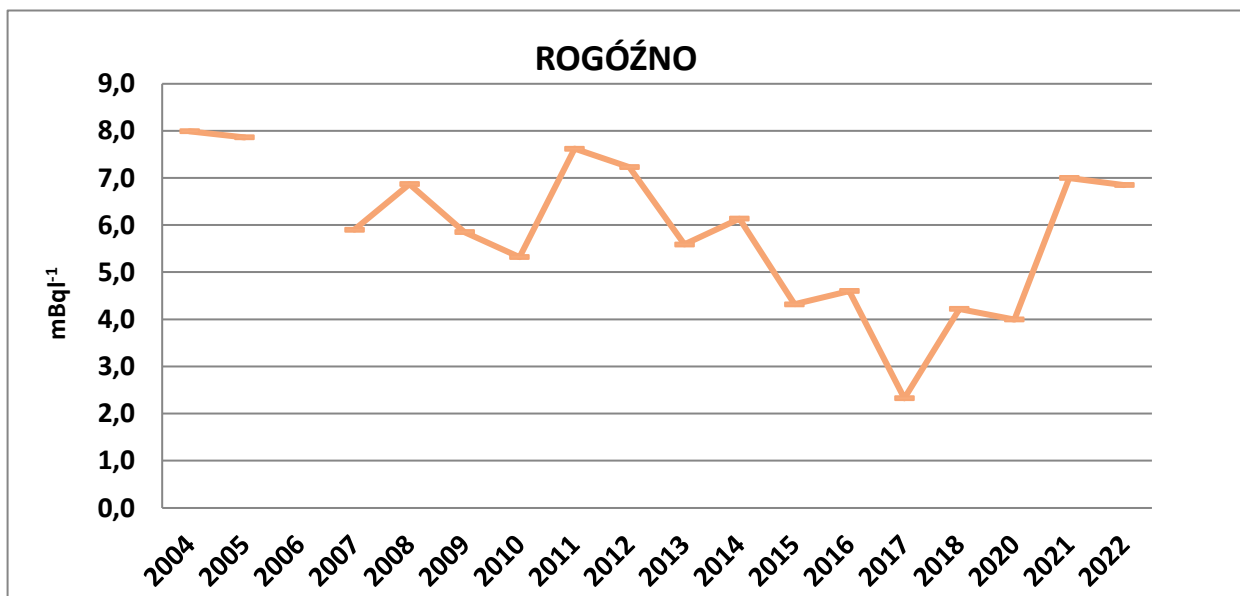
Podane wartości są średnimi rocznymi w poszczególnych latach. W roku 2006 nie były prowadzone badania dla jezior stąd brak wyników na pokazanym wykresie. Najwyższe

wartości izotopu cezu oznaczono w pierwszych latach badań (2004, 2005). Na przestrzeni pozostałych 16 lat zakres w jakim obserwowano fluktuacje to niespełna 2 mBq l<sup>-1</sup>. Najbardziej stabilną sytuację obserwujemy od roku 2017. Można zatem stwierdzić, że zawartość <sup>137</sup>Cs w wodach jeziora Niesłysz jest niezmienna od 16 lat i jest na niskim poziomie.

#### 7.1.6. Analiza zawartości <sup>137</sup>Cs w wodzie pobranej z jeziora Rogóźno

Przebieg czasowy średnich rocznych stężeń promieniotwórczych <sup>137</sup>Cs w wodach jeziora Rogóźno w latach 2004 – 2022 przedstawiono na Rysunku 12. W roku 2006 nie były prowadzone badania dla jezior stąd brak wyników na pokazanym wykresie.

Z przedstawionej zależności wynika, że w przeciągu 12 lat (do 2017 roku) obserwujemy tendencję spadkową zawartości <sup>137</sup>Cs. W ostatnich czterech latach zawartość izotopu cezu nieznacznie wzrosła. Na ogół w jeziorze Rogóźno obserwowane są większe wartości stężenia promieniotwórczego <sup>137</sup>Cs (jak i pozostałych badanych izotopów). Wpływ na poziom badanych pierwiastków może mieć ilość i rodzaj cieków wodnych wpływających do jeziora, tym bardziej, że jezioro Rogóźno nie jest jeziorem przepływowym lecz jest pochodzenia krasowego, a ten typ jezior często charakteryzuje się obecnością osadów nieprzepuszczalnych. Może być to powód kumulacji badanych nuklidów.



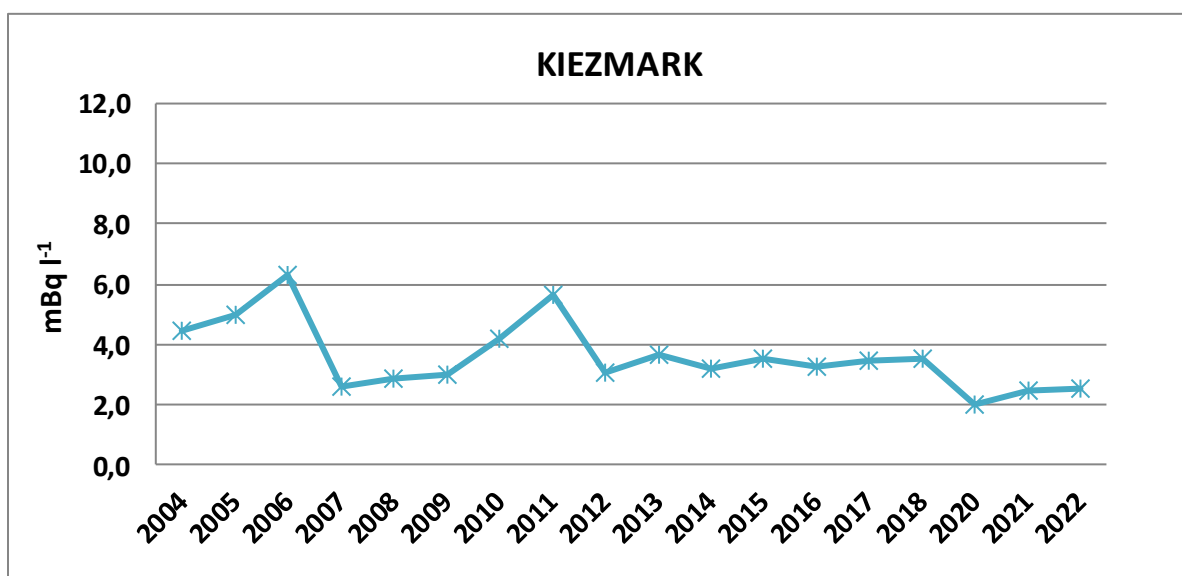
Rys. 12. Zawartość <sup>137</sup>Cs w wodzie z jeziora Rogóźno w latach 2004-2022

## 7.2. Analiza zawartości $^{90}\text{Sr}$ w wodach na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych

### 7.2.1. Analiza zawartości $^{90}\text{Sr}$ w wodzie pobranej z Wisły w Kiezmaku

Rysunek 13. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych  $^{90}\text{Sr}$  w wodzie Wisły pobranej w Kiezmaku w latach 2004-2022. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.

Na przestrzeni lat średnie stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  mieści się w zakresie od 2,01 (rok 2020) do 6,30  $\text{mBq l}^{-1}$  (rok 2006). Można przyjąć, że stężenie  $^{90}\text{Sr}$  przy nieznacznych fluktuacjach w latach 2004-2011 pozostaje na niskim i wyrównanym poziomie do chwili obecnej.



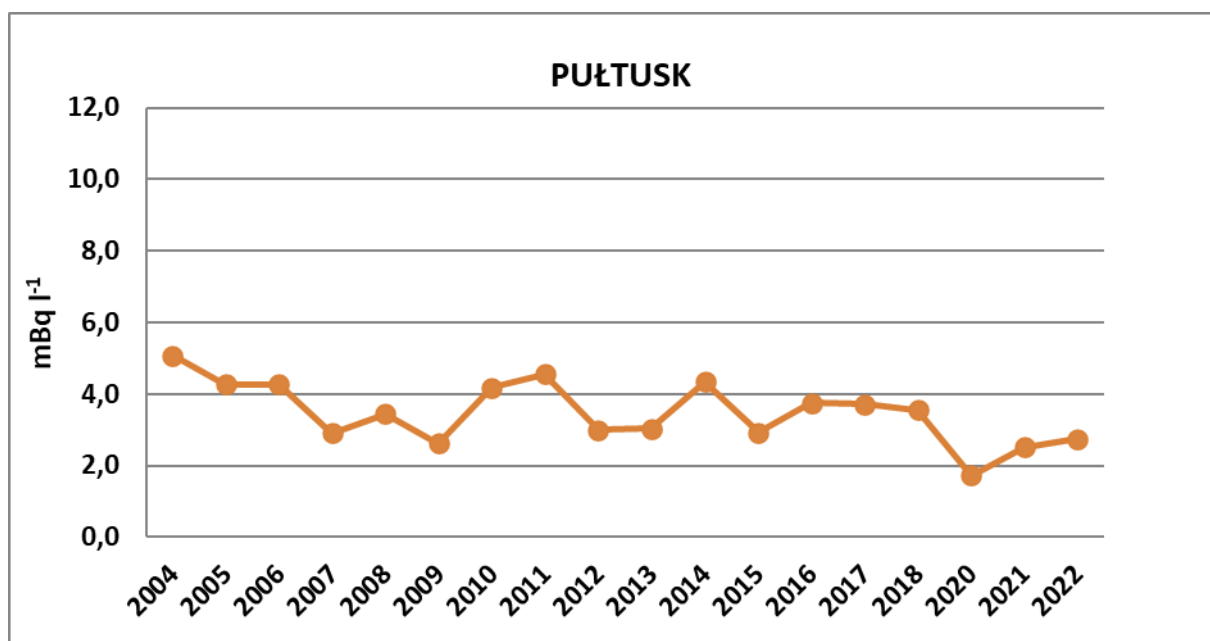
Rys. 13. Zawartość  $^{90}\text{Sr}$  w wodach Wisły pobranej w Kiezmaku w latach 2004-2022

### 7.2.2. Analiza zawartości $^{90}\text{Sr}$ w wodzie pobranej z Narwi w Pułtusku

Przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych  $^{90}\text{Sr}$  w wodach Narwi pobranej w Pułtusku w latach 2004-2022 przedstawiono na Rysunku 14. Podane wartości są średnimi rocznymi w poszczególnych latach.

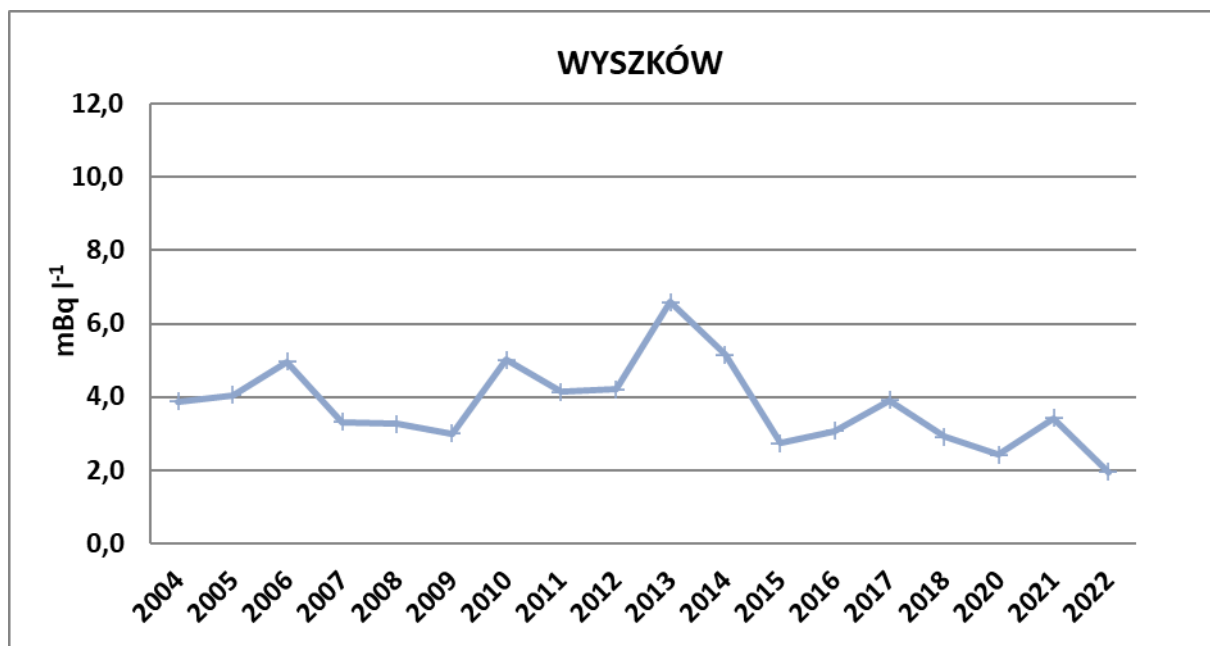
Z przedstawionej zależności wynika, że w przeciągu osiemnastu lat zmiany zawartości  $^{90}\text{Sr}$  w wodach były nieznaczne. Najwyższe stężenie badanego izotopu odnotowano w pierwszym roku badań - 5,07  $\text{mBq l}^{-1}$ , najniższe zaś w roku 2020 - 1,73  $\text{mBq l}^{-1}$ . Zakres w jakim obserwowano fluktuacje, poza pierwszym rokiem badań, to ok. 2  $\text{mBq l}^{-1}$ .

Prawdopodobnie spowodowane jest to bardziej stabilną sytuacją hydrologiczną niż w przypadku pozostałych rzek. Te przypuszczenia potwierdzają również wyniki z ostatnich dwóch lat wynoszące odpowiednio: rok 2021 – 2,52 mBq l<sup>-1</sup> i rok 2022 – 2,76 mBq l<sup>-1</sup>.



Rys. 14. Zawartość <sup>90</sup>Sr w wodach Narwi pobranej w Pułtusku w latach 2004-2022

### 7.2.3. Analiza zawartości <sup>90</sup>Sr w wodzie pobranej z Bugu w Wyszkwowie



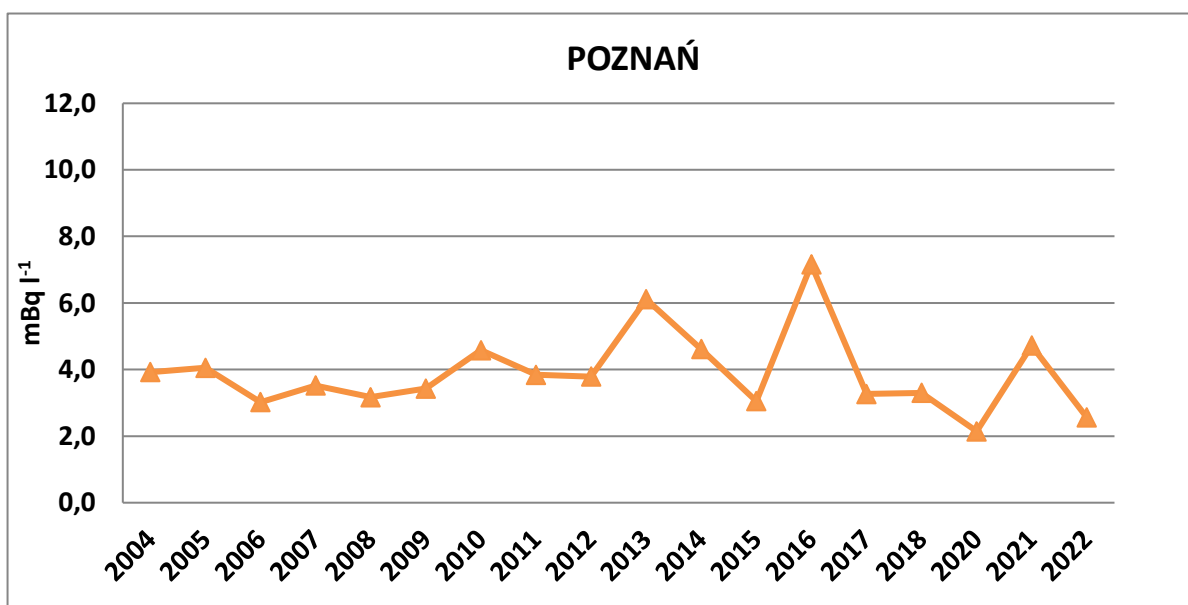
Rys. 15. Zawartość <sup>90</sup>Sr w wodach Bugu pobieranych w Wyszkwowie w latach 2004-2022



Rysunek 15. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych  $^{90}\text{Sr}$  w wodach dorzecza Wisły pobieranych w Wyszku w latach 2004-2022. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.

Na przestrzeni lat średnie stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  dla punktu pomiarowego w Wyszku mieści się w dość wąskim zakresie od  $1,96 \text{ mBq l}^{-1}$  w roku 2022 do  $6,58 \text{ mBq l}^{-1}$  w 2013 roku. Dla tego punktu od 2013 roku obserwujemy tendencję spadkową zawartości izotopu strontu w badanej wodzie.

#### 7.2.4. Analiza zawartości $^{90}\text{Sr}$ w wodzie pobranej z Warty w Poznaniu

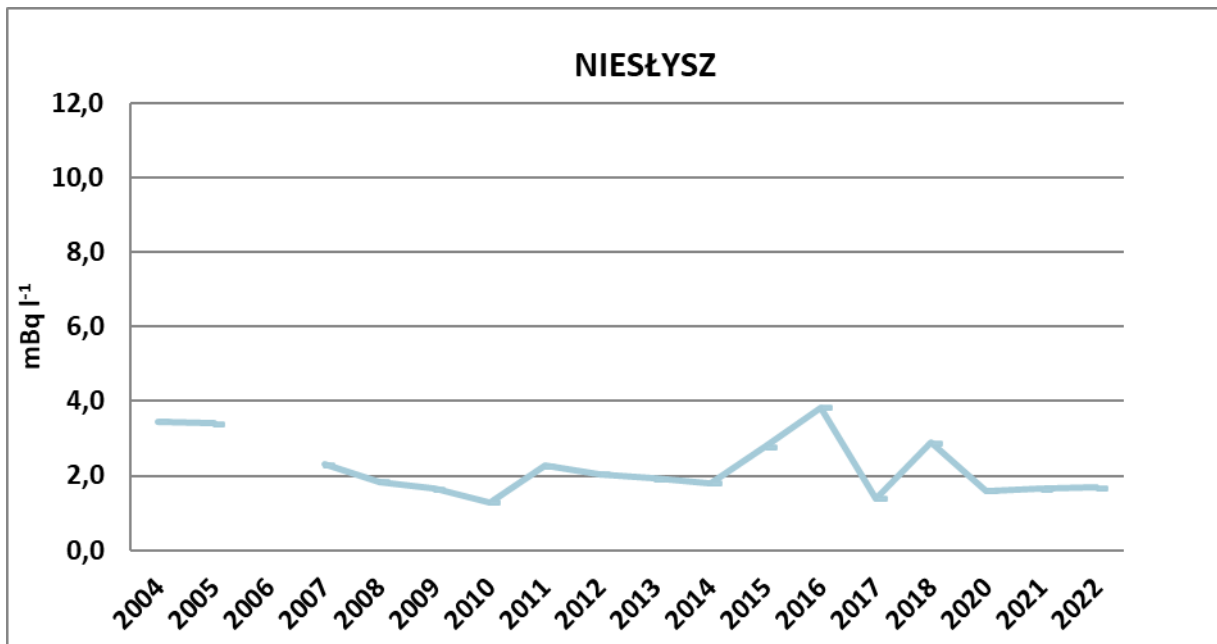


Rys. 16. Zawartość  $^{90}\text{Sr}$  w wodach Warty pobranych w Poznaniu w latach 2004-2022

Średnie roczne stężenia promieniotwórcze izotopu  $^{90}\text{Sr}$  w wodach Warty pobranej w Poznaniu w latach 2004-2022 obrazuje Rysunek 16. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu. W tym punkcie poboru nie zanotowano znaczących zmian na przestrzeni pierwszych dziewięciu lat pomiarowych, a średnie roczne zawartości analizowanego nuklidu w wodzie były na bardzo niskim poziomie i mieściły się w zakresie od  $3,02$  w roku 2006 do  $4,58 \text{ mBq l}^{-1}$  w roku 2010. Od 2012 roku widzimy nieco większą zmienność, chociaż stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  pozostaje nadal na niskim poziomie i mieści się w zakresie ok.  $3 \text{ mBq l}^{-1}$ . W bieżącym roku zawartość izotopu strontu wynosiła  $2,56 \text{ mBq l}^{-1}$  i była jedną z niższych wartości oznaczonych na przestrzeni wszystkich lat obserwacji.

### 7.2.5. Analiza zawartości $^{90}\text{Sr}$ w wodzie pobranej z jeziora Niesłysz

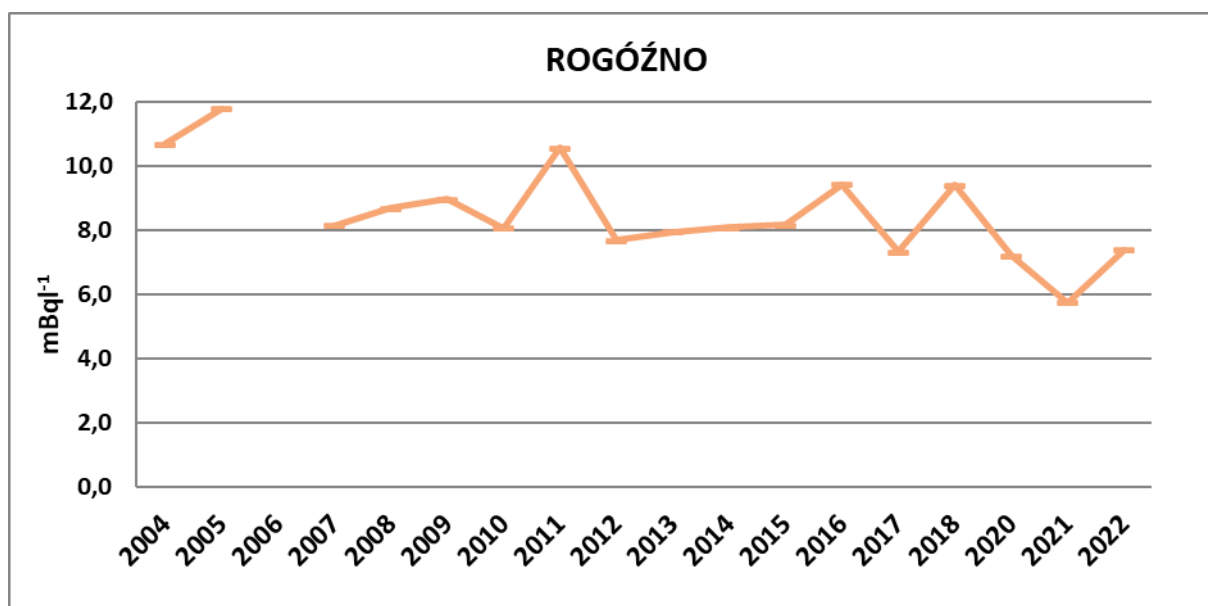
Podobnie jak dla  $^{137}\text{Cs}$  średnie roczne stężenie promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w wodach jeziora Niesłysz w latach 2004-2022 było wyrównane (Rys. 17.). Nieznaczną rozbieżność stanowi wynik otrzymany w 2016 roku, kiedy wartość stężenia wzrosła ( $3,84 \text{ mBq l}^{-1}$ ), pozostając jednak na bardzo niskim poziomie. W roku 2021 i 2022 oznaczono średnie roczne stężenia promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  na poziomie  $1,7 \text{ mBq l}^{-1}$ .



Rys. 17. Zawartość  $^{90}\text{Sr}$  w wodach jeziora Niesłysz w latach 2004-2022

### 7.2.6. Analiza zawartości $^{90}\text{Sr}$ w wodzie pobranej z jeziora Rogóźno

Jak widać na Rys. 18. w kolejnych latach badań dla punktu pomiarowego na jeziorze Rogóźno zawartość  $^{90}\text{Sr}$  w wodzie zmieniała się nieznacznie i zawierała się w granicach od  $5,76 \text{ mBq l}^{-1}$  (2021 rok) do  $11,80 \text{ mBq l}^{-1}$  (2005 rok). Jak widać zmiany zawartości  $^{90}\text{Sr}$  na przestrzeni lat mieszczą się w zakresie kilku  $\text{mBq l}^{-1}$ . Należy jednak zauważyć, że stężenie tego izotopu w jeziorze Rogóźno jest wyższe, niż w pozostałych jeziorach. Analogicznie jak w przypadku izotopu  $^{137}\text{Cs}$ . W 2022 roku zanotowano jedno z niższych stężeń promieniotwórczych  $^{90}\text{Sr}$ , które wynosiło  $7,40 \text{ mBq l}^{-1}$ .

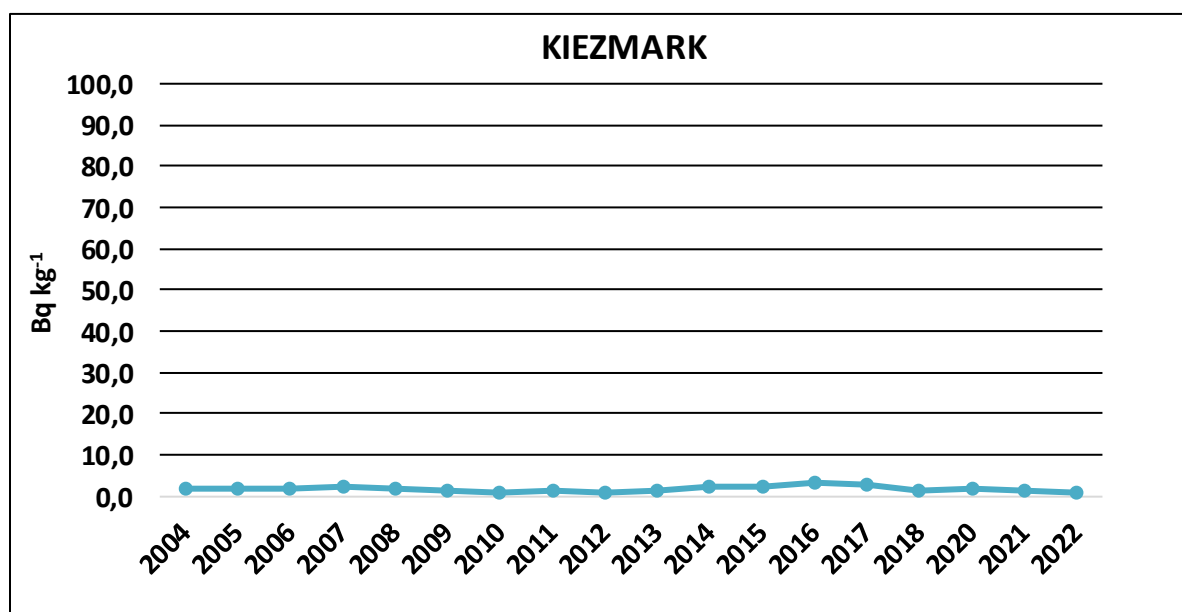


Rys. 18. Zawartość <sup>90</sup>Sr w wodach jeziora Rogóźno w latach 2004-2022

### 7.3. Analiza zawartości <sup>137</sup>Cs w osadach na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych

#### 7.3.1. Analiza zawartości <sup>137</sup>Cs w osadzie pobranym z Wisły w Kiezmarku

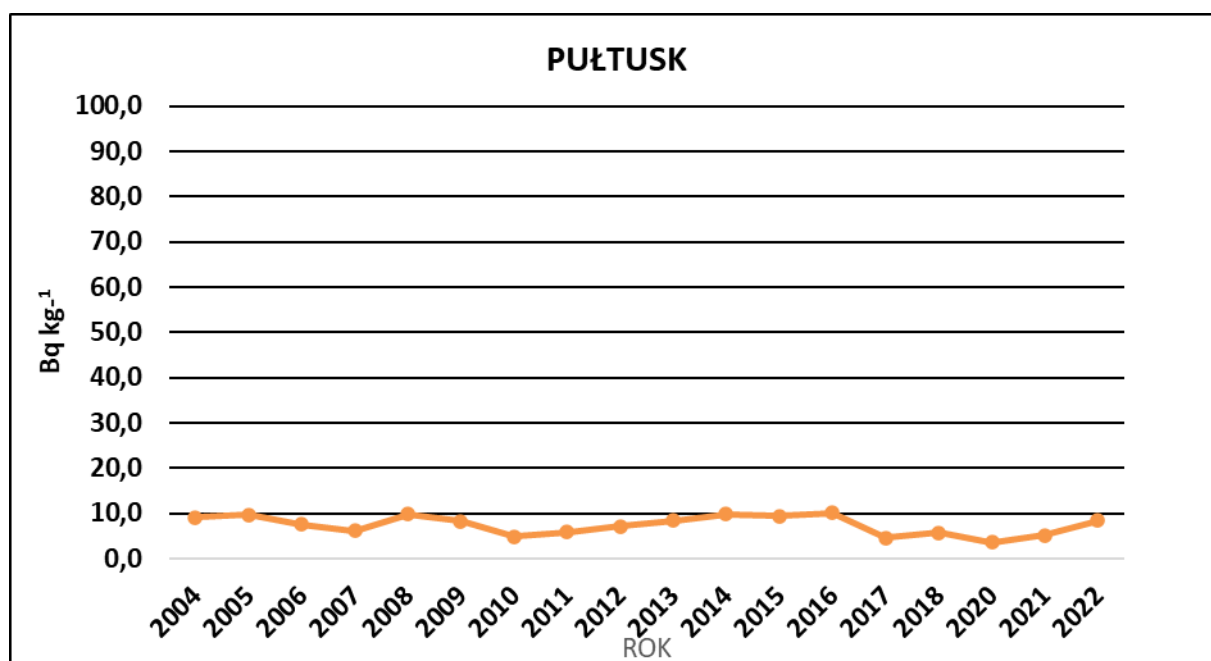
Rysunek 19. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych <sup>137</sup>Cs w osadach dorzecza Wisły dla punktu pomiarowego w Kiezmarku w latach 2004–2022.



Rys. 19. Zawartość <sup>137</sup>Cs w osadach z Wisły pobranych w Kiezmarku w latach 2004-2022

W przypadku punktu poboru w Kiezmorku w przeciągu wszystkich lat badań obserwujemy bardzo wyrównany poziom i bardzo niskie zawartości izotopu  $^{137}\text{Cs}$ . Zmiany średniej rocznej zawartości  $^{137}\text{Cs}$  w osadach na przestrzeni 18 lat mieszczą się w bardzo wąskim zakresie od  $0,71 \text{ Bq kg}^{-1}$  do  $3,29 \text{ Bq kg}^{-1}$ . Najniższa wartość była oznaczona w 2012 najwyższa w roku 2016. W bieżącym roku uzyskaliśmy również jedną z najniższych wartości -  $0,81 \text{ Bq kg}^{-1}$ .

### 7.3.2. Analiza zawartości $^{137}\text{Cs}$ w osadzie pobranym z Narwi w Pułtusk



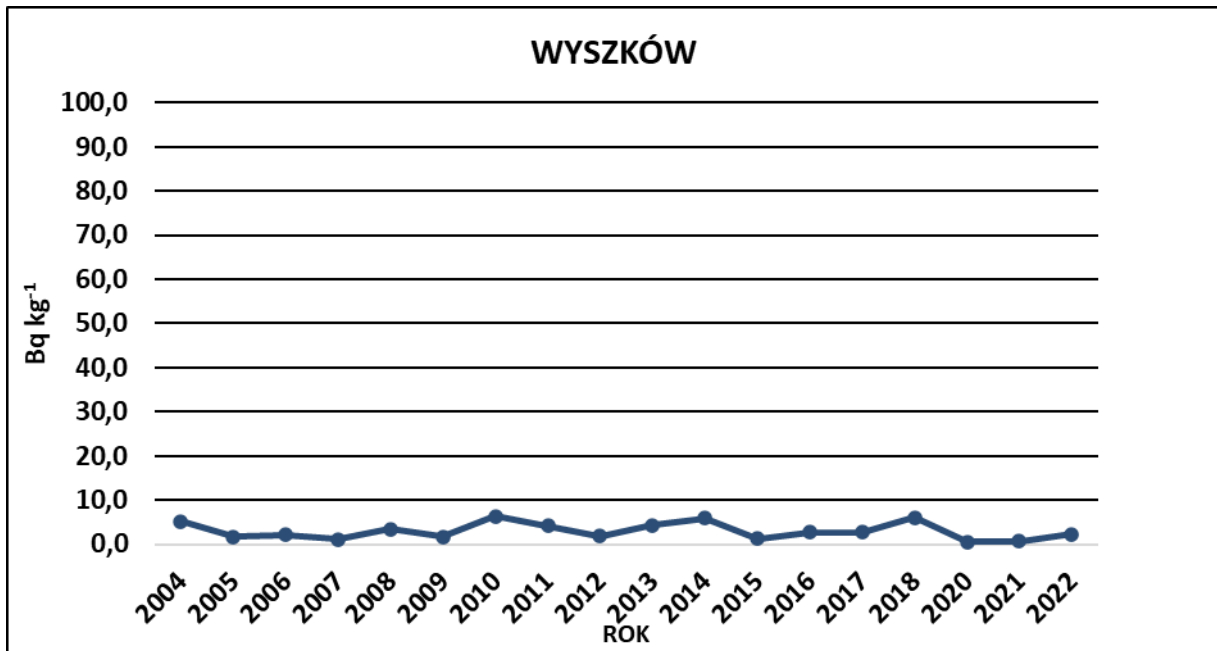
Rys. 20. Zawartość  $^{137}\text{Cs}$  w osadach Narwi pobranych w Pułtusk w latach 2004-2022

Zawartość  $^{137}\text{Cs}$  w osadach Narwi pobranych w Pułtusk w latach 2004-2022 przedstawiona została na Rysunku 20.

W przypadku punktu poboru w Pułtusk występujące niewielkie zmiany zawartości izotopu  $^{137}\text{Cs}$  w poszczególnych latach obserwacji mieszczą się w zakresie od  $4,57 \text{ Bq kg}^{-1}$  (rok 2017) do  $10,11 \text{ Bq kg}^{-1}$  (rok 2016). Świadczy to o dosyć stabilnej sytuacji hydrologicznej dla tego punktu poboru. W 2022 roku uzyskaliśmy nieznacznie wyższą wartość ( $8,41 \text{ Bq kg}^{-1}$ ) w stosunku do ostatnich czterech lat.

### 7.3.3. Analiza zawartości $^{137}\text{Cs}$ w osadzie pobranym z Bugu w Wyszkanie

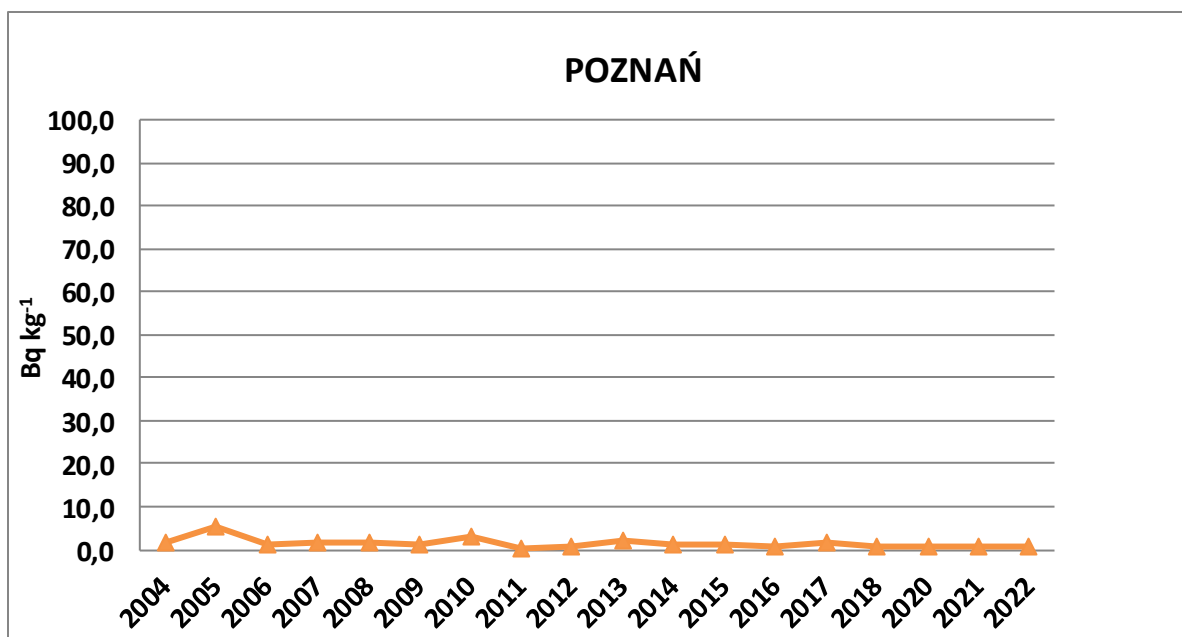
Średni poziom stężenia promieniotwórczego  $^{137}\text{Cs}$  w wodzie pobieranej z Bugu w Wyszkanie w latach 2004-2022 był wyrównany (Rysunek 21.). Minimalne wartości odnotowano w roku 2020 i 2021 i wynosiły one odpowiednio  $0,50$  i  $0,62$   $\text{Bq kg}^{-1}$ , zaś maksymalną w roku 2010 –  $6,34$   $\text{Bq kg}^{-1}$ . W bieżącym roku oznaczono izotop cezu na poziomie  $2,35$   $\text{Bq kg}^{-1}$ . Wartość ta zbliżona jest do średniej wartości ze wszystkich lat badań.



Rys. 21. Zawartość  $^{137}\text{Cs}$  w wodach Bugu pobieranych w Wyszkanie w latach 2004-2022

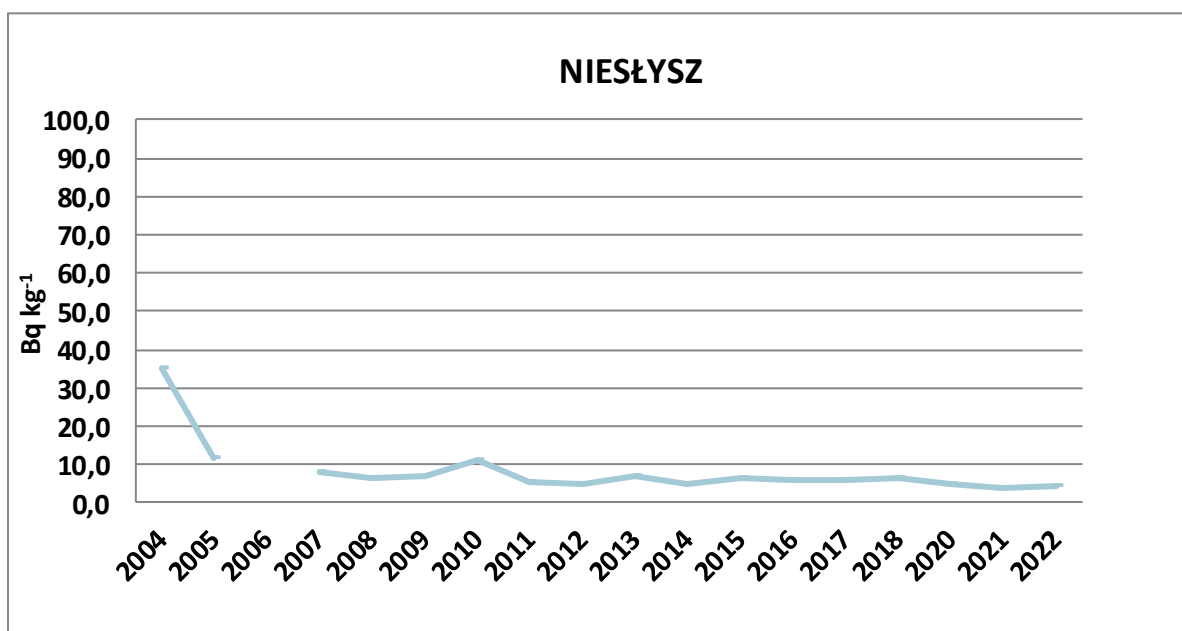
### 7.3.4. Analiza zawartości $^{137}\text{Cs}$ w osadzie pobranym z Warty w Poznaniu

Na przestrzeni wszystkich lat badań obserwowano bardzo wyrównany poziom zawartości  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych w punkcie poboru usytuowanym w Poznaniu (Rysunek 22.). Nieznacznie wyższe wartości średnich stężeń promieniotwórczych  $^{137}\text{Cs}$  odnotowano w pierwszych latach obserwacji. W kolejnych latach zawartość  $^{137}\text{Cs}$  w osadach była na niskim poziomie i jednocześnie była dosyć stabilna. Zmiany mieszczą się w zakresie  $4$   $\text{Bq kg}^{-1}$ . Prawdopodobnie spowodowane jest to bardziej stabilną sytuacją hydrologiczną niż w przypadku pozostałych punktów poboru. W bieżącym roku, podobnie jak w ubiegłym, oznaczono izotop cezu na poziomie  $0,70$   $\text{Bq kg}^{-1}$ .



Rys. 22. Zawartość <sup>137</sup>Cs w osadach z Warty pobranych w Poznaniu w latach 2004-2022

### 7.3.5. Analiza zawartości <sup>137</sup>Cs w osadzie pobranym z jeziora Niesłysz



Rys. 23. Zawartość <sup>137</sup>Cs w osadach jeziora Niesłysz pobranych w latach 2004-2022

Na Rysunku 23. pokazano przebieg czasowy średnich rocznych stężeń promieniotwórczych <sup>137</sup>Cs w osadach jeziora Niesłysz w latach 2004–2022. W pierwszych latach prowadzenia badań obserwujemy tendencję spadkową. Od 2007 roku widzimy bardzo wyrównany poziom zawartości <sup>137</sup>Cs w kolejnych latach badawczych. Najbardziej stabilna

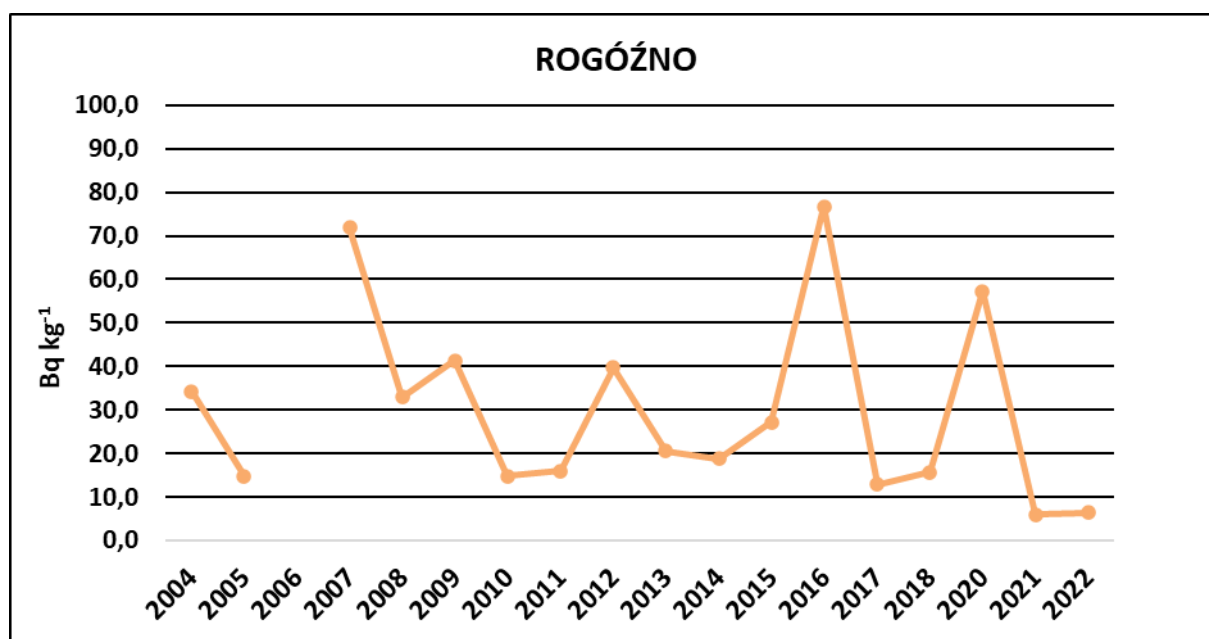
sytuacja ma miejsce w ostatnich ośmiu latach. Zakres zmian mieści się w przedziale ok. 2 Bq kg<sup>-1</sup>.

### 7.3.6. Analiza zawartości <sup>137</sup>Cs w osadzie pobranym z jeziora Rogóźno

Na Rysunku 24. pokazano przebieg czasowy średnich rocznych stężeń promieniotwórczych <sup>137</sup>Cs w osadach pobranych z jeziora Rogóźno w latach 2004 – 2022.

Najwyższe wartości średnich stężeń promieniotwórczych <sup>137</sup>Cs odnotowano w latach 2007, 2016 i 2020 wynosiły one odpowiednio: 71,9 Bq kg<sup>-1</sup>; 76,7 Bq kg<sup>-1</sup> i 57,3 Bq kg<sup>-1</sup>. Natomiast w ostatnich dwóch latach oznaczono jedne z niższych zawartości izotopu cezu – ok. 6 Bq kg<sup>-1</sup>.

W przypadku tego punktu poboru występują znaczne zmiany zawartości izotopu <sup>137</sup>Cs w poszczególnych latach obserwacji. Poza tym podobnie jak w przypadku pozostałych badanych izotopów zawartość <sup>137</sup>Cs jest na wyższym poziomie w stosunku do pozostałych punktów poboru prób.



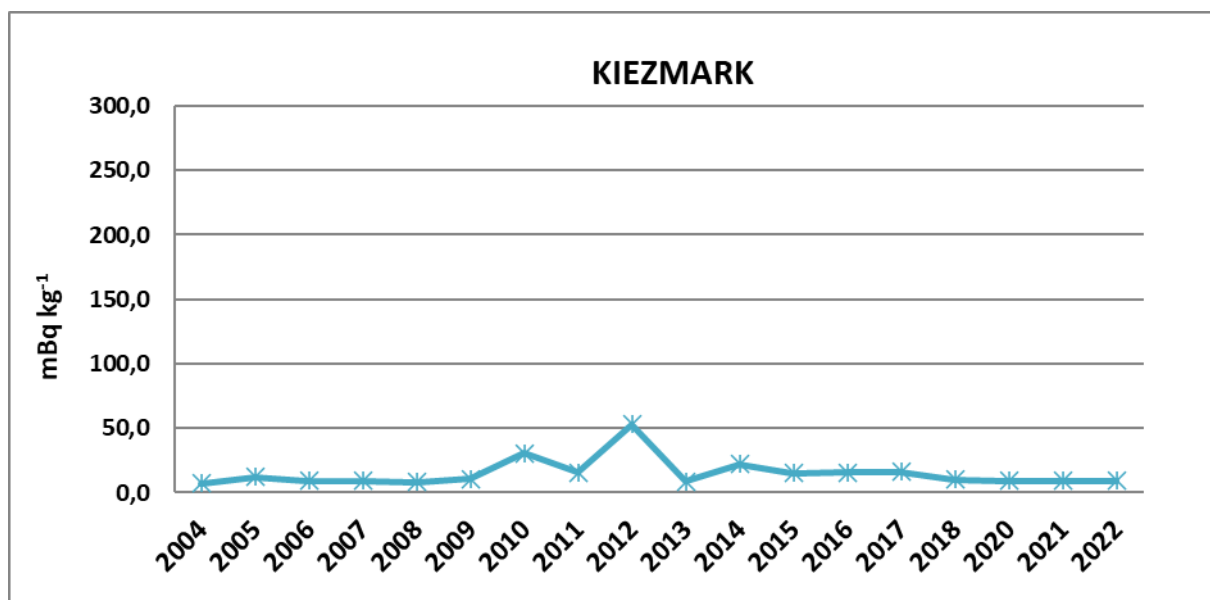
Rys. 24. Zawartość <sup>137</sup>Cs w osadach jeziora Rogóźno pobranych w latach 2004-2022

## 7.4. Analiza zawartości <sup>239,240</sup>Pu w osadach na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych

### 7.4.1. Analiza zawartości <sup>239,240</sup>Pu w osadzie pobranym z Wisły w Kieźmarku

Rysunek 25. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych <sup>239,240</sup>Pu w osadach z Wisły pobranych w Kieźmarku w latach 2004-2022. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.

W przypadku punktu poboru w Kiezmarku występują nieznaczne zmiany zawartości izotopów  $^{239,240}\text{Pu}$  w poszczególnych latach obserwacji. Najwyższą zawartości izotopów  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadzie oznaczono w roku 2012 i wynosiła ona  $52,7 \text{ mBq kg}^{-1}$ , najniższą zaś w pierwszym roku badań -  $7,12 \text{ mBq kg}^{-1}$ . W ostatnich trzech latach zawartość izotopów plutonu jest na stałym poziomie i wynosi ok.  $9 \text{ mBq kg}^{-1}$ .



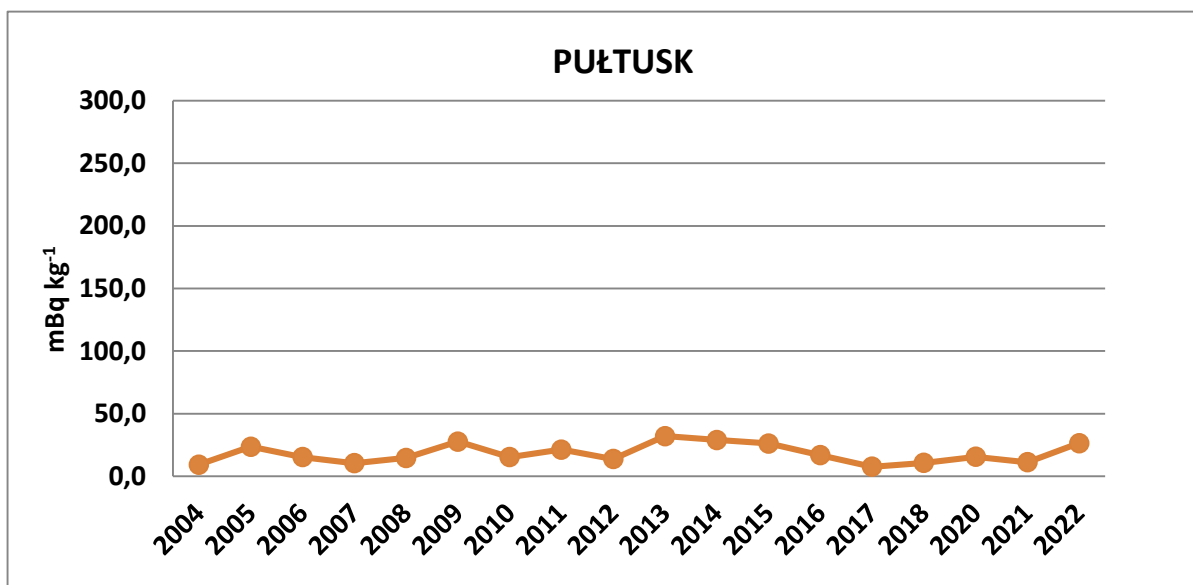
Rys. 25. Zawartość  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach z Wisły pobranych w Kiezmarku w latach 2004-2022

#### 7.4.2. Analiza zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadzie pobranym z Narwi w Pułtusk

Rysunek 26. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach Narwi pobranych w Pułtusk w latach 2004-2022. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.

Z przedstawionej zależności wynika, że w przeciągu kilkunastu lat zmiany zawartości  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach zmieniały się nieznacznie, a średnie stężenie promieniotwórcze  $^{239,240}\text{Pu}$  było na niskim poziomie. Wyższą średnią zawartość  $^{239,240}\text{Pu}$  odnotowano jedynie w osadzie pobranym w roku 2013, która wynosiła  $32,15 \text{ mBq kg}^{-1}$ . W 2022 roku w próbce osadu oznaczono izotopy  $^{239,240}\text{Pu}$  na poziomie –  $26,47 \text{ mBq kg}^{-1}$ , wyższym niż rok wcześniej ( $11,18 \text{ mBq kg}^{-1}$ ).

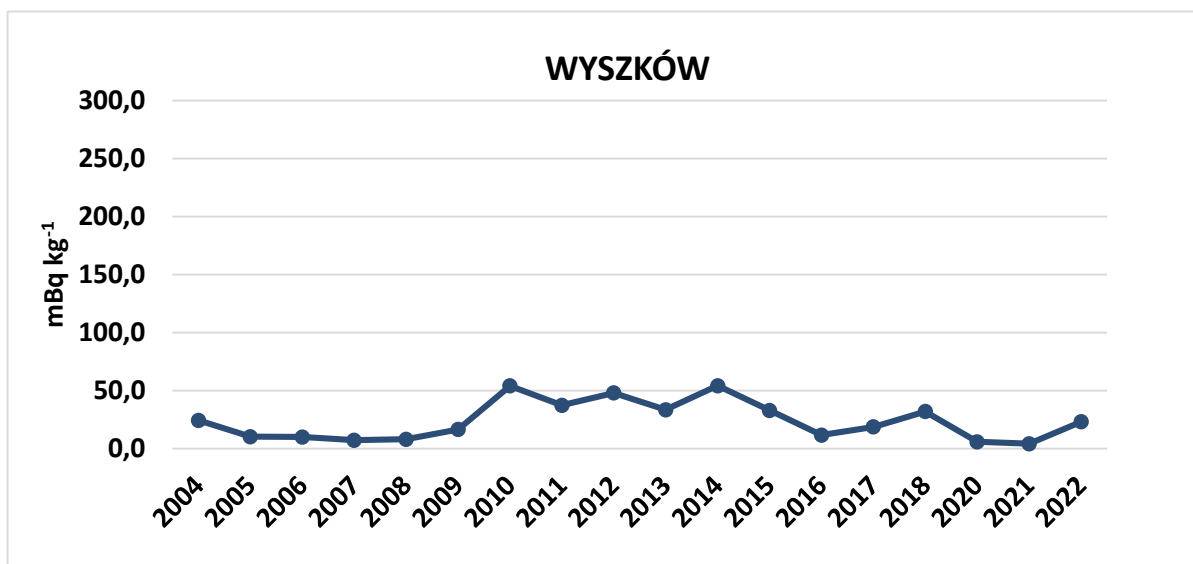




Rys. 26. Zawartość  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach Narwi pobranych w Pułtusku w latach 2004-2022

#### 7.4.3. Analiza zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadzie pobranym z Bugu w Wyszkwowie

Rysunek 27. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach z Bugu pobieranych w Wyszkwowie w latach 2004-2022.

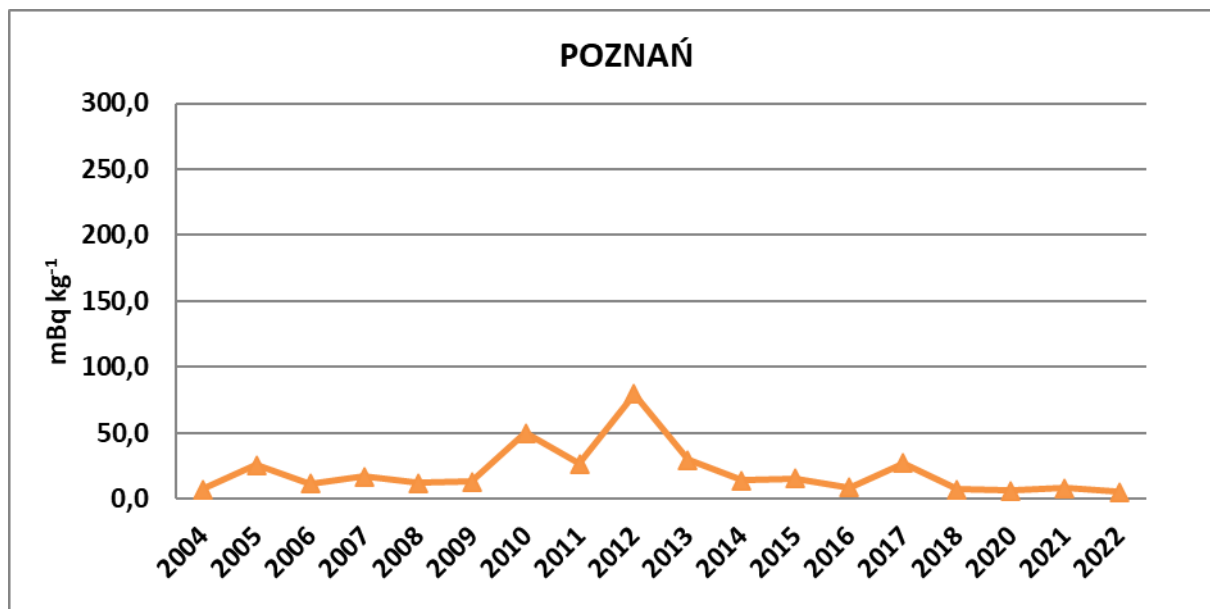


Rys. 27. Zawartość  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach Bugu pobieranych w Wyszkwowie w latach 2004-2022

W przypadku Wyszkowa występują widoczne zmiany zawartości izotopów  $^{239,240}\text{Pu}$ , szczególnie po roku 2009 (Rys.27.). Po tym roku średnie roczne stężeń promieniotwórczych  $^{239,240}\text{Pu}$  mają wyższe wartości, jednocześnie występują większe fluktuacje. Być może wyższe poziomy wód podczas powodzi w roku 2010 spowodowały przedostanie się różnego rodzaju gleb do rzeki, które mogły charakteryzować się inną zawartością  $^{239,240}\text{Pu}$  w stosunku

do osadu. W bieżący roku zawartości izotopów  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadzie oznaczono na nieco wyższym poziomie niż w ostatnich dwóch latach ( $23,08 \text{ mBq kg}^{-1}$ ).

#### 7.4.4. Analiza zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadzie pobranym z Warty w Poznaniu



Rys. 28. Zawartość  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach z Warty pobranych w Poznaniu w latach 2004-2022

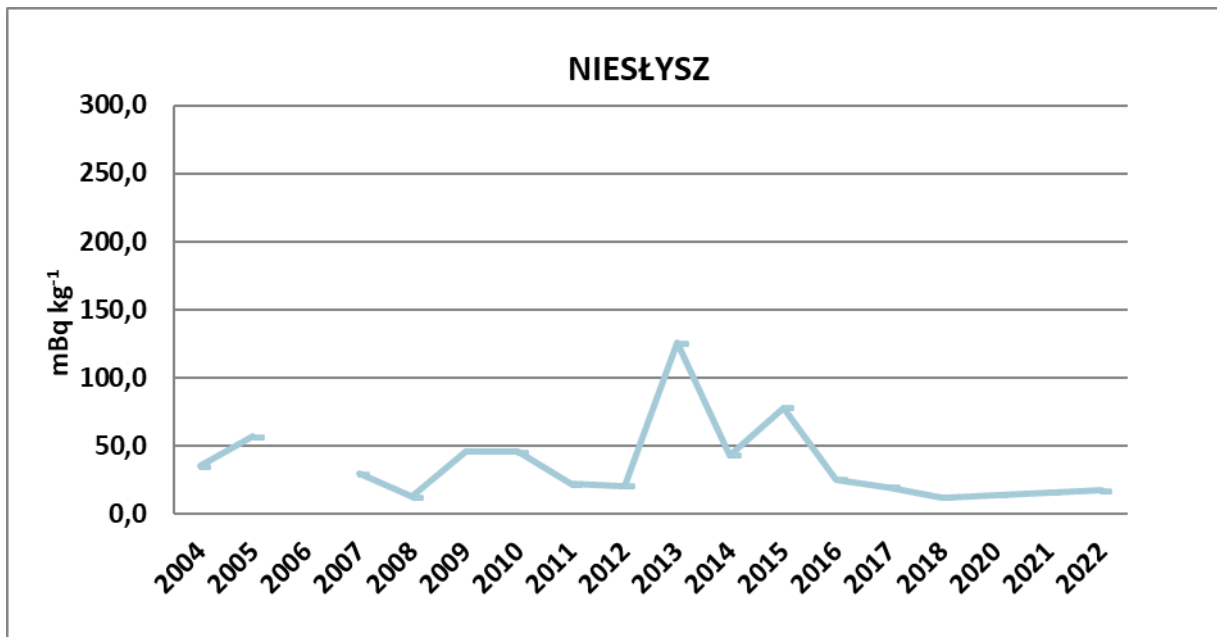
Rysunek 28. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach z Warty pobieranych w Poznaniu w latach 2004-2022.

Średni poziom stężenia promieniotwórczego  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach pobieranych w Poznaniu w latach 2004-2022 był mniej wyrównany niż dla izotopu cezu oznaczanego w tym punkcie. Obserwujemy wyższe wartości średnich rocznych stężeń promieniotwórczych  $^{239,240}\text{Pu}$  w 2010 i 2012 roku, które wynosiły odpowiednio:  $50,27 \text{ mBq kg}^{-1}$ ,  $79,86 \text{ mBq kg}^{-1}$ . Poza tymi dwoma wynikami zakres zmian mieścił się od  $5,39 \text{ mBq kg}^{-1}$  w roku 2022 do  $29,59 \text{ mBq kg}^{-1}$  w roku 2013.

#### 7.4.5. Analiza zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadzie pobranym z jeziora Niesłysz

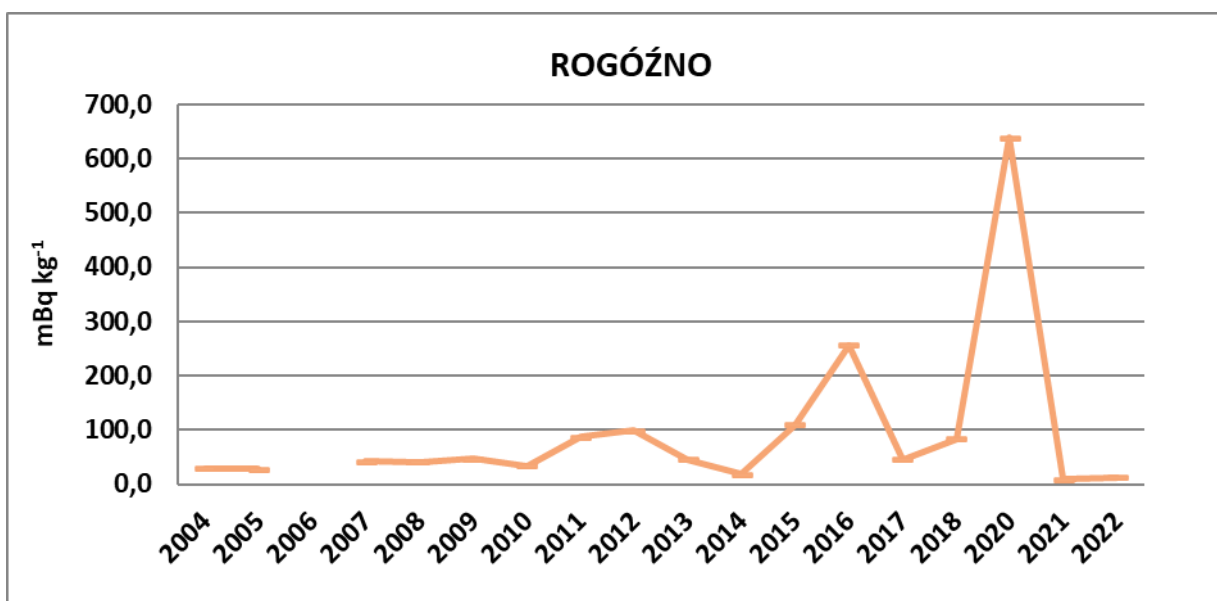
Z przedstawionej na Rysunku 29. zależności wynika, że w przeciągu wszystkich lat badań zmiany zawartości  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach jeziora Niesłysz miały bardziej zmienny przebieg niż w przypadku izotopu cezu. Podwyższoną zawartość  $^{239,240}\text{Pu}$  stwierdzono w osadzie w roku 2013. Odbiegającą wartość odnotowano w próbce pobranej wiosną, gdzie

oznaczono stężenie promieniotwórcze izotopów plutonu na poziomie  $192,73 \text{ mBq kg}^{-1}$ . W próbie jesiennej nie odnotowano jednak już tak dużej wartości. Podobna sytuacja powtórzyła się w roku 2015, gdzie średnie roczne stężenie promieniotwórcze izotopów plutonu osiągnęło wartość  $78,51 \text{ mBq kg}^{-1}$ . Jednak kolejne lata badań nie potwierdziły stałości tej zmiany. W 2022 roku oznaczono izotopy plutonu na poziomie  $17,73 \text{ mBq kg}^{-1}$ .



Rys. 29. Zawartość  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach z jeziora Niesłysz pobranych w latach 2004-2022

#### 7.4.6. Analiza zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadzie pobranym z jeziora Rogóźno



Rys. 30. Zawartość  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach z jeziora Rogóźno pobranych w latach 2004-2022

Z przedstawionej na Rysunku 30. zależności wynika, że w latach 2004 – 2010 zawartość  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach pobranych z jeziora Rogóźno była na wyrównanym poziomie. W pozostałym okresie badawczym obserwujemy znacznie większe fluktuacje. Mieszczą się one w zakresie od około 20 do około 640  $\text{mBq kg}^{-1}$ .

Najwyższa średnia roczna zawartość izotopów plutonu uzyskana w 2020 roku spowodowana była wysokim oznaczeniem zawartości  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadzie zarówno wiosennym (748,3  $\text{mBq kg}^{-1}$ ) jak i jesiennym (530,2  $\text{mBq kg}^{-1}$ ). Analizy w 2021 roku nie potwierdziły utrzymania się wysokiej zawartości izotopów  $^{239,240}\text{Pu}$ . Była ona najniższa od początku badań – 8,37  $\text{mBq kg}^{-1}$ . W roku bieżącym utrzymała się na zbliżonym poziomie – 11,96  $\text{mBq kg}^{-1}$ .

## 8. PODSUMOWANIE

Monitoring skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych w 2022 roku obejmował próbki wody i osadów dennych pobrane dwukrotnie (wiosną i jesienią) w 18 punktach, zlokalizowanych w dorzeczu Wisły (7 punktów poboru), w dorzeczu Odry (5 punktów poboru) i w wybranych jeziorach (6 jezior).

Próbki wody z rzek pobierano z głównego nurtu, natomiast wodę z jezior pobierano z pomostów. Objętość próbki wynosiła 20 litrów. Próbki osadów pobierano z trzech miejsc, oddalonych od siebie o ok. 30-50 m i z nich sporządzano próbkę zbiorczą o masie ok. 1 kg.

Stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  w wodach oraz izotopów plutonu w osadach dennych oznaczano metodami radiochemicznymi, natomiast stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych oznaczano metodą spektrometrii gamma.

Porównanie poszczególnych wyników oznaczeń izotopów wiosną i jesienią przysparza trudności, wynikające przede wszystkim z różnych warunków atmosferycznych w jakich dokonywany jest pobór próbek. Dlatego ogólną ocenę sytuacji radiologicznej powierzchniowych wód w Polsce przeprowadzono na podstawie średnich stężeń izotopów promieniotwórczych w badanych komponentach środowiska wodnego. W przypadku osadów dennych różnice te wynikają dodatkowo z różnic w składzie osadów nanoszonych w miejscach poboru próbek (od typowo piaszczystych do ilasto gliniastych), w poszczególnych okresach badań.

Średnie roczne stężenia promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior wynosiły odpowiednio 4,17; 3,12 i 3,07  $\text{mBq l}^{-1}$ . Średnie roczne stężenia promieniotwórcze  $^{90}\text{Sr}$  w wodach dorzecza Wisły i Odry wynosiły 2,22, 2,41  $\text{mBq l}^{-1}$ . Najwyższą wartość uzyskano dla jezior 2,72  $\text{mBq l}^{-1}$ .

W osadach dennych rzek i jezior obserwuje się duże różnice w stężeniach promieniotwórczych  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{239,240}\text{Pu}$ . Największe zróżnicowanie dla wszystkich oznaczanych izotopów obserwowano dla dorzecza Odry. Najmniejsze różnice w stężeniach  $^{137}\text{Cs}$  obserwowano w osadach dennych pobranych dorzecza Wisły, a dla  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dennych pobranych z jezior.

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  w osadach dennych wynosiło odpowiednio: dla dorzecza Wisły 3,06  $\text{Bq kg}^{-1}$ , dla dorzecza Odry 4,31  $\text{Bq kg}^{-1}$  i dla jezior 3,64  $\text{Bq kg}^{-1}$ .

W przypadku  $^{239,240}\text{Pu}$  wartości średnich rocznych stężeń promieniotwórczych były bardziej zbliżone dla osadów dorzecza Wisły i Odry, a niższe dla jezior i wynosiły odpowiednio: dla dorzecza Wisły – 23,06 mBq kg<sup>-1</sup>, dla dorzecza Odry – 28,31 mBq kg<sup>-1</sup> i dla jezior – 10,55 mBq kg<sup>-1</sup>.

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 (1,5 mBq kg<sup>-1</sup>).

Głównym źródłem izotopów plutonu na terenie Polski był opad promieniotwórczy po próbnym wybuchach jądrowych (maksimum w latach 60-tych), gdzie stosunek izotopu  $^{238}\text{Pu}$  do sumy izotopów  $^{239,240}\text{Pu}$  wynosił 0,03-0,05.

Wartości średnich rocznych stężeń promieniotwórczych wszystkich analizowanych nuklidów jak i oznaczenia uzyskane dla pojedynczych próbek badanej wody i osadów dennych nie odbiegają od wyników uzyskiwanych w poprzednich latach.

## **9. WNIOSKI**

Monitoring skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych pozwala na stwierdzenie, że skażenie wód powierzchniowych takimi nuklidami jak  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  jest niewielkie. Podobnie stężenia promieniotwórcze  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{239,240}\text{Pu}$  w osadach dennych rzek i jezior pozostają na niskim poziomie.

Uzyskane wyniki potwierdzają, że nie wystąpiły nowe uwolnienia izotopów promieniotwórczych do środowiska.