



Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej

**MONITORING PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO REALIZOWANY W
RAMACH PAŃSTWOWEGO MONITORINGU ŚRODOWISKA W LATACH
2023-2025**

**ZADANIE 2:
MONITORING SKAŻEŃ PROMIENIOTWÓRCZYCH WÓD
POWIERZCHNIOWYCH I OSADÓW DENNYCH**

ETAP II

RAPORT

Rok 2023

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



NFOŚiGW

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

Dyrektor
Centralnego Laboratorium
Ochrony Radiologicznej
dr Paweł Krajewski

Dokument
podpisany przez
**PAWEŁ MARIA
KRAJEWSKI;**
CLOR
Data: 2024.03.27
11:17:01 CET

CENTRALNE LABORATORIUM
OCHRONY RADIOLÓGICZNEJ
ul. Pomorskiej 7
00-101 Warszawa
tel. 22 620 00 00

Kierownik
Zakładu Higieny Radiacyjnej CLOR

dr Małgorzata Kardaś

Marzec 2024

WSTĘP

Celem pracy było oznaczenie skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych. W ramach Państwowego Monitoringu Środowiska oznaczono ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach oraz ^{137}Cs , ^{238}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 2023 były następujące:

1. Termin wiosenny – od 24 kwietnia do 20 czerwca;
2. Termin jesienny – od 5 do 21 września.

1. SŁOWNIK STOSOWANYCH SKRÓTÓW

AMP	fosfomolibdenian amonu
Bq kg ⁻¹	bekerele na kilogram
CLOR	Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej
^{137}Cs	izotop cezu 137
CWN	całkowita względna niepewność
°C	stopień Celsjusza
imp/min	impulsy na minutę
keV	kiloelektronowolt
kg	kilogram
m	metr
mBq kg ⁻¹	milibekerele na kilogram
mBq l ⁻¹	milibekerele na litr
min	minuta
ml	mililitr
mm	milimetr
OS	odchylenie standardowe
^{238}Pu	izotop plutonu 238
$^{239,240}\text{Pu}$	suma izotopów plutonu 239, 240
^{242}Pu	izotop plutonu 242
^{90}Sr	izotop strontu 90
T _{1/2}	czas połowicznego zaniku
^{90}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 2023	Data poboru próbek jesień 2023	Długość geograficzna wschodnia DMS	Szerokość geograficzna północna DMS
Drawsko, Stare Drawsko	<i>zachodnio-pomorskie</i>	27.04	08.09	16°11'51"	53°36'08"
Wadąg, Barczewko	<i>warmińsko-mazurskie</i>	15.05	20.09	20°33'44"	53°51'02"
Partęczyny, Wielkie Partęczyny	<i>kujawsko-pomorskie</i>	16.05	21.09	19°13'02"	53°28'13"
Rogóźno, Rogóźno	<i>lubelskie</i>	24.04	05.09	22°59'25"	51°22'03"
Niesłysz, Niesulice	<i>lubuskie</i>	26.04	07.09	15°24'05"	52°12'41"
Wigry, Stary Folwark	<i>podlaskie</i>	15.05	20.09	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 2023	Data poboru próbek jesień 2023	Długość geograficzna wschodnia DMS	Szerokość geograficzna północna DMS
Wisła	Kraków Tynec	24.04	05.09	20°10'48"	50°42'50"
	Annapol	24.04	05.09	21°51'33"	50°53'10"
	Warszawa	20.06	18.09	21°00'59"	52°14'07"
	Płock	16.05	21.09	19°41'52"	52°32'50"
	Kiezmark	16.05	21.09	18°55'51"	54°15'14"
Narew	Pultusk	15.05	20.09	21°05'08"	52°42'18"
Bug	Wyszków	15.05	20.09	21°27'22"	52°36'10"
Odra	Chałupki	25.04	06.09	18°19'10"	49°55'22"
	Wrocław	25.04	06.09	16°59'31"	51°08'01"
	Głogów	25.04	06.09	16°04'55"	51°39'11"
	Krajnik	26.04	07.09	14°28'50"	53°11'44"
Warta	Poznań	27.04	08.09	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}Cs , ^{238}Pu i $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych oraz ^{90}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}Cs i ^{90}Sr w wodzie

Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{90}Sr oznaczano w tej samej próbce. Metoda oznaczania ^{137}Cs polega na selektywnej sorpcji cezu na złożu fosfomolibdenianu amonu (AMP) i pomiarze aktywności β preparatu. Do oznaczenia stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr stosowano metodę polegającą na oznaczeniu ^{90}Y , krótko żyjącego izotopu ($T_{1/2}$ - 64,2 h) powstającego w wyniku rozpadu ^{90}Sr . Analizę prowadzono w obecności, ^{85}Sr , co pozwoliło na określenie wydajności ^{90}Sr . Wydajność radiochemiczna oznaczeń stężenia promieniotwórczego, ^{90}Sr wynosiła od 76 do 100%.

Do pomiaru aktywności ^{137}Cs i ^{90}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}Cs i ^{90}Sr . Wzorce do kalibracji aparatury wykonywano w taki sam sposób jak analizowane próbki. Wydajność osadzania ^{137}Cs na złożu AMP wynosi ok. 99%, a jego

granica oznaczalności dla czasu pomiaru 180 min wynosi 0,32 mBq l⁻¹. Granica oznaczalności stężenia promieniotwórczego ⁹⁰Sr dla czasu pomiaru 120 min wynosi 0,45 mBq l⁻¹.

¹³⁷Cs, ²³⁸Pu i ^{239,240}Pu w osadach dennych

Stężenie promieniotwórcze ¹³⁷Cs 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 ⁶⁰Co (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⁻¹ suchej masy osadu dennego.

Zasada metody oznaczania stężenia promieniotwórczego ²³⁸Pu i ^{239,240}Pu polega na wydzieleniu plutonu z badanej próbki, elektrodepozycji i pomiarze aktywności metodą α-spektrometryczną. Analizę prowadzono w obecności znacznika (²⁴²Pu), 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}Cs I ^{90}Sr W PRÓBKACH WODY POBRANEJ W PUNKTACH BADAWCZYCH W 2022 ROKU

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

W Tabeli 3. przedstawione są stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w próbkach wody z poszczególnych miejsc poboru próbek w rzekach w okresie wiosennym i jesiennym 2023 roku oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu. Stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach rzek mieściły się w granicach od 0,62 mBq l⁻¹ w Wiśle (Warszawa) do 5,03 mBq l⁻¹ również w Wiśle (Annapol). Zakres średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs dla dorzecza Odry mieścił się w przedziale od 1,93 (Warta, Poznań) do 4,55 mBq l⁻¹ (Odra, Chałupki), a dla dorzecza Wisły od 1,12 (Bug, Wyszaków) do 3,55 mBq l⁻¹ (Wisła, Annapol).

Tabela 3. Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach Wisły, Odry i ich dopływów w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2023 r.

Lp.	Miejsce poboru próbki	^{137}Cs , wiosna mBq l ⁻¹	^{137}Cs , jesień mBq l ⁻¹	^{137}Cs , średnia roczna mBq l ⁻¹
DORZECZE WISŁY				
1.	Wisła Kraków Tyniec	4,23 ± 0,70 ^{a)}	2,09 ± 0,41 ^{a)}	3,16 ± 1,51 ^{b)}
2.	Wisła Annapol	5,03 ± 0,74	2,07 ± 0,40	3,55 ± 2,09
3.	Wisła Warszawa	2,15 ± 0,30	0,62 ± 0,08	1,39 ± 1,08
4.	Wisła Płock	1,85 ± 0,32	1,43 ± 0,15	1,64 ± 0,30
5.	Wisła Kieźmark	3,13 ± 0,48	2,42 ± 0,51	2,78 ± 0,50
6.	Narew Pułtusk	2,01 ± 0,31	1,85 ± 0,16	1,93 ± 0,11
7.	Bug Wyszaków	1,16 ± 0,19	1,07 ± 0,22	1,12 ± 0,06
DORZECZE ODRY				
8.	Odra Chałupki	4,12 ± 0,58	4,97 ± 0,35	4,55 ± 0,60
9.	Odra Wrocław	3,38 ± 0,47	2,65 ± 0,19	3,02 ± 0,52
10.	Odra Głogów	1,74 ± 0,30	2,67 ± 0,21	2,21 ± 0,66
11.	Odra Krajnik	2,07 ± 0,32	2,57 ± 0,33	2,32 ± 0,35
12.	Warta Poznań	2,43 ± 0,34	1,42 ± 0,12	1,93 ± 0,71

^{a)}Wartość ± CWN przy poziomie ufności 95%

^{b)}Wartość średnia ± Odchylenie Standardowe (OS)

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

W Tabeli 4. przedstawiono stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach badanych rzek w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2023 roku.

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach badanych rzek mieściło się w zakresie się od $2,09 \text{ mBq l}^{-1}$ w wodzie z Odry (Chałupki) do $3,49 \text{ mBq l}^{-1}$ w wodzie pobranej także z Odry w Głogowie.

Tabela 4. Stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły i Odry w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2023r.

Lp.	Miejsce poboru próbki	^{90}Sr , wiosna mBq l^{-1}	^{90}Sr , jesień mBq l^{-1}	^{90}Sr , średnia roczna mBq l^{-1}
DORZECZE WISŁY				
1.	Wisła Kraków Tyniec	$2,98 \pm 0,30$	$2,50 \pm 0,28$	$2,74 \pm 0,34^b)$
2.	Wisła Annopol	$3,49 \pm 0,20$	$2,37 \pm 0,24$	$2,93 \pm 0,79$
3.	Wisła Warszawa	$2,28 \pm 0,23$	$2,27 \pm 0,24$	$2,28 \pm 0,01$
4.	Wisła Płock	$2,67 \pm 0,36$	$2,42 \pm 0,26$	$2,55 \pm 0,18$
5.	Wisła Kiezmark	$3,64 \pm 0,30$	$2,09 \pm 0,21$	$2,87 \pm 1,10$
6.	Narew Pułtusk	$2,69 \pm 0,36$	$1,79 \pm 0,20$	$2,24 \pm 0,64$
7.	Bug Wyszków	$3,77 \pm 0,29$	$1,70 \pm 0,25$	$2,74 \pm 0,25$
DORZECZE ODRY				
8.	Odra Chałupki	$2,30 \pm 0,22$	$1,88 \pm 0,19$	$2,09 \pm 0,30$
9.	Odra Wrocław	$2,90 \pm 0,32$	$1,90 \pm 0,32$	$2,40 \pm 0,71$
10.	Odra Głogów	$3,85 \pm 0,38$	$3,13 \pm 0,40$	$3,49 \pm 0,51$
11.	Odra Krajnik	$3,21 \pm 0,32$	$2,14 \pm 0,23$	$2,68 \pm 0,76$
12.	Warta Poznań	$3,86 \pm 0,41$	$1,98 \pm 0,28$	$2,92 \pm 1,33$

^{a)}Wartość \pm CWN przy poziomie ufności 95% ^{b)}Wartość średnia \pm Odchylenie Standardowe (OS)

Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr były bardzo wyrównane dla dorzecza Wisły i mieściły się w zakresie od $2,24$ do $2,93 \text{ mBq l}^{-1}$. Dla dorzecza Odry były bardziej zróżnicowane od $2,09$ do $3,49 \text{ mBq l}^{-1}$.

Najwyższą wartość stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr odnotowano w próbce wody pobranej wiosną z Warty w Poznaniu – 3,86 mBq l⁻¹, najniższą w próbce wody pobranej jesienią z Bugu w Wyszakowie – 1,70 mBq l⁻¹.

4.3. Ocena zawartości ^{137}Cs w wodach badanych jezior

Tabela 5. przedstawia stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w próbkach wody z poszczególnych miejsc poboru próbek w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym 2023 roku oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu. Stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs oznaczone w wodach jezior mieściły się w granicach od 0,91 mBq l⁻¹ jesienią w jeziorze Wadąg do 11,97 mBq l⁻¹ w jeziorze Drawsko wiosną. Zakres średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs wynosił od 1,37 mBq l⁻¹ w jeziorze Wigry do 6,60 mBq l⁻¹ w jeziorze Drawsko. W tym roku najwyższą średnią wartość stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs odnotowywano w próbkach wody z jeziora Drawsko. Nie odbiega jednak znacząco od pozostałych średnich wartości stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs oznaczonego w pozostałych jeziorach.

Tabela 5. Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2023 r.

Lp.	Miejsce poboru próbki	^{137}Cs , wiosna mBq l ⁻¹	^{137}Cs , jesień mBq l ⁻¹	^{137}Cs , średnia roczna mBq l ⁻¹
1	Wigry Stary Folwark	2,05 ± 0,29 ^{a)}	0,68 ± 0,08 ^{a)}	1,37 ± 0,97 ^{b)}
2	Wadąg Barczewko	3,24 ± 0,54	0,91 ± 0,11	2,08 ± 1,65
3	Wielkie Partęczyny Partęczyny	1,84 ± 0,32	1,89 ± 0,15	1,87 ± 0,04
4	Drawsko Stare Drawsko	11,97 ± 1,70	1,22 ± 0,13	6,60 ± 7,60
5	Niesłysz Niesulice	11,02 ± 1,78	1,27 ± 0,13	6,15 ± 6,89
6	Rogóźno Rogóźno	4,17 ± 0,62	2,81 ± 0,25	3,49 ± 0,96

^{a)}Wartość ± CWN przy poziomie ufności 95%.

^{b)}Wartość średnia ± Odchylenie Standardowe (OS)

4.4. Ocena zawartości ^{90}Sr w wodach badanych jezior

Tabela 6. Stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2023 r.

Lp.	Miejsce poboru próbki	^{90}Sr , wiosna mBq l ⁻¹	^{90}Sr , jesień mBq l ⁻¹	^{90}Sr średnia roczna mBq l ⁻¹
1	Wigry Stary Folwark	2,22 ± 0,25 ^{a)}	1,17 ± 0,16 ^{a)}	1,70 ± 0,74 ^{b)}
2	Wadąg Barczewko	2,19 ± 0,26	1,62 ± 0,18	1,91 ± 0,40
3	Wielkie Partęczyny Partęczyny	1,55 ± 0,11	1,80 ± 0,19	1,68 ± 0,18
4	Drawsko Stare Drawsko	1,82 ± 0,21	1,96 ± 0,22	1,89 ± 0,10
5	Niesłysz Niesulice	2,92 ± 0,27	1,07 ± 0,13	2,00 ± 1,31
6	Rogóžno Rogóžno	6,51 ± 0,54	7,58 ± 0,63	7,05 ± 0,76

^{a)}Wartość ± CWN przy poziomie ufności 95%.

^{b)}Wartość średnia ± Odchylenie Standardowe (OS)

Stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach z poszczególnych miejsc poboru w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym 2023 roku oraz jego roczne stężenie promieniotwórcze przedstawia Tabela 6.

Najniższą wartość stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr odnotowano w próbce wody pobranej jesienią z jeziora Niesłysz – 1,07 mBq l⁻¹. Najwyższą w jesienniej próbce wody z jeziora Rogóžno – 7,58 mBq l⁻¹. Podobnie jak w latach ubiegłych najwyższe wartości stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr notuje się w próbkach wody z jeziora Rogóžno. W roku 2023 także oznaczono najwyższe wartości stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr , zarówno w próbce pobranej wiosną jak i jesienią.

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach badanych jezior wahało się od 1,68 mBq l⁻¹ w wodzie z jeziora Wielkie Partęczyny do 7,05 mBq l⁻¹ w wodzie pobranej z jeziora Rogóžno.

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

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

Najniższe średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs oznaczono w wodach jeziornych w okresie jesiennym i wynosiło ono $1,46 \text{ mBq l}^{-1}$, najwyższe wiosną także w wodach jeziornych – $5,72 \text{ mBq l}^{-1}$.

Najmniejsze różnice w stężeniach promieniotwórczych ^{137}Cs odnotowano dla wód dorzecza Odry ($1,42\text{--}4,97 \text{ mBq l}^{-1}$), największe dla wód jeziornych ($0,68\text{--}11,97 \text{ mBq l}^{-1}$).

Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach dorzeczy Wisły oraz Odry i jezior wynosiły odpowiednio: $2,22$; $2,80$; $3,59 \text{ mBq l}^{-1}$.

Tabela 7. Średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego izotopu w 2023 r.

Lokalizacja poboru próbek	^{137}Cs mBq l^{-1} wiosna	^{137}Cs mBq l^{-1} jesień	^{137}Cs mBq l^{-1} średnia roczna	^{137}Cs mBq l^{-1} zakres
Dorzecze Wisły (7) ^{a)}	$2,79 \pm 1,40^{\text{b)}$	$1,65 \pm 0,64^{\text{b)}$	$2,22 \pm 1,20^{\text{b)}$ (14)	0,62 – 5,03
Dorzecze Odry (5)	$2,75 \pm 0,98$	$2,86 \pm 1,29$	$2,80 \pm 1,08$ (10)	1,42 – 4,97
Jeziora (6)	$5,72 \pm 4,57$	$1,46 \pm 0,78$	$3,59 \pm 3,83$ (12)	0,68 – 11,97
Średnia ogólna (18)	$3,76 \pm 3,01$	$1,79 \pm 0,74$	$2,84 \pm 2,41$ (36)	0,62 – 11,97

^{a)} Liczba próbek wody

^{b)} Wartość średnia \pm Odchylenie Standardowe (OS)

4.6. Porównanie zawartości ^{90}Sr w wodach badanych rzek z zawartościami notowanymi w jeziorach

Tabela 8. Średnie stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego izotopu w 2023 r.

Lokalizacja poboru próbek	^{90}Sr mBq l^{-1} wiosna	^{90}Sr mBq l^{-1} jesień	^{90}Sr mBq l^{-1} średnia roczna	^{90}Sr mBq l^{-1} zakres
Dorzecze Wisły (7) ^{a)}	$3,07 \pm 0,57^{\text{b)}$	$2,16 \pm 0,31^{\text{b)}$	$2,62 \pm 0,65^{\text{b)}$ (14)	1,70 - 3,77
Dorzecze Odry (5)	$3,22 \pm 0,66$	$2,21 \pm 0,53$	$2,72 \pm 0,78$ (10)	1,88 – 3,86
Jeziora (6)	$2,87 \pm 1,84$	$2,53 \pm 2,50$	$2,70 \pm 2,10$ (12)	1,07 – 7,58
Średnia ogólna (18)	$3,05 \pm 1,11$	$2,30 \pm 1,40$	$2,67 \pm 1,30$ (36)	1,07 – 7,58

^{a)} Liczba próbek wody

^{b)} Wartość średnia \pm OS

Najniższe średnie stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr oznaczono w wodach dorzecza Wisły w okresie jesiennym i wynosiło ono $2,16 \text{ mBq l}^{-1}$, najwyższe wiosną w wodach dorzecza Odry – $3,22 \text{ mBq l}^{-1}$.

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w dorzeczu Wisły, Odry oraz wodach jezior było na zbliżonym poziomie i wynosiło odpowiednio $2,62 \text{ mBq l}^{-1}$; $2,72 \text{ mBq l}^{-1}$ i $2,70 \text{ mBq l}^{-1}$. Najmniejsze różnice w stężeniach ^{90}Sr (zakres $1,88 - 3,86 \text{ mBq l}^{-1}$) odnotowano dla wód dorzecza Odry, największe dla wód jeziornych (zakres $1,07 - 7,58 \text{ mBq l}^{-1}$).

4.7. Analiza zależności pomiędzy zawartościami ^{137}Cs i ^{90}Sr w próbkach badanych w 2023 roku

Tabela 9. przedstawia średnie roczne wartości stosunku stężenia ^{90}Sr do ^{137}Cs w wodach dorzecza Wisły, dorzecza Odry i jezior w 2023 roku.

Stosunek średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr do ^{137}Cs w próbkach wody pobranej z dorzecza Wisły wynosi 1.18. Dla wód dorzecza Odry i jezior oraz średniej rocznej ogólnej nie przekracza jedności.

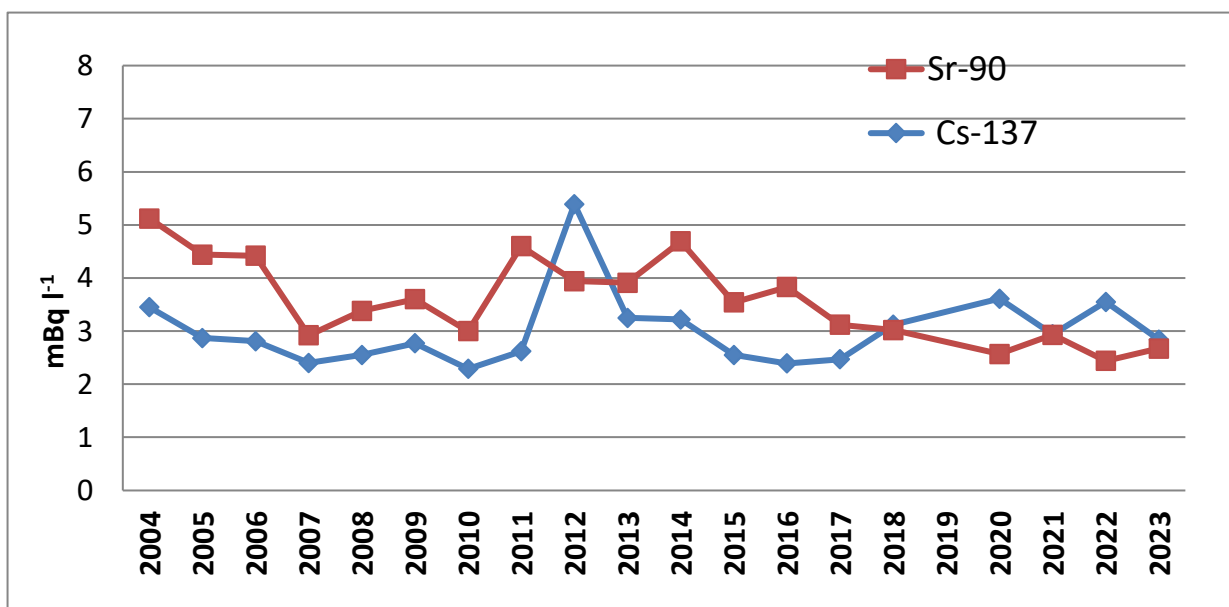
Tabela 9. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior oraz stosunek średnich rocznych stężeń w 2023 r.

Lokalizacja poboru próbek	^{137}Cs mBq l^{-1} średnia roczna	^{90}Sr mBq l^{-1} średnia roczna	$\frac{^{90}\text{Sr}}{^{137}\text{Cs}}$
Dorzecze Wisły (7)^{a)}	$2,22 \pm 1,20^{\text{b)}$ (14)	$2,62 \pm 0,65^{\text{b)}$ (14)	1,18
Dorzecze Odry (5)	$2,80 \pm 1,08$ (10)	$2,72 \pm 0,78$ (10)	0,97
Jeziora (6)	$3,59 \pm 3,83$ (12)	$2,70 \pm 2,10$ (12)	0,75
Średnia ogólna (18)	$2,84 \pm 2,41$ (36)	$2,67 \pm 1,30$ (36)	0,94

^{a)} Liczba próbek wody

^{b)} Wartość średnia \pm Odchylenie Standardowe (OS)

Rysunek 2. przedstawia czasowy przebieg średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach rzek i jezior w latach 2004 – 2023. 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}Cs i ^{90}Sr w wodach nieznacznie ulegał zmianom – pozostając na niskim poziomie. Zawartość ^{90}Sr w wodach była na ogół wyższa niż zawartość ^{137}Cs do roku 2017. W tym okresie wyjątkiem był rok 2012. Od roku 2018 stężenie ^{137}Cs w badanych wodach jest nieznacznie wyższe od stężenia ^{90}Sr . 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}Cs i ^{90}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}Sr w badanych wodach. Natomiast stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs utrzymuje się na podobnym poziomie biorąc pod uwagę błąd oznaczenia wynoszący ok. 15%. Szczególnie jest to widoczne dla próbek pobieranych w ostatnich kilku latach.



Rys. 2. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach rzek i jezior w Polsce w latach 2004 – 2023

5. ANALIZA WYNIKÓW OZNACZEŃ STĘŻEŃ ^{137}Cs , ^{238}Pu I $^{239,240}\text{Pu}$ W ODSADACH DENNYCH POBRANYCH W PUNKTACH BADAWCZYCH W 2023 ROKU

5.1. Ocena zawartości ^{137}Cs w osadach dennych badanych rzek z uwzględnieniem podziału na dorzecza

Tabela 10. Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych dorzecza Wisły i Odry w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2023 r.

Lp.	Miejsce poboru próbki	^{137}Cs , wiosna Bq kg ⁻¹	^{137}Cs , jesień Bq kg ⁻¹	^{137}Cs , średnia roczna Bq kg ⁻¹
DORZECZE WISŁY				
1.	Wisła Kraków Tyniec	7,31± 0,44 ^{a)}	1,72± 0,12 ^{a)}	4,52 ± 3,95 ^{b)}
2.	Wisła Annapol	0,19 ± 0,03	0,37 ± 0,04	0,28 ± 0,13
3.	Wisła Warszawa	0,70 ± 0,06	0,36 ± 0,04	0,53 ± 0,24
4.	Wisła Płock	0,30 ± 0,04	0,19 ± 0,03	0,25 ± 0,08
5.	Wisła Kieźmark	1,40 ± 0,11	1,32 ± 0,10	1,36 ± 0,06
6.	Narew Pułtusk	5,04 ± 0,35	11,94 ± 0,75	8,49 ± 4,88
7.	Bug Wyszków	4,25 ± 0,33	0,37 ± 0,05	2,31 ± 2,74
DORZECZE ODRY				
8.	Odra Chałupki	22,11 ± 1,35	6,95 ± 0,45	14,53 ± 10,72
9.	Odra Wrocław	0,46 ± 0,05	0,85 ± 0,07	0,66 ± 0,28
10.	Odra Głogów	2,90 ± 0,20	0,26 ± 0,04	1,58 ± 1,87
11.	Odra Krajnik	0,41 ± 0,05	0,25 ± 0,03	0,33 ± 0,11
12.	Warta Poznań	0,86 ± 0,07	0,44 ± 0,04	0,65 ± 0,30

^{a)}Wartość ± CWN przy poziomie ufności 95%.

^{b)}Wartość średnia ± Odchylenie Standardowe (OS)

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

Najniższe stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs były oznaczone zarówno wiosną jak i jesienią w osadzie pobranym z Wisły w Annapolu i w Płocku i wynosiły w obu przypadkach

0,19 Bq kg⁻¹. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze tego izotopu zawierały się w granicach od 0,25 Bq kg⁻¹ do 14,53 Bq kg⁻¹ i odnosiły się odpowiednio do osadów pobranych na Wiśle w Płocku i na Odrze w Chałupkach. Zawartości ¹³⁷Cs otrzymywane dla większości punktów wiosną były wyższe niż jesienią. Tendencja ta jest obserwowana od wielu lat.

Najwyższe stężenie promieniotwórcze ¹³⁷Cs było oznaczone jesienią w osadzie pobranym z Odry w Chałupkach (22,11 Bq kg⁻¹). 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 ²³⁸Pu i ^{239,240}Pu w osadach dennych badanych rzek z uwzględnieniem podziału na dorzecza

W Tabeli 11. przedstawiono stężenie promieniotwórcze ^{239,240}Pu w osadach dennych pobranych w okresie wiosennym i jesiennym w dorzeczu Wisły i Odry oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze powyższych izotopów.

Najniższe stężenia promieniotwórcze ^{239,240}Pu były oznaczone wiosną w osadzie pobranym z Wisły w Płocku (2,73 mBq kg⁻¹). Najwyższe w osadzie z Odry pobranym również wiosną w Chałupkach (137,36 mBq kg⁻¹). Wartości średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{239,240}Pu w osadach dennych zawierają się w granicach od 3,61 mBq kg⁻¹ w osadzie z Wisły (Płock) do 86,53 mBq kg⁻¹ w osadzie z Odry (Chałupki).

Stężenie promieniotwórcze ²³⁸Pu w osadach dennych (podobnie jak w roku ubiegłym) było w większości przypadków mniejsze od granicy detekcji (1,5 mBq kg⁻¹). W przypadku dorzeczy Wisły i Odry ²³⁸Pu został oznaczony w 3 z pośród 24 pobranych próbek osadów:

- z Wisły w Tyńcu wiosną: $2,86 \pm 0,90$ mBq kg⁻¹,
- z Odry w Chałupkach wiosną ($6,00 \pm 1,25$ mBq kg⁻¹) oraz jesienią ($1,13 \pm 0,50$ mBq kg⁻¹)

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 2023 r.

Lp.	Miejsce poboru próbki	$^{239,240}\text{Pu}$ wiosna mBq kg ⁻¹	$^{239,240}\text{Pu}$ jesień mBq kg ⁻¹	$^{239,240}\text{Pu}$ średnia roczna mBq kg ⁻¹
DORZECZE WISŁY				
1.	Wisła Kraków Tynec	40,24 ± 3,29 ^{b)}	12,62 ± 1,91 ^{b)}	26,43 ± 19,53 ^{b)}
2.	Wisła Annapol	8,80 ± 2,02	12,48 ± 2,25	10,64 ± 2,60
3.	Wisła Warszawa	12,06 ± 2,01	14,44 ± 2,35	13,25 ± 1,68
4.	Wisła Płock	2,73 ± 1,68	4,48 ± 1,24	3,61 ± 1,24
5.	Wisła Kiezmark	13,25 ± 2,52	7,39 ± 1,79	10,32 ± 4,14
6.	Narew Pułtusk	9,52 ± 1,77	44,01 ± 3,41	26,77 ± 24,39
7.	Bug Wyszków	38,10 ± 3,24	8,05 ± 2,01	23,08 ± 21,25
DORZECZE ODRY				
8.	Odra Chałupki	137,36 ± 6,37	35,70 ± 2,62	86,53 ± 71,88
9.	Odra Wrocław	4,61 ± 1,78	13,95 ± 2,33	9,28 ± 6,60
10.	Odra Głogów	39,89 ± 3,30	5,83 ± 1,59	22,86 ± 24,08
11.	Odra Krajnik	7,86 ± 1,72	9,94 ± 2,69	8,90 ± 1,47
12.	Warta Poznań	10,60 ± 2,15	6,81 ± 1,57	8,71 ± 2,68

^{a)}Wartość ± CWN przy poziomie ufności 68%.

^{b)}Wartość średnia ± OS

5.3. Ocena zawartości ^{137}Cs w osadach dennych badanych jezior

Stężenie promieniotwórcze ^{137}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 1,41 Bq kg⁻¹ w osadzie pobranym jesienią z jeziora Drawsko do 98,85 Bq kg⁻¹ w osadzie pobranym również jesienią z jeziora Rogóźno. Najniższe średnie roczne stężenie ^{137}Cs (1,45 Bq kg⁻¹) było oznaczone w osadach z jeziora Drawsko, a najwyższe (73,01 Bq kg⁻¹) w osadach z jeziora Rogóźno. Z wieloletnich obserwacji wynika, że dla jeziora Rogóźno charakterystyczne są większe

wartości stężenia promieniotwórczego ^{137}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}Cs w osadach dennych w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2023r.

Lp.	Miejsce poboru próbki	^{137}Cs , wiosna Bq kg ⁻¹	^{137}Cs , jesień Bq kg ⁻¹	^{137}Cs , średnia roczna Bq kg ⁻¹
1.	Wigry Stary Folwark	11,84 ± 0,74 ^{a)}	0,94 ± 0,08 ^{a)}	6,39 ± 70,71 ^{b)}
2.	Wadąg Barczewko	1,88 ± 0,14	2,32 ± 0,17	2,10 ± 0,31
3.	Wielkie Partęczyny Partęczyny	0,69 ± 0,06	4,38 ± 0,27	2,54 ± 2,61
4.	Drawsko Stare Drawsko	1,48 ± 0,10	1,41 ± 0,10	1,45 ± 0,05
5.	Niesłysz Niesulice	5,09 ± 0,31	4,01 ± 0,27	4,55 ± 0,76
6.	Rogóźno Rogóźno	47,16 ± 2,83	98,85 ± 5,76	73,01 ± 36,55

^{a)} Wartość ± CWN przy poziomie ufności 95%.

^{b)} Wartość średnia ± Odchylenie Standardowe (OS)

5.4. Ocena zawartości ^{238}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 $^{239,240}\text{Pu}$ (2,57 mBq kg⁻¹) było oznaczone wiosną w osadzie pobranym z jeziora Drawsko, a największe 652,45 mBq kg⁻¹ w osadzie jesiennym z jeziora Rogóźno.

Średnie roczne stężenie izotopów $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych zawiera się w granicach od 4,63 mBq kg⁻¹ w jeziorze Drawsko do 441,95 mBq kg⁻¹ w jeziorze Rogóźno.

Tabela 13. Stężenie promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2023 r.

Lp.	Miejsce poboru próbki	$^{239,240}\text{Pu}$ wiosna mBq kg^{-1}	$^{239,240}\text{Pu}$ jesień mBq kg^{-1}	$^{239,240}\text{Pu}$ średnia roczna mBq kg^{-1}
1.	Wigry Stary Folwark	$18,39 \pm 2,53^{\text{b}}$	$4,22 \pm 1,30^{\text{b}}$	$11,31 \pm 1,48^{\text{b}}$
2.	Wadąg Barczewko	$8,52 \pm 1,94$	$30,65 \pm 3,64$	$19,59 \pm 15,65$
3.	Wielkie Parteczyzny Partęczyny	$3,76 \pm 1,28$	$9,42 \pm 1,52$	$6,59 \pm 4,00$
4.	Drawsko Stare Drawsko	$2,57 \pm 1,07$	$6,68 \pm 1,78$	$4,63 \pm 2,91$
5.	Niesłysz Niesulice	$16,18 \pm 1,82$	$3,59 \pm 1,22$	$9,89 \pm 8,90$
6.	Rogóżno Rogóżno	$231,45 \pm 9,92$	$652,45 \pm 16,37$	$441,95 \pm 297,69$

^{a)}Wartość \pm CWN przy poziomie ufności 68% ^{b)}Wartość średnia \pm OS

Stężenie ^{238}Pu w osadach dennych było oznaczone w 2 spośród 12 próbek, a oba osady były pobrane z jeziora Rogóżno: wiosną ($6,86 \pm 1,57 \text{ mBq kg}^{-1}$) oraz jesienią ($11,47 \pm 1,58 \text{ mBq kg}^{-1}$).

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

W Tabeli 14. przedstawiono średnie stężenia promieniotwórcze ^{137}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}Cs dla dorzecza Wisły, Odry i jezior było zróżnicowane i wynosiło odpowiednio 2,53; 3,55 i 15,00 Bq kg^{-1} . Największe różnice w stężeniach ^{137}Cs obserwowano dla osadów jeziornych od 0,69 do 98,85 Bq kg^{-1} .

Średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w 2023 roku było najniższe jesienią w dorzeczu Odry i wynosiło 1,75 Bq kg^{-1} . Najwyższą wartość oznaczono jesienią w jeziorach – 18,65 Bq kg^{-1} .

Tabela 14. Średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych dorzecza Wisły, Odry i jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego izotopu w 2023 r.

Lokalizacja poboru próbek	^{137}Cs Bq kg ⁻¹ wiosna	^{137}Cs Bq kg ⁻¹ jesień	^{137}Cs Bq kg ⁻¹ średnia roczna	^{137}Cs Bq kg ⁻¹ zakres
Dorzecze Wisły (7) ^{a)}	2,74 ± 2,79	2,32 ± 4,28	2,53 ± 3,48 (14)	0,19–11,94
Dorzecze Odry (5)	5,35 ± 9,43	1,75 ± 2,95	3,55 ± 6,71 (10)	0,25–22,11
Jeziora (6)	11,36 ± 18,01	18,65 ± 39,31	15,00 ± 29,40 (12)	0,69–98,85
Średnia ogólna (18)	6,34 ± 2,89	7,61 ± 22,98	6,97 ± 16,88 (36)	0,19–98,85

^{a)} Liczba próbek osadów dennych

^{b)} Wartość średnia ± OS

5.6. Porównanie zawartości ^{238}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 2023 r.

Lokalizacja poboru próbek	$^{239,240}\text{Pu}$ mBq kg ⁻¹ wiosna	$^{239,240}\text{Pu}$ mBq kg ⁻¹ jesień	$^{239,240}\text{Pu}$ mBq kg ⁻¹ średnia roczna	$^{239,240}\text{Pu}$ mBq kg ⁻¹ zakres
Dorzecze Wisły (7) ^{a)}	17,81 ± 14,98 ^{b)}	14,78 ± 13,36	16,30 ± 13,72 (14)	2,73–44,01
Dorzecze Odry (5)	40,06 ± 56,19	14,45 ± 12,30	27,26 ± 40,65 (10)	4,61–137,36
Jeziora (6)	46,81 ± 90,68	117,84 ± 262,10	82,32 ± 190,6 (12)	2,57–652,45
Średnia ogólna (18)	33,66 ± 58,46	49,04 ± 151,03	41,35 ± 16,71 (36)	2,57–652,45

^{a)} Liczba próbek osadów dennych

^{b)} 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 16,30 mBq kg⁻¹, 27,26 mBq kg⁻¹ i 82,32 mBq kg⁻¹. Największe różnice

stężenia oznaczanych izotopów występowały w jeziorach i mieściły się w zakresie od 2,57 do 652,45 mBq kg⁻¹.

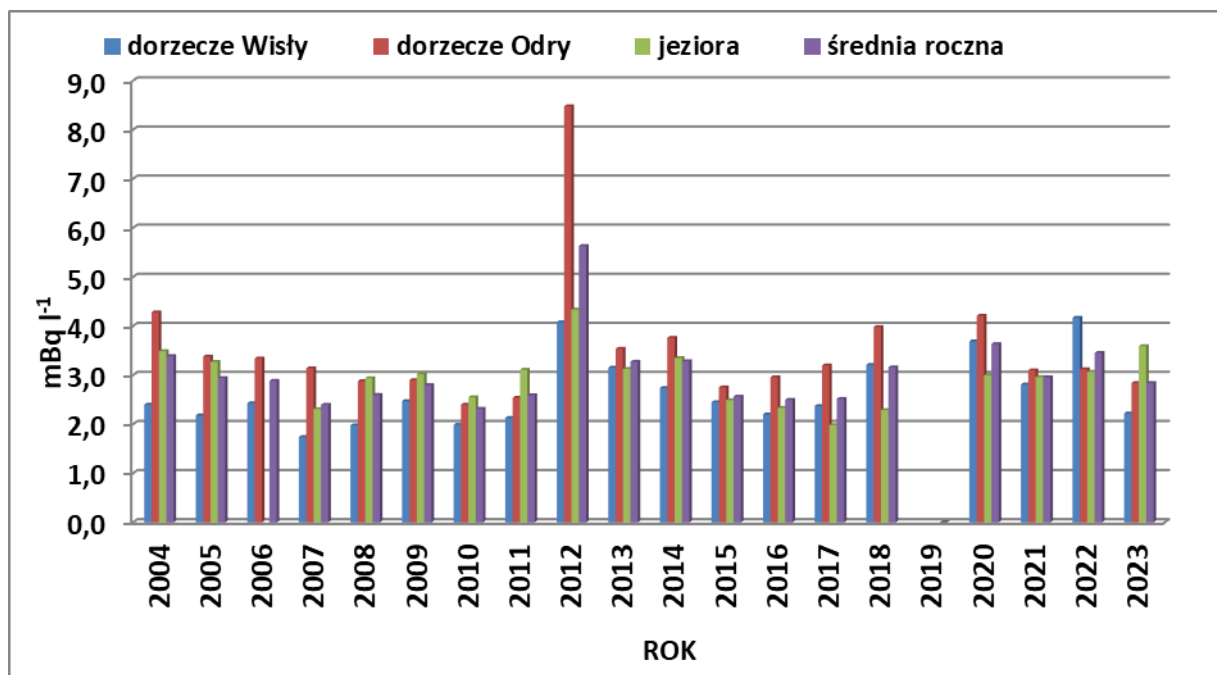
Stężenie promieniotwórcze ²³⁸Pu w osadach dennych było w większości przypadków poniżej granicy detekcji (1,5 mBq kg⁻¹). Zostało oznaczone tylko w 3 z spośród 24 próbek osadów rzecznych i w 2 z spośród 12 próbek osadów jeziornych. Były to próbki pobrane:

- z Wisły w Tyńcu wiosną (2,86 ± 0,90 mBq kg⁻¹),
- z Odry w Chałupkach wiosną (6,00 ± 1,25 mBq kg⁻¹) oraz jesienią (1,13 ± 0,50 mBq kg⁻¹)
- z jeziora Rogóźno: wiosną (6,86 ± 1,57 mBq kg⁻¹) oraz jesienią (11,47 ± 1,58 mBq kg⁻¹).

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 ¹³⁷Cs w wodach rzecznych w układzie dorzeczy oraz ich porównanie do wód jeziornych



Rys. 3. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ¹³⁷Cs w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2023

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

latach 2004-2023. W roku 2019 badania prowadzone były tylko dla jednego (jesiennego) poboru stąd brak wartości średnich rocznych.

Najniższe wartości średniego rocznego stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs w latach 2004-2015 obserwujemy dla dorzecza Wisły. Natomiast od 2017 do 2020 roku najniższe wartości odnotowano dla wód jeziornych. Zawartości ^{137}Cs w dorzeczu Odry i jeziorach są zazwyczaj bardziej porównywalne ze sobą. Wyjątek stanowi rok 2012, kiedy odnotowano najwyższe średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}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}Cs była już dziesięciokrotnie niższa. W przedziałach czasowych 2013-2014 i 2015-2017 obserwujemy wyrównany poziom stężenia promieniotwórczego ^{137}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. Po roku 2017 nastąpił wzrost średnich rocznych zawartości ^{137}Cs dla dorzeczy i jezior w stosunku do kilku wcześniejszych lat. Biorąc pod uwagę ok.15% błąd oznaczenia można stwierdzić, że średnia zawartość ^{137}Cs w wodach rzek i jezior zarówno w 2023 roku jak i kilku ubiegłych latach jest na zbliżonym poziomie.

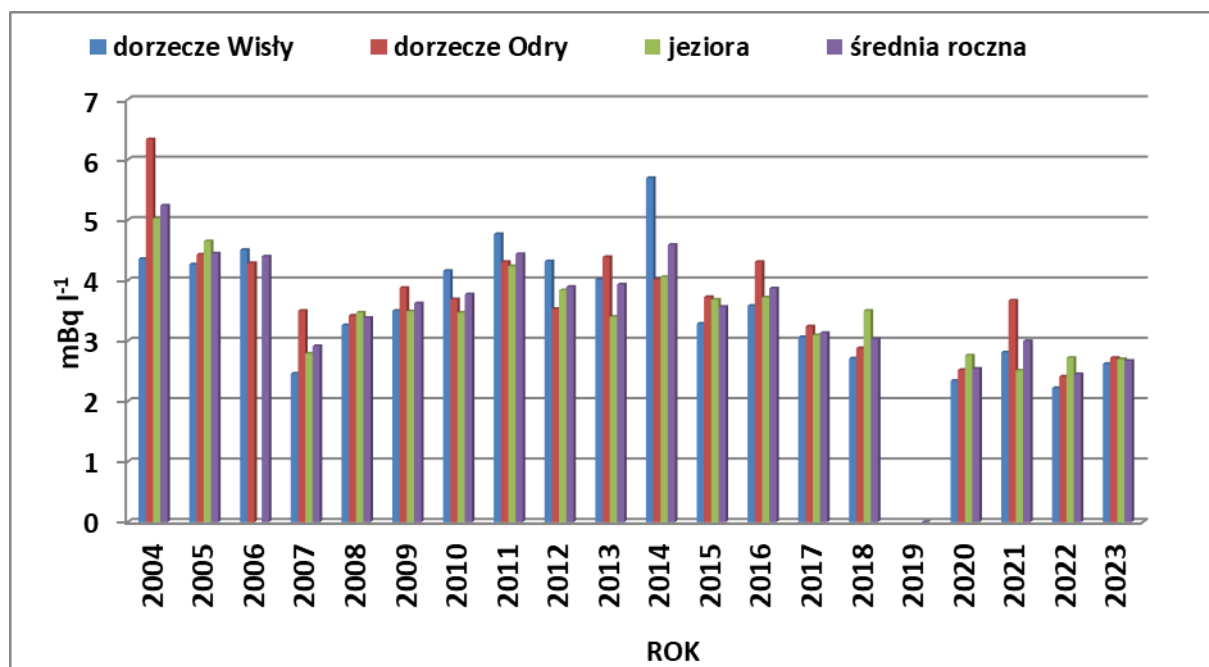
W bieżącym roku obserwujemy bardziej wyrównane stężenia izotopu cezu w wodach dorzeczy Wisły i Odry i większe dla wód jeziornych.

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

Na Rysunku 4. przedstawiono średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w wodzie dla dorzeczy Wisły, Odry i jezior w odniesieniu do ogólnej średniej rocznej w latach 2004-2023. W roku 2019 badania prowadzone były tylko dla jednego (jesiennego) poboru stąd brak wartości średnich rocznych.

W przypadku ^{90}Sr na przestrzeni dwudziestu lat monitoringu nie widać wyraźnie powtarzających się zależności. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w poszczególnych latach dla dorzeczy Wisły i Odry jak i jezior są bardziej wyrównane niż w

przypadku analogicznych średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs . Szczególnie widoczne jest to w bieżącym roku.



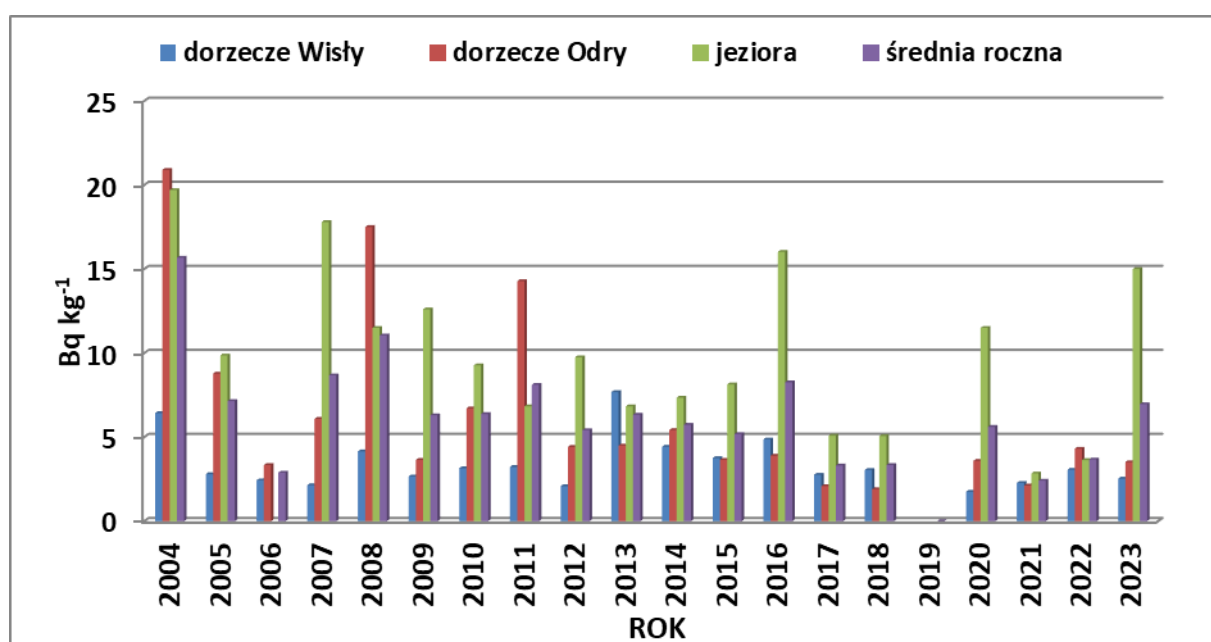
Rys. 4. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2023

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}Sr do roku 2007, w którym to roku odnotowano najniższą wartość – $2,9 \text{ mBq l}^{-1}$. Przez kolejne dziewięć lat zawartość ^{90}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 dorzeczy i jezior zazwyczaj spowodowane były jednokrotnym oznaczeniem wyższej zawartości ^{90}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}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}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 dorzeczy 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 dorzeczy 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 średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior były na bardzo wyrównanym poziomie zbliżonym do ostatnich kilku lat.

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

Rysunek 5. przedstawia wykres obrazujący średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych dla dorzeczy Wisły, Odry i jezior w odniesieniu do ogólnej średniej rocznej w latach 2004-2023.



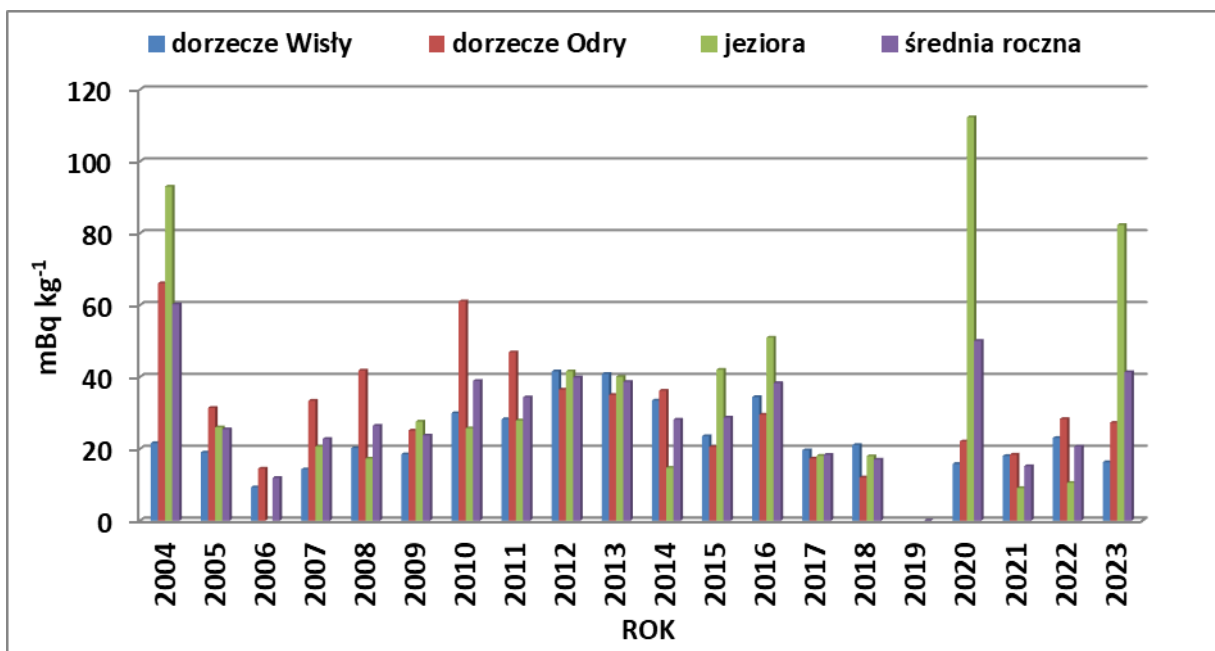
Rys. 5. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2023

W ocenie ogólnej średniej rocznej zawartości ^{137}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}Cs w osadach dennych zanotowano w roku 2004. Średnie roczne stężenia wynosiły wówczas odpowiednio: dla dorzecza Wisły – 6,4 Bq kg⁻¹, dla dorzecza Odry - 20,9 Bq kg⁻¹ i dla jezior – 19,7 Bq kg⁻¹. Najbardziej zbliżone średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs zanotowano jeszcze kilkakrotnie; dla jezior w roku 2007 (12,6 Bq kg⁻¹), 2016 (16,0 Bq kg⁻¹) i 2023 (15,0 Bq kg⁻¹), dla dorzecza Wisły w 2013 (7,7 Bq kg⁻¹), a dla dorzecza Odry w roku 2008 (17,5 Bq kg⁻¹).

W większości przypadków w latach monitoringu zawartość ^{137}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}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}Cs są najbardziej zbliżone do danych z roku 2021. Natomiast ogólna średnia roczna zawartości ^{137}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 i 2023 uzyskano znacznie wyższą wartość średnią dla osadów jeziornych niż w latach 2017 i 2018 oraz 2021 i 2022. Wpływ na taką wartość miały wyniki uzyskane zarówno wiosną jak i jesienią dla jeziora Rogóźno (w roku 2020: $49,67 \pm 1,70$ i $64,86 \pm 1,10 \text{ Bq kg}^{-1}$ i w 2023: $47,16 \pm 2,83$ i $98,85 \pm 5,76 \text{ Bq kg}^{-1}$). 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 2023 odnotowaliśmy ogólny wzrost średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs .

6.4. Analiza zawartości ^{238}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 2004-2023.

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 2004-2023.

Podobnie jak w przypadku izotopu ^{137}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 25 mBq kg^{-1} .

Najwyższe średnie stężenia $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych obserwowano w roku 2004, 2020 i 2023 dla jezior (93,0 mBq kg^{-1} , 112,3 mBq kg^{-1} i 82,32 mBq kg^{-1}) i w 2010 dla dorzecza Odry (61,1 mBq kg^{-1}).

Z obserwacji średnich rocznych zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych wynika, że w latach 2012 i 2013 poziom jego stężeń w dorzeczach Wisły, Odry i w jeziorach jest najbardziej zbliżony i wynosi ok. 40 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 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 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 (np.: oznaczenia dla osadów jeziora Rogóźno w roku 2020 i 2023). 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 wartości 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 2022 roku odnotowaliśmy wzrost stężenia badanych izotopów dla dorzecza Wisły i Odry przy niezmiennym poziomie dla jezior. W bieżącym roku odnotowaliśmy wzrost stężenia badanych izotopów w wodach jeziornych.

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 Odry (Chałupki, Wrocław, Głogów i Krajnik) i na dwóch jeziorach Wielkie Partęczyny i Drawsko. 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 punktami na wykresach została zachowana ta sama skala dla poszczególnych izotopów.

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

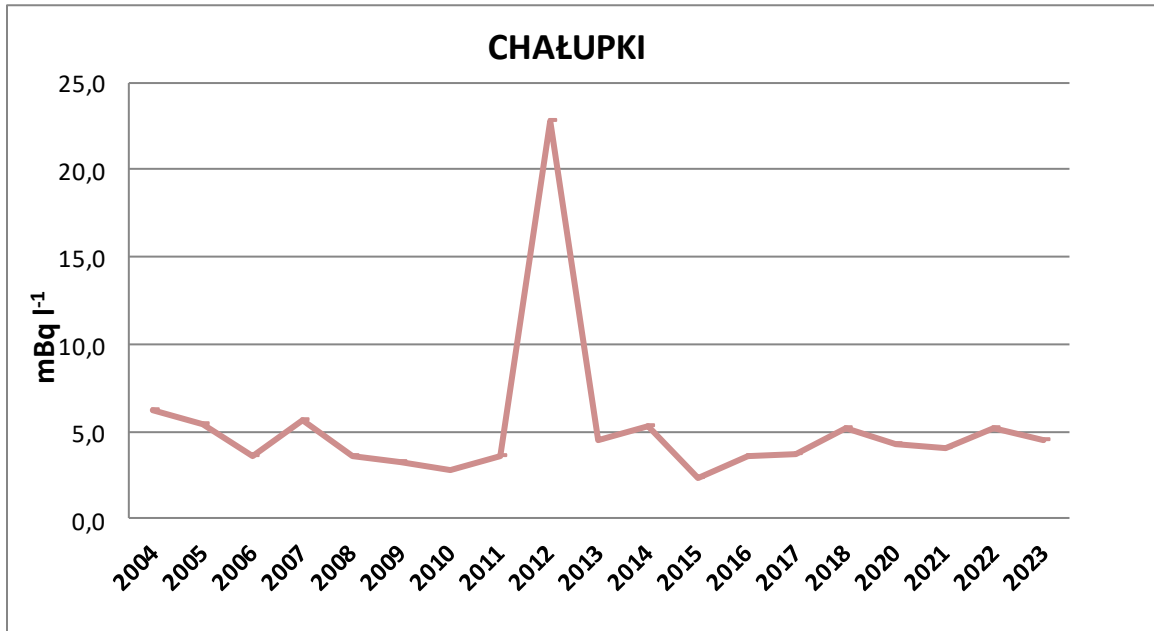
7.1.1. Analiza zawartości ^{137}Cs w wodzie pobranej z Odry w Chałupkach

Rysunek 7. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w wodach dorzecza Odry dla punktu pomiarowego w Chałupkach w latach 2004 – 2023. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.

Średni poziom stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs w wodzie pobieranej w Chałupkach przez wszystkie lata obserwacji był dosyć wyrównany. Jedynie w roku 2012 zanotowano niewielki wzrost zawartości ^{137}Cs . Podwyższona wartość średniej rocznej ^{137}Cs w wodzie spowodowana została oznaczonym stężeniem promieniotwórczego tego izotopu w próbce wiosennej ($40,72 \text{ mBq l}^{-1}$), które można jedynie tłumaczyć czasowym wpływem wód innego

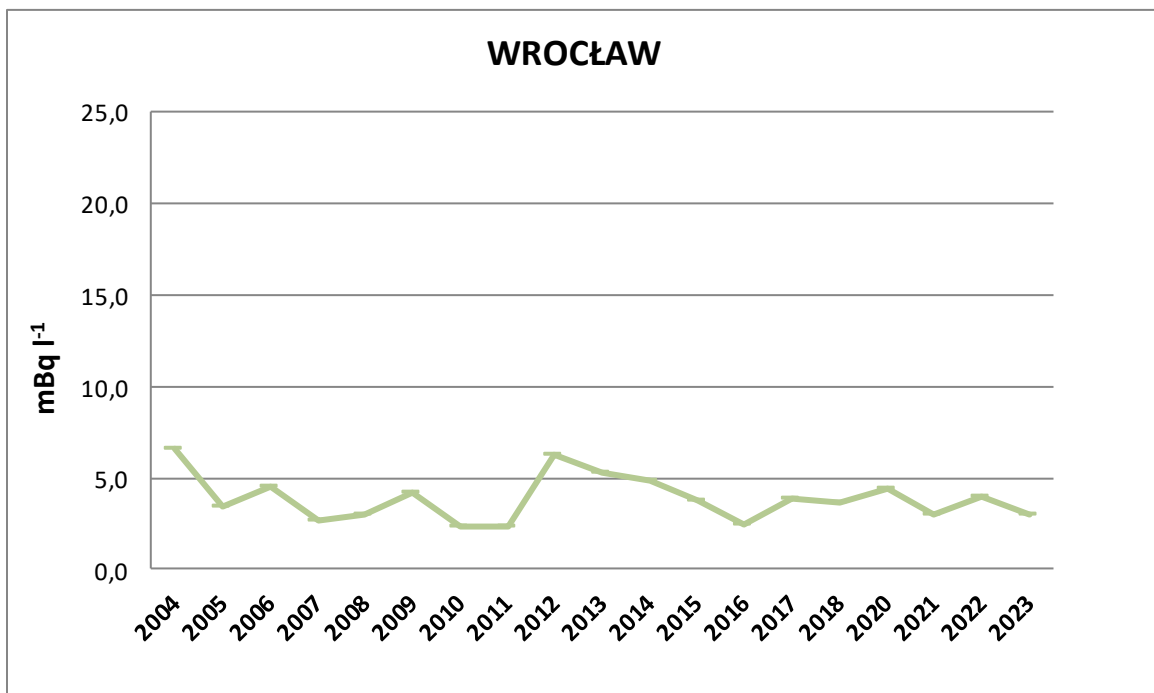
pochodzenia w to miejsce. Trwałości tej zmiany nie potwierdziły badania jesienne, w których oznaczone stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w wodzie wynosiło $4,95 \text{ mBq l}^{-1}$.

Należy jednak podkreślić, że pomimo odnotowanej zmiany zawartość ^{137}Cs w wodzie z Odry w Chałupkach pozostaje na niskim poziomie. Potwierdza to również wynik uzyskany w roku bieżącym – $4,55 \text{ mBq l}^{-1}$.



Rys. 7. Zawartość ^{137}Cs w wodach Odry pobranej w Chałupkach w latach 2004-2023

7.1.2. Analiza zawartości ^{137}Cs w wodzie pobranej z Odry we Wrocławiu



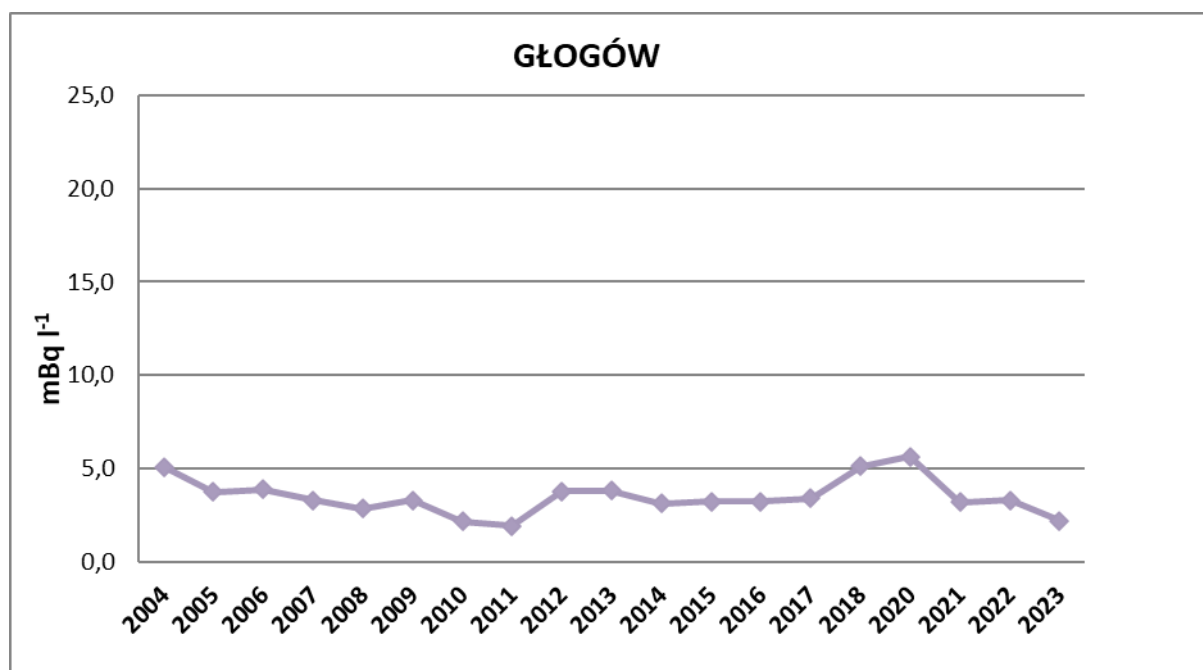
Rys. 8. Zawartość ^{137}Cs w wodach Odry pobranej we Wrocławiu w latach 2004-2023

Rysunek 8. Przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w wodach Odry pobranej we Wrocławiu w latach 2004-2023. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.

Na przestrzeni lat średnie stężenie promieniotwórcze izotopu ^{137}Cs mieści się w wąskim zakresie od 2,4 (rok 2010, 2011 i 2016) do 6,5 mBq l^{-1} (rok 2004). Można zatem stwierdzić, że zawartość ^{137}Cs w wodzie z Odry we Wrocławiu pozostaje na niskim, nieznacznie zmieniającym się poziomie. W bieżącym roku wynosi 3,02 mBq l^{-1} .

7.1.3. Analiza zawartości ^{137}Cs w wodzie pobranej z Odry w Głogowie

Średni poziom stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs w wodzie pobieranej w Odrze w Głogowie w lata 2004-2023 był wyrównany (Rysunek 9.). Średnia roczna zawartość ^{137}Cs w wodzie pobieranej w Głogowie w latach 2004-2023 mieści się w zakresie od 1,9 do 5,6 mBq l^{-1} . Najwyższe wartości zanotowano w latach 2004, 2018 i 2020, a wynosiły one odpowiednio: 5,1, 5,1 i 5,6 mBq l^{-1} .

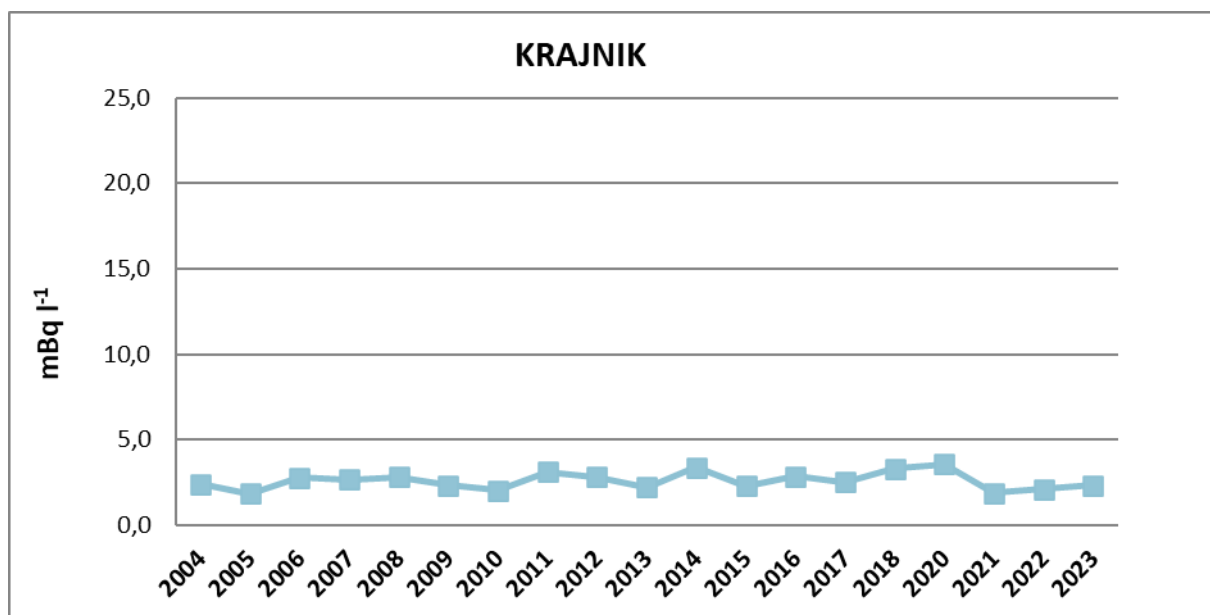


Rys. 9. Zawartość ^{137}Cs w wodach Odry pobieranych w Głogowie w latach 2004-2023

7.1.4. Analiza zawartości ^{137}Cs w wodzie pobranej z Odry w Krajniku

W przypadku punktu poboru w Krajniku, na przestrzeni dwudziestu lat obserwacji, występują nieznaczne zmiany zawartości izotopu ^{137}Cs w wodzie w poszczególnych latach

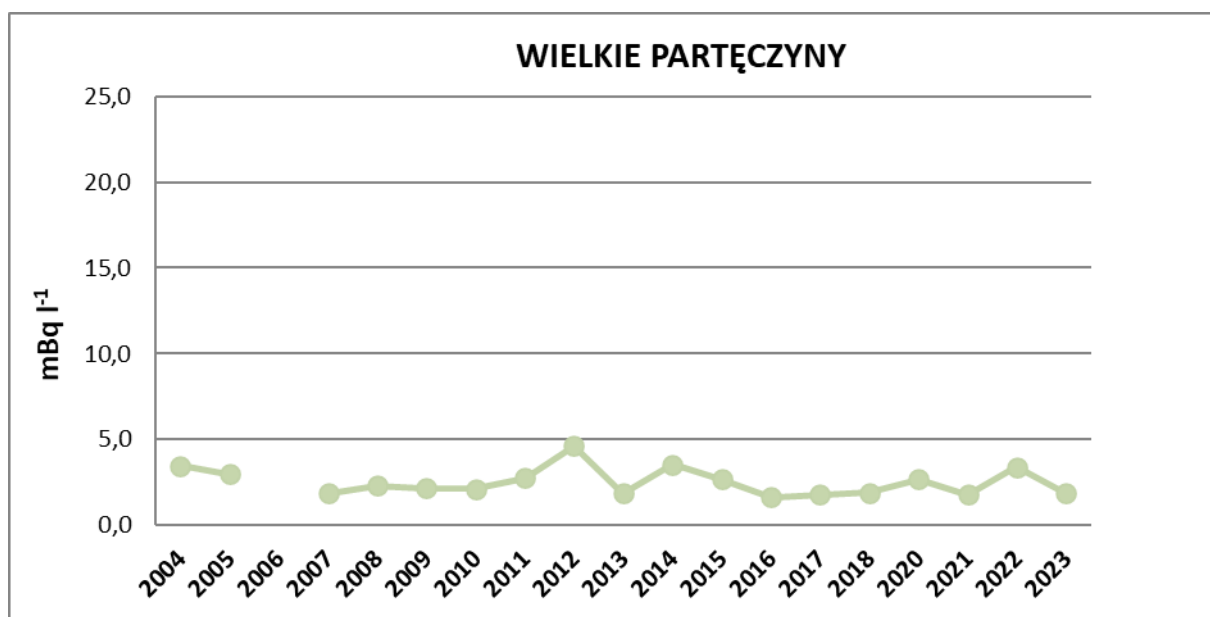
(Rysunek 10.). Zmiany te mieszczą się w granicach od 1,83 (wartość oznaczona w roku 2005) do 3,59 mBq l⁻¹ (rok 2020).



Rys. 10. Zawartość ¹³⁷Cs w wodach z Odry pobieranej w Krajiniku w latach 2004-2023

7.1.5. Analiza zawartości ¹³⁷Cs w wodzie pobranej z jeziora Wielkie Partęczyny

Z przedstawionej na Rysunku 11. zależności wynika, że w przeciągu kilkunastu lat zmiany zawartości ¹³⁷Cs w wodach były nieznaczne. W roku 2006 nie były prowadzone badania dla jezior stąd brak wyników na pokazanym wykresie.



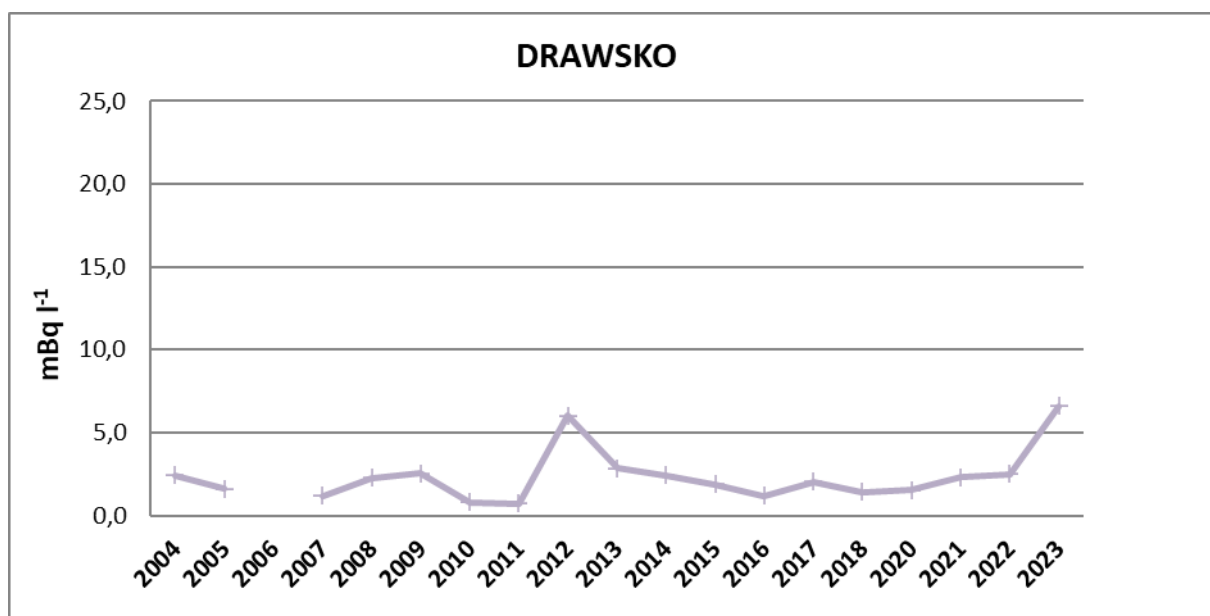
Rys. 11. Zawartość ¹³⁷Cs w wodach z jeziora Wielkie Partęczyny w latach 2004-2023

Zakres w jakim obserwowano fluktuacje to ok. 2 mBq l⁻¹. Można zatem stwierdzić, że zawartość ¹³⁷Cs w wodach jeziora Wielkie Partęczyny jest niezmienna od 20 lat i jest na niskim poziomie.

7.1.6. Analiza zawartości ¹³⁷Cs w wodzie pobranej z jeziora Drawsko

Przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ¹³⁷Cs w wodach jeziora Drawsko w latach 2004–2023 przedstawiono na Rysunku 12.

W przeciągu wszystkich lat obserwacji zmiany zawartości ¹³⁷Cs w wodach były nieznaczne. Średnia roczna zawartość ¹³⁷Cs w wodzie pobieranej z jeziora mieści się w zakresie od 0,71 do 6,60 mBq l⁻¹. Najwyższe wartości zanotowano w latach 2012 i 2023 - wynosiły one odpowiednio: 6,02 i 6,60 mBq l⁻¹.



Rys. 12. Zawartość ¹³⁷Cs w wodach z jeziora Drawsko w latach 2004-2023

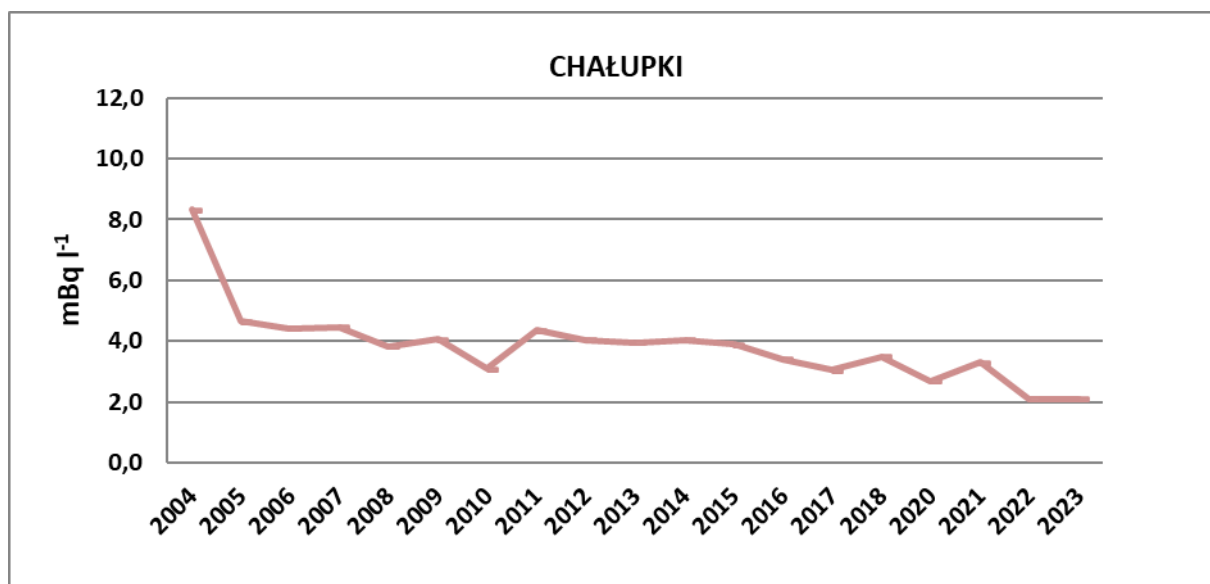
7.2. Analiza zawartości ⁹⁰Sr w wodach na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych

7.2.1. Analiza zawartości ⁹⁰Sr w wodzie pobranej z Odry w Chałupkach

Rysunek 13. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ⁹⁰Sr w wodach Odry pobranej w Chałupkach w latach 2004-2023. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.

Na przestrzeni lat średnie stężenie promieniotwórcze ⁹⁰Sr mieści się w zakresie od 2,1 (rok 2022 i 2023) do 8,3 mBq l⁻¹ (rok 2004). Można przyjąć, że stężenie ⁹⁰Sr w latach 2004-2023

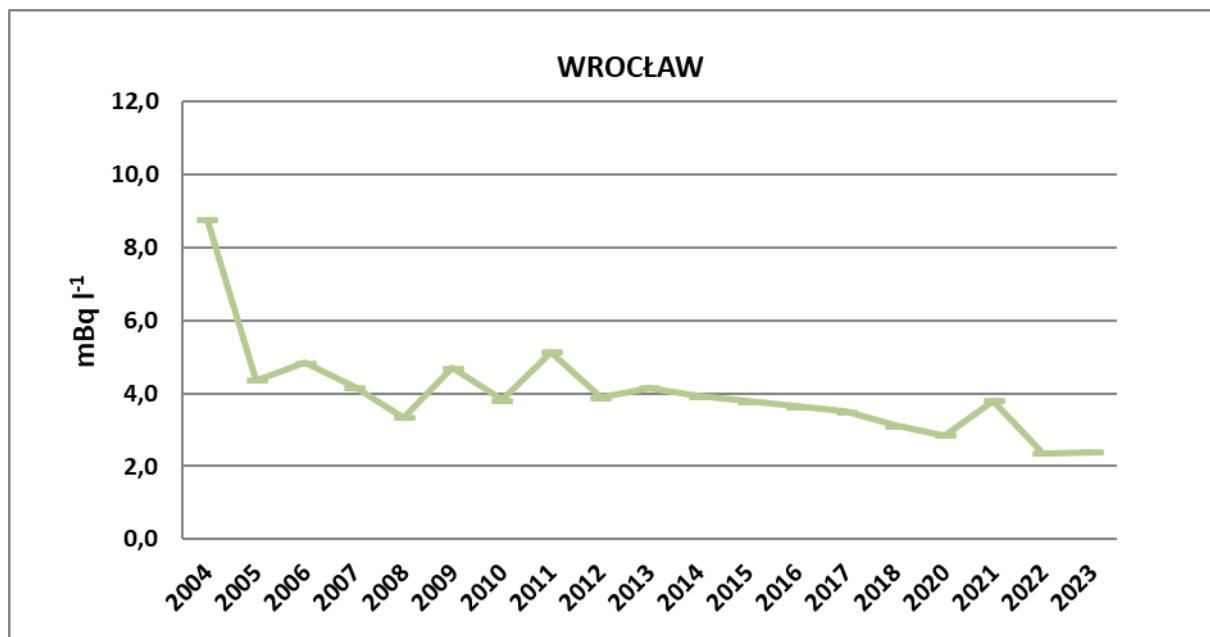
przy nieznacznych fluktuacjach pozostaje na wyrównanym poziomie z tendencją spadkową od roku 2014. W bieżącym roku stężenie ^{90}Sr wynosi $2,09 \text{ mBq l}^{-1}$.



Rys. 13. Zawartość ^{90}Sr w wodach Odry pobranej w Chałupkach w latach 2004-2023

7.2.2. Analiza zawartości ^{90}Sr w wodzie pobranej z Odry we Wrocławiu

Przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr w wodach Odry pobranej we Wrocławiu w latach 2004-2023 przedstawiono na Rysunku 14. Podane wartości są średnimi rocznymi w poszczególnych latach monitoringu.

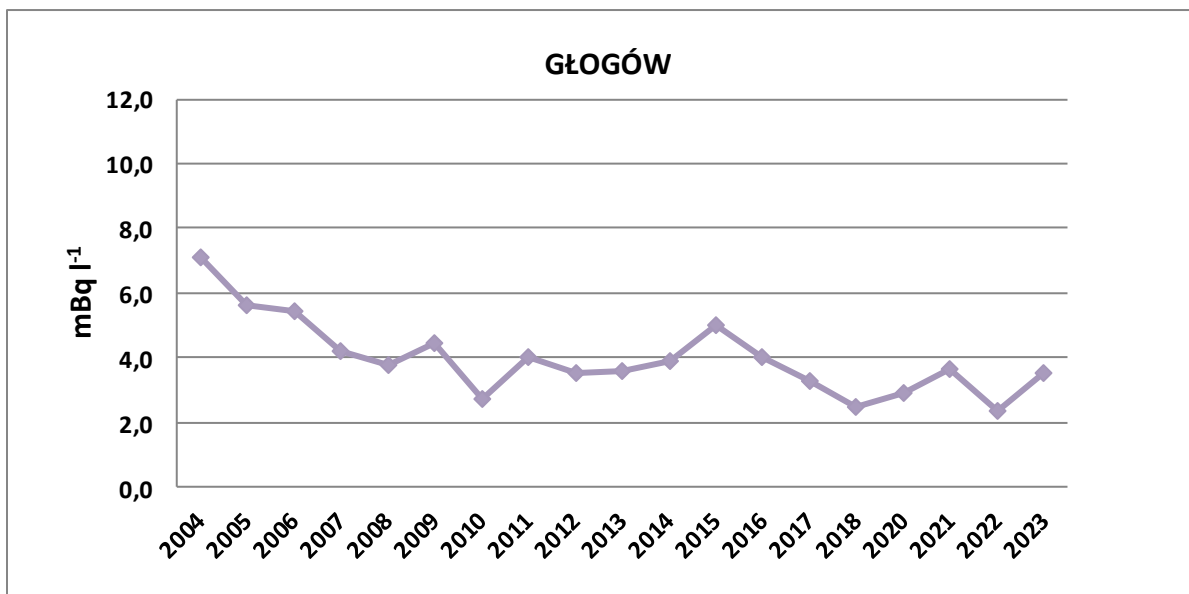


Rys. 14. Zawartość ^{90}Sr w wodach Odry pobranej we Wrocławiu w latach 2004-2022

Z przedstawionej zależności wynika, że w przeciągu dwudziestu lat zmiany zawartości ^{90}Sr w wodach były nieznaczne. Z wyjątkiem pierwszego roku badań, w którym odnotowano

stężenie promieniotwórczych ^{90}Sr o wartości $8,8 \text{ mBq l}^{-1}$. Poza tym, zakres w jakim obserwowano fluktuacje to ok. 2 mBq l^{-1} . Od 2013 roku obserwujemy ciągły, nieznaczny spadek zawartości badanego izotopu. Można zatem stwierdzić, że zawartość ^{90}Sr w wodach z Odry w badanym punkcie jest niezmienna od wielu lat. W poprzednim i bieżącym roku odnotowano najniższe zawartości ^{90}Sr – na poziomie około $2,4 \text{ mBq l}^{-1}$.

7.2.3. Analiza zawartości ^{90}Sr w wodzie pobranej z Odry w Głogowie

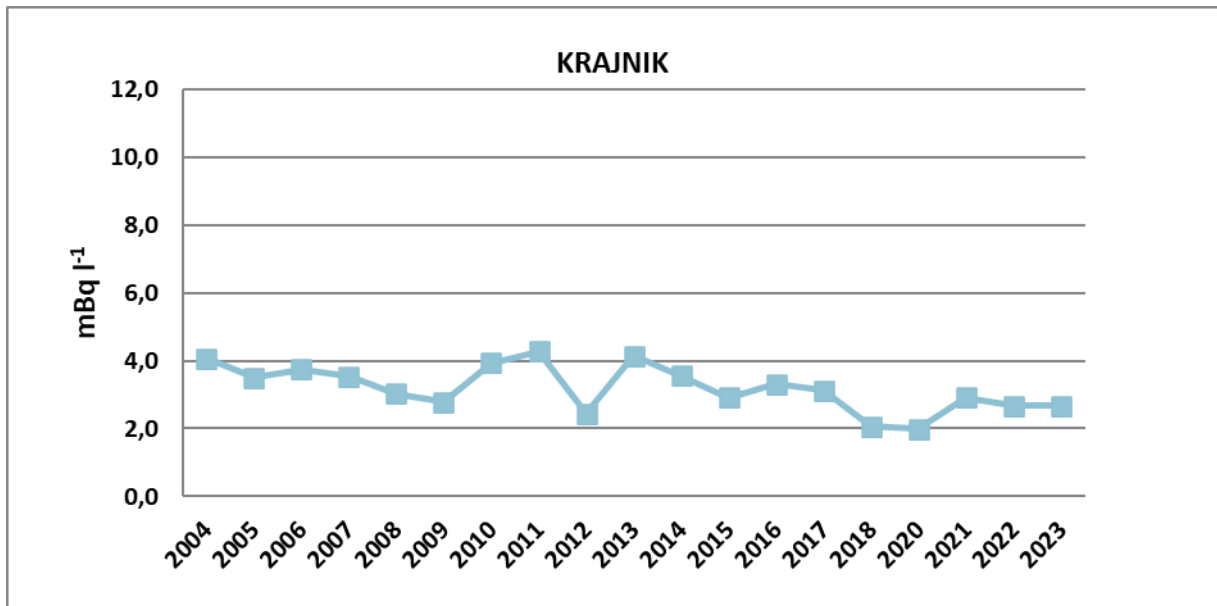


Rys. 15. Zawartość ^{90}Sr w wodach Odry pobieranych w Głogowie w lata 2004-2023

Rysunek 15 przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr w wodach dorzecza Odry pobieranych w Głogowie w lata 2004-2023. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr dla punktu pomiarowego w Głogowie mieści się w dość wąskim zakresie od $2,35$ w roku 2022 do $7,1 \text{ mBq l}^{-1}$ w 2004 roku. Tą najwyższą wartość, podobnie jak w przypadku ^{137}Cs , odnotowano w pierwszym roku obserwacji. W 2023 roku uzyskano wartości – $3,49 \text{ mBq l}^{-1}$.

7.2.4. Analiza zawartości ^{90}Sr w wodzie pobranej z Odry w Krajniku



Rys. 16. Zawartość ^{90}Sr w wodach Odry pobranej w Krajniku w latach 2004-2023

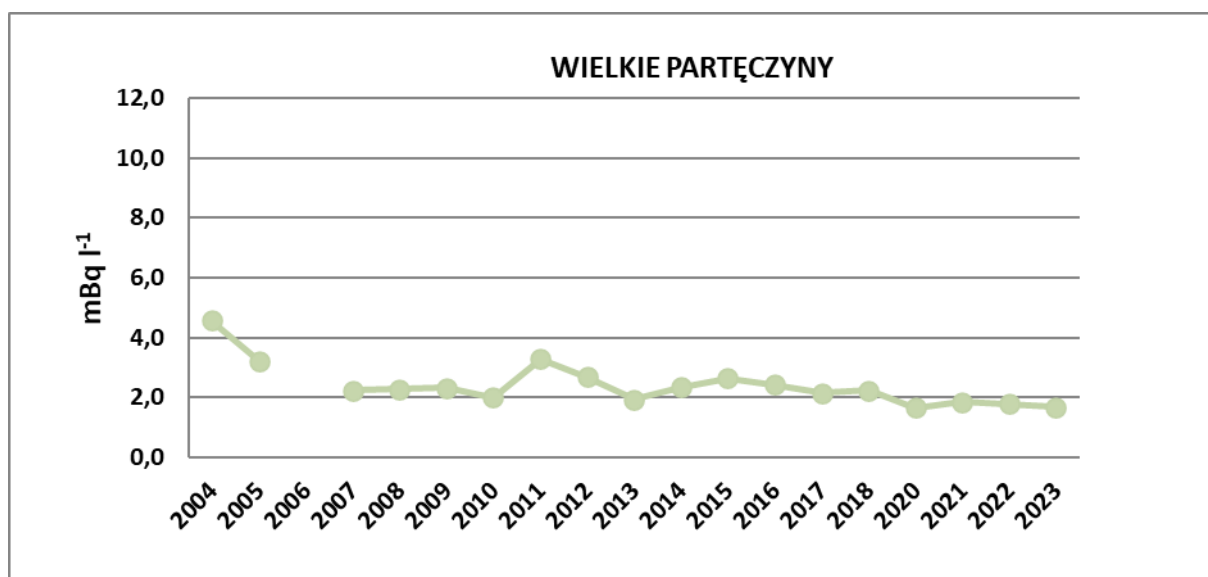
Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach Odry pobranej w Krajniku w latach 2004-2023 obrazuje Rysunek 16. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.

W tym punkcie poboru nie zanotowano znaczących zmian na przestrzeni wszystkich lat pomiarowych, a średnie roczne zawartości ^{90}Sr w wodzie są na bardzo niskim poziomie i mieszczą się w zakresie od 2,0 w roku 2020 do 4,3 mBq l⁻¹ w roku 2011.

W roku 2022 i 2023 oznaczono średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr na poziomie 2,7 mBq l⁻¹.

7.2.5. Analiza zawartości ^{90}Sr w wodzie pobranej z jeziora Wielkie Partęczyny

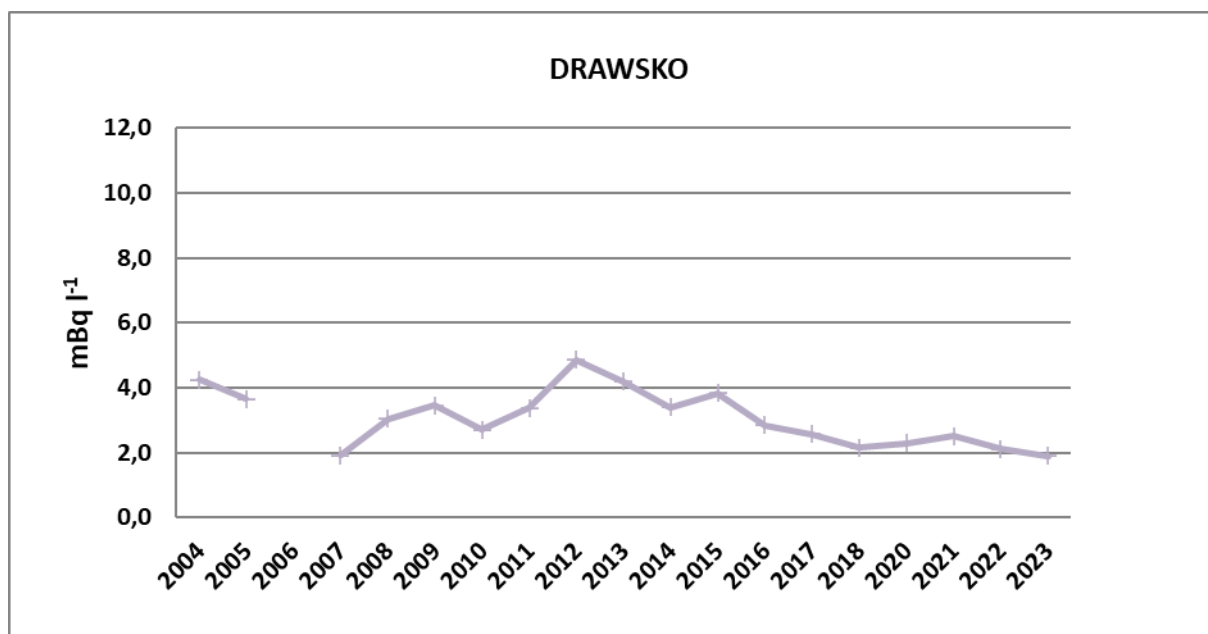
Podobnie jak dla ^{137}Cs średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach jeziora Wielkie Partęczyny w latach 2004-2023 było wyrównane (Rys. 17.). Nieznaczną rozbieżność stanowi wynik otrzymany w pierwszym roku obserwacji, wówczas wartość stężenia wyniosła – 4,56 mBq l⁻¹, pozostając jednak na niskim poziomie. Od roku 2020 obserwuje się najniższe średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr , a w bieżącym roku oznaczono je na poziomie 1,68 mBq l⁻¹.



Rys. 17. Zawartość ⁹⁰Sr w wodach jeziora Wielkie Partęczyny w latach 2004-2023

7.2.6. Analiza zawartości ⁹⁰Sr w wodzie pobranej z jeziora Drawsko

Rysunek 18 przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ⁹⁰Sr w wodach pobieranych z jeziora Drawsko w latach 2004-2023. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach obserwacji.



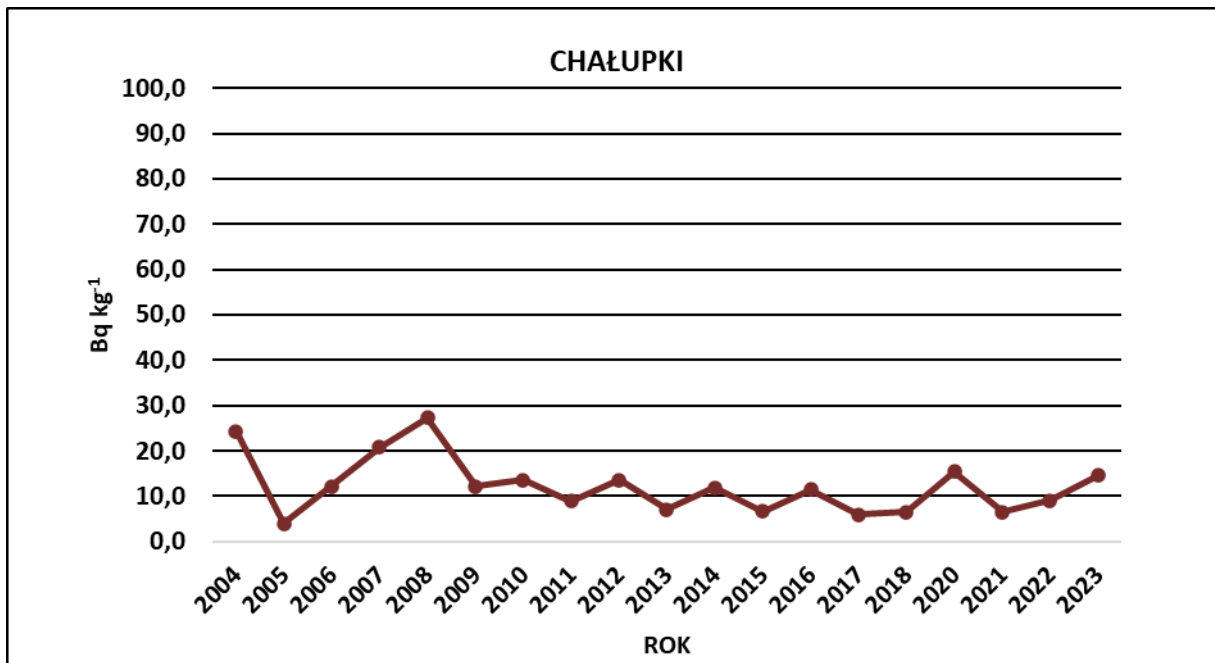
Rys. 18. Zawartość ⁹⁰Sr w wodach jeziora Drawsko w latach 2004-2023

Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w badanych wodach pobieranych z jeziora Drawsko zawierały się w granicach od $1,89 \text{ mBq l}^{-1}$ (2023 rok) do $4,85 \text{ mBq l}^{-1}$ (2012 rok). Zmiany zawartości ^{90}Sr w wodach od 2012 roku wykazują tendencję spadkową.

7.3. Analiza zawartości ^{137}Cs w osadach na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych

7.3.1. Analiza zawartości ^{137}Cs w osadzie pobranym z Odry w Chałupkach

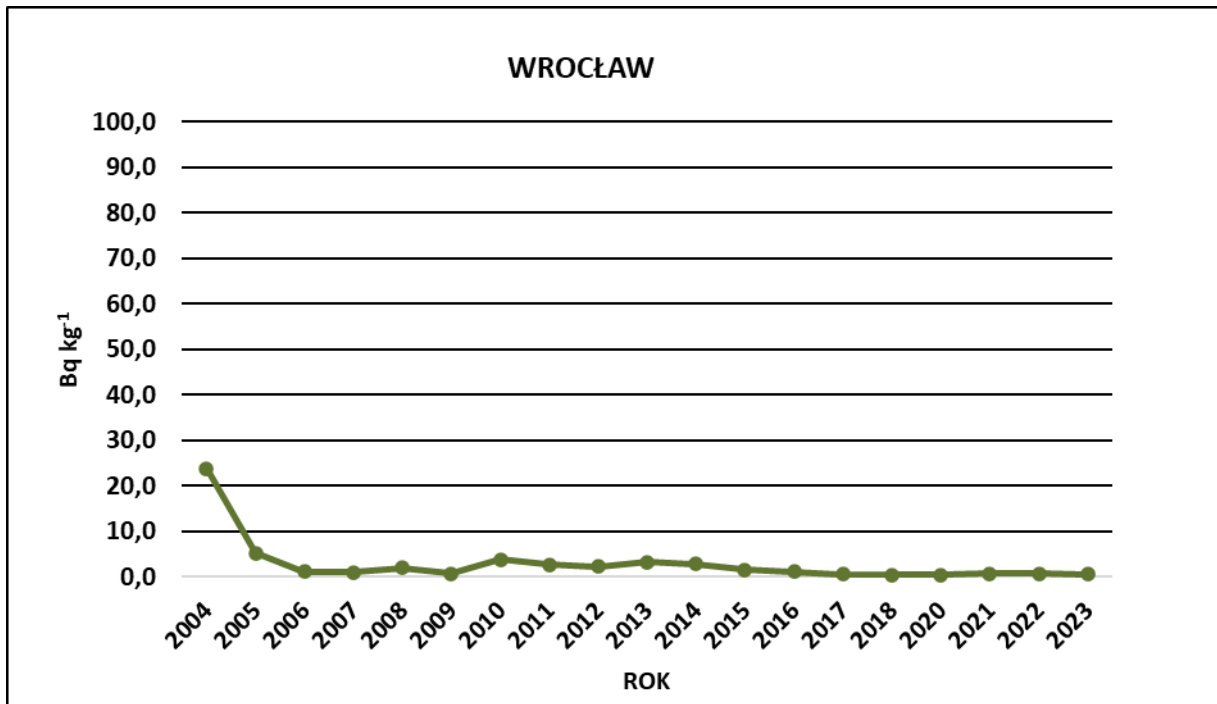
Rysunek 19. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w osadach dorzecza Odry dla punktu pomiarowego w Chałupkach w latach 2004 – 2023. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.



Rys. 19. Zawartość ^{137}Cs w osadach z Odry pobranych w Chałupkach w latach 2004-2023

W przypadku punktu poboru w Chałupkach występują zmiany zawartości izotopu ^{137}Cs w poszczególnych latach obserwacji. Szczególnie jest to widoczne w początkowych sześciu latach obserwacji. Na te fluktuacje mogła mieć wpływ zaobserwowana duża zmienność poziomu wód podczas poboru prób, zarówno pomiędzy poszczególnymi latami, jak nawet pomiędzy poborem wiosennym i jesiennym. Wyższe poziomy wód wiążą się z większym przedostawaniem się różnego rodzaju gleb do rzeki. Mogą się one charakteryzować większą w stosunku do osadu zawartością ^{137}Cs . Od 2009 roku obserwujemy mniejsze wahania zawartości izotopu ^{137}Cs . Mieszczą się one w granicach od $5,89 \text{ Bq kg}^{-1}$ w roku 2017 do $15,37 \text{ Bq kg}^{-1}$ w roku 2020. W bieżącym roku zawartość ^{137}Cs wyniosła $14,53 \text{ Bq kg}^{-1}$.

7.3.2. Analiza zawartości ^{137}Cs w osadzie pobranym z Odry we Wrocławiu



Rys. 20. Zawartość ^{137}Cs w osadach Odry pobranych we Wrocławiu w latach 2004-2023

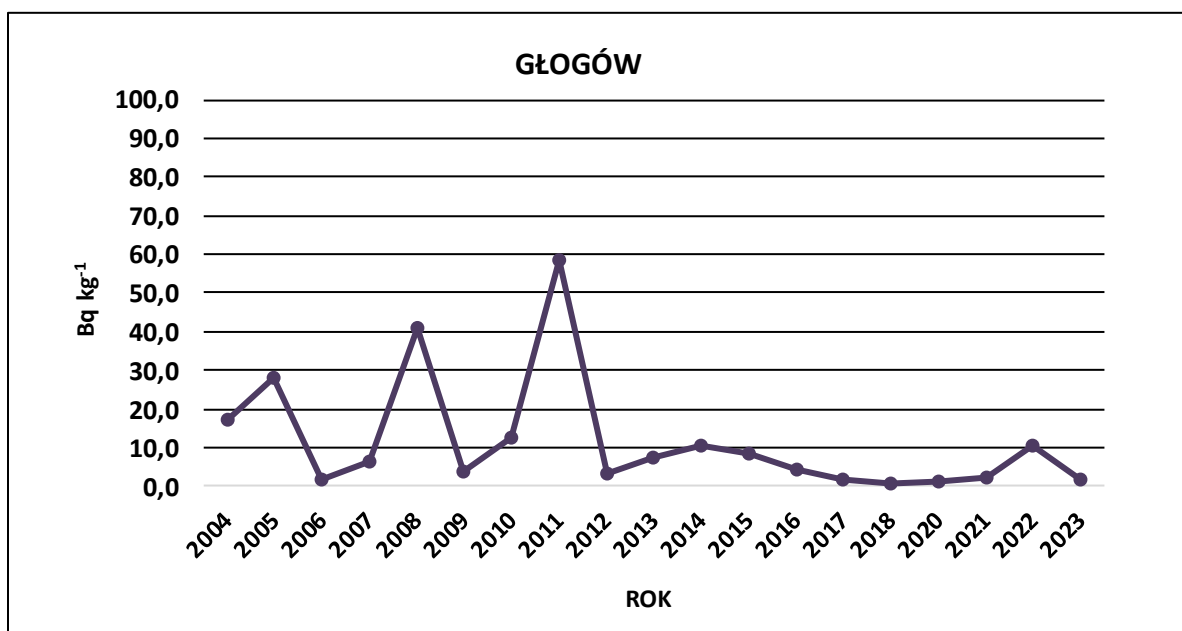
Zawartość ^{137}Cs w osadach Odry pobranych we Wrocławiu w latach 2004-2023 przedstawiona została na Rysunku 20.

W punkcie poboru we Wrocławiu, nieco wyższe wartości średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs odnotowano w pierwszych latach obserwacji: rok 2004 - 23,9 Bq kg⁻¹ i w roku 2005 - 5,3 Bq kg⁻¹. W kolejnych latach zawartość ^{137}Cs w osadach była na niskim poziomie i jednocześnie była bardzo stabilna. Minimalną wartość odnotowano w 2018 i 2020 roku - wynosiła ona 0,5 Bq kg⁻¹, zaś maksymalną w roku 2010 - 3,8 Bq kg⁻¹. W ostatnich dwóch latach (2022, 2023) odnotowano zawartość izotopu na poziomie 0,7 Bq kg⁻¹.

7.3.3. Analiza zawartości ^{137}Cs w osadzie pobranym z Odry w Głogowie

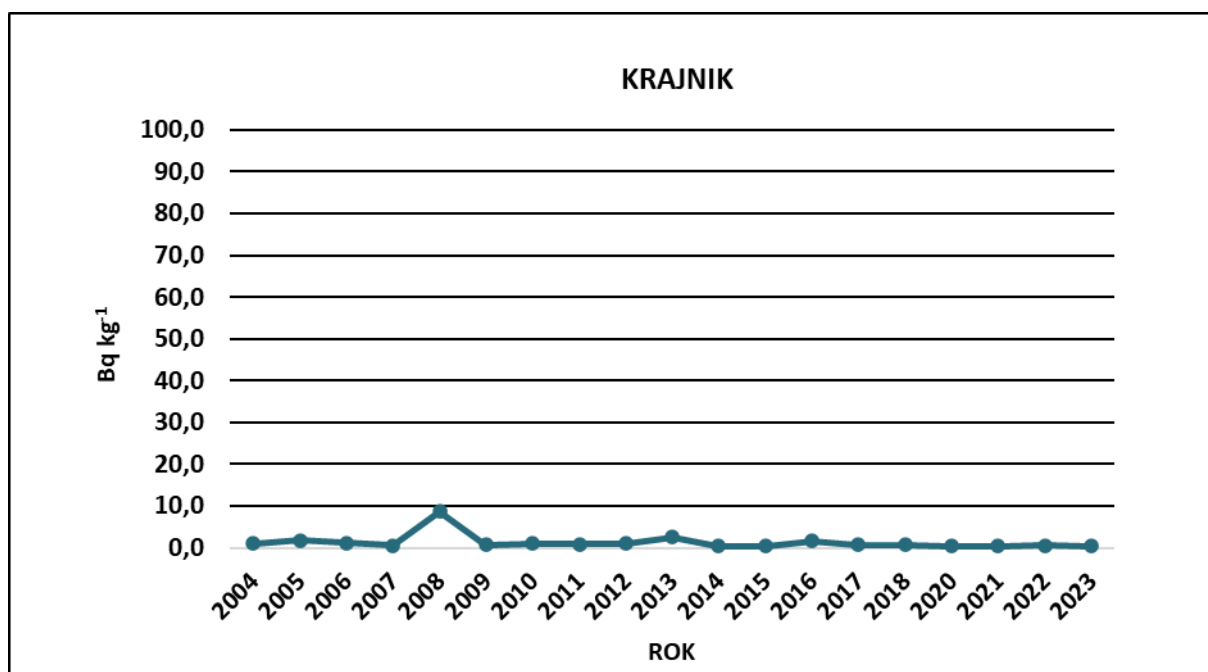
W osadach pobieranych w Głogowie, w latach 2004 -2011, występują znaczne zmiany zawartości izotopów ^{137}Cs (Rysunek 21). W tym okresie najwyższe wartości średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs odnotowano w 2011 roku (58,4 Bq kg⁻¹), a najniższe w 2006 roku (1,7 Bq kg⁻¹). Być może, w tym okresie obserwowano większą zmienność warunków atmosferycznych, zarówno pomiędzy poszczególnymi latami, jak nawet pomiędzy poborem

wiosennym i jesiennym. Od roku 2012 stężenie promieniotwórcze izotopu ^{137}Cs utrzymuje się na zbliżonym niskim poziomie i mieści się w zakresie od $0,59 \text{ Bq kg}^{-1}$ (2018) do $10,70 \text{ Bq kg}^{-1}$ (2014).



Rys. 21. Zawartość ^{137}Cs w osadach Odry pobieranych w Głogowie w latach 2004-2023

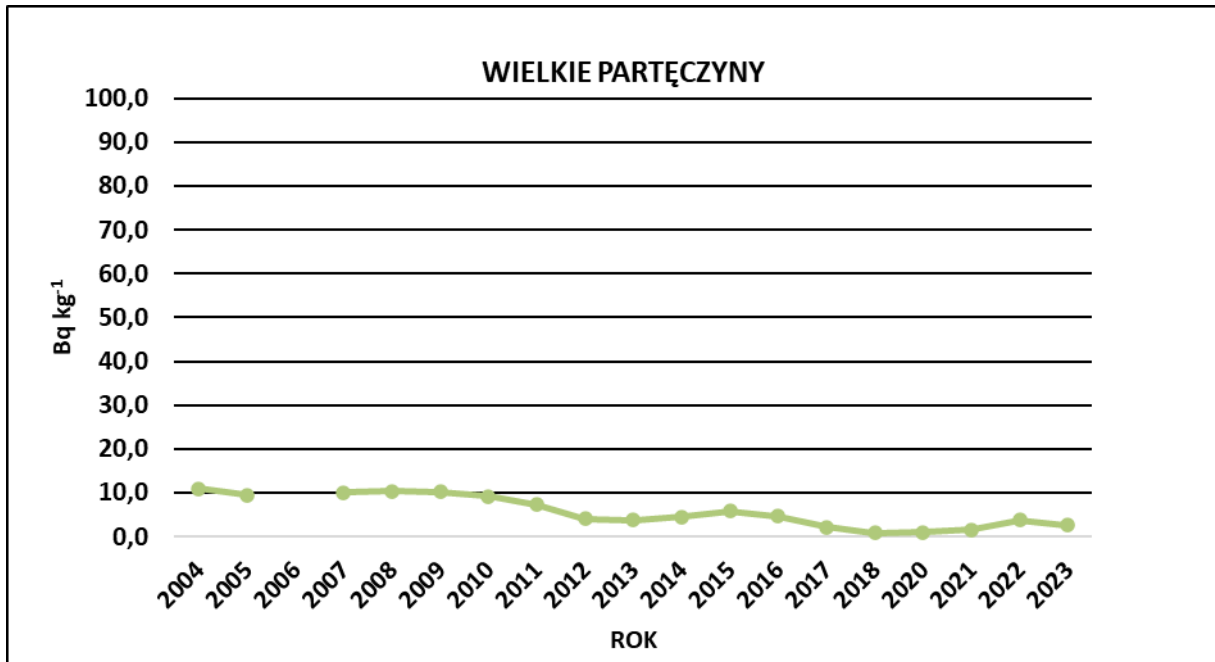
7.3.4. Analiza zawartości ^{137}Cs w osadzie pobranym z Odry w Krajniku



Rys. 22. Zawartość ^{137}Cs w osadach z Odry pobieranych w Krajniku w latach 2004-2023

Na przestrzeni wszystkich lat badań bardzo wyrównany poziom zawartości ^{137}Cs w osadach dennych obserwowano w punkcie poboru usytuowanym w Krajniku (Rysunek 22.). Zmiany mieszczą się w zakresie 8 Bq kg^{-1} . Prawdopodobnie spowodowane jest to bardziej stabilną sytuacją hydrologiczną niż w przypadku pozostałych punktów poboru.

7.3.5. Analiza zawartości ^{137}Cs w osadzie pobranym z jeziora Wielkie Partęczyny



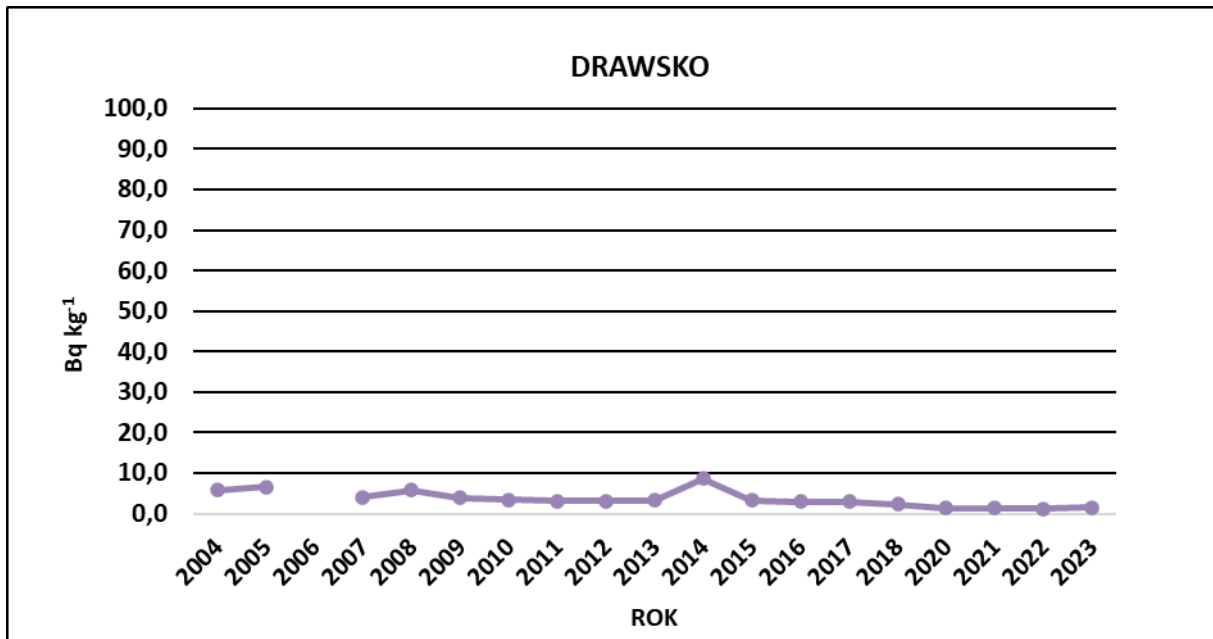
Rys. 23. Zawartość ^{137}Cs w osadach jeziora Wielkie Partęczyny pobranych w latach 2004-2023

Na Rysunku 23. pokazano przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w osadach jeziora Wielkie Partęczyny w latach 2004 – 2023. Od początku prowadzenia badań obserwujemy ogólną tendencję spadkową. Nieznaczne zmiany stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs mieszczą się w zakresie od $0,88 \text{ Bq kg}^{-1}$ w roku 2018 do $10,95 \text{ Bq kg}^{-1}$ w roku 2004. W bieżącym roku zawartość ^{137}Cs wyniosła $2,54 \text{ Bq kg}^{-1}$.

7.3.6. Analiza zawartości ^{137}Cs w osadzie pobranym z jeziora Drawsko

Na Rysunku 24. pokazano przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w osadach pobranych z jeziora Drawsko w latach 2004 – 2023. Od początku prowadzenia badań obserwujemy bardzo wyrównany poziom zawartości ^{137}Cs . Nieznacznie podwyższoną zawartość ^{137}Cs oznaczono w roku 2014, a wynosiła ona $8,70 \text{ Bq kg}^{-1}$. Mogło wówczas wystąpić czasowe naniesienie w to miejsce osadu, który łatwiej kumulował

zanieczyszczenie z wody. W ostatnich latach (2020-2023) obserwujemy niską i szczególnie wyrównaną zawartość ^{137}Cs w na poziomie ok. $1,4 \text{ Bq kg}^{-1}$.



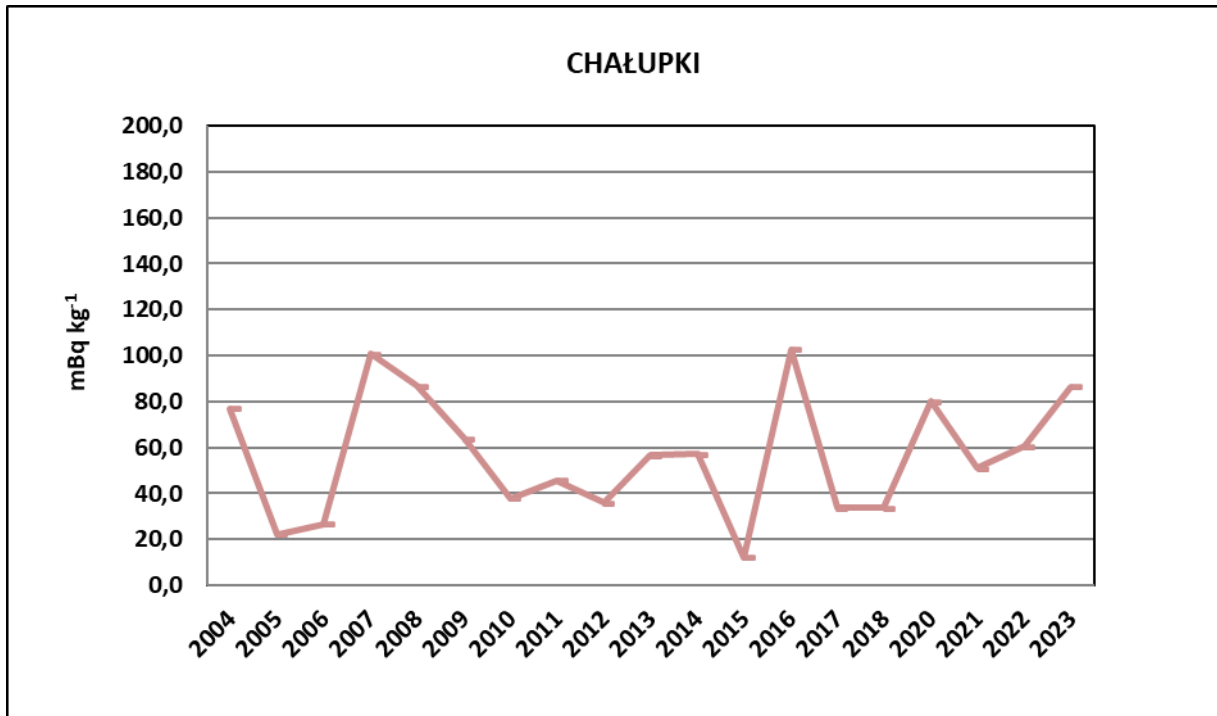
Rys. 24. Zawartość ^{137}Cs w osadach jeziora Drawsko pobranych w latach 2004-2023

7.4. Analiza zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych

7.4.1. Analiza zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadzie pobranym z Odry w Chałupkach

Rysunek 25. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach z Odry pobranych w Chałupkach w latach 2004-2023. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.

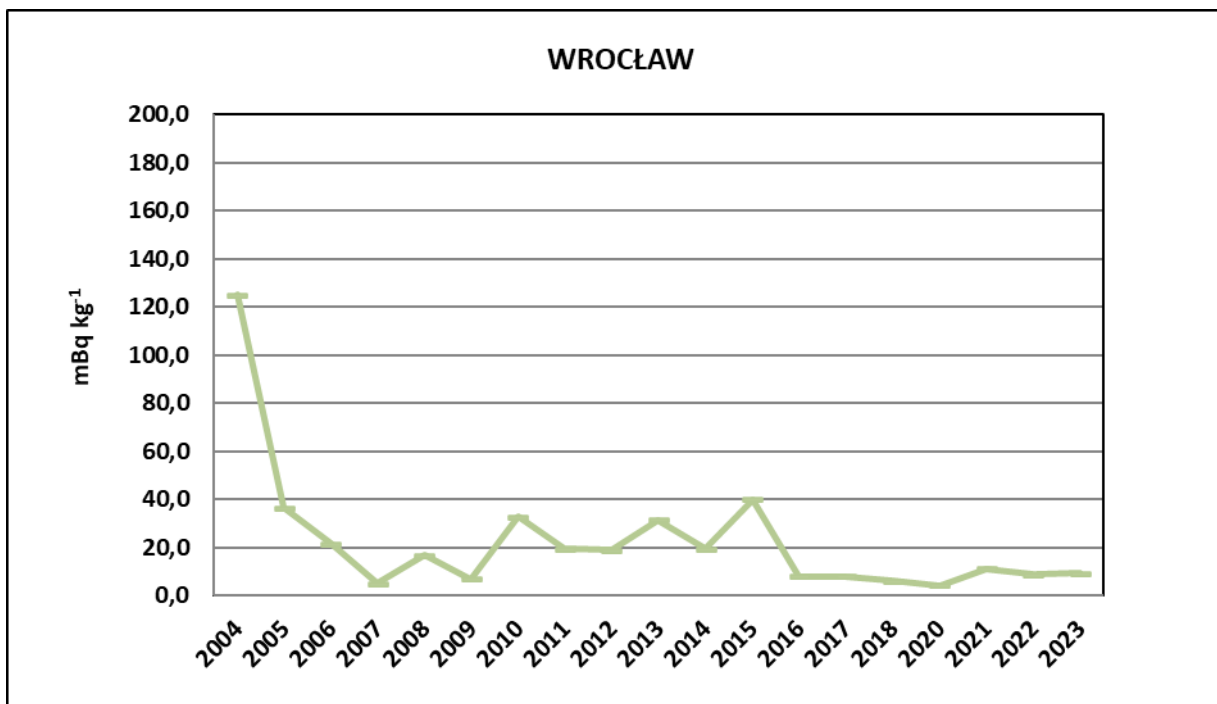
W przypadku punktu poboru w Chałupkach występują znaczne zmiany zawartości izotopów $^{239,240}\text{Pu}$ w poszczególnych latach obserwacji. Podobnie, jak w przypadku ^{137}Cs na te fluktuacje może mieć wpływ zaobserwowana dla tych punktów duża zmienność poziomów wód podczas poboru prób, zarówno pomiędzy poszczególnymi latami, jak nawet pomiędzy poborem wiosennym i jesiennym. Wyższe poziomy wód wiążą się z większym przedostawaniem się różnego rodzaju gleb do rzeki. Mogą się one charakteryzować większą zawartością izotopów $^{239,240}\text{Pu}$ w stosunku do osadu. Najwyższą zawartości izotopów $^{239,240}\text{Pu}$ w osadzie oznaczono roku 2016 i wynosiła ona $102,8 \text{ mBq kg}^{-1}$, najniższą zaś w roku 2015- $12,1 \text{ mBq kg}^{-1}$. W bieżącym roku oznaczono izotopy plutonu na poziomie $86,53 \text{ mBq kg}^{-1}$.



Rys. 25. Zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach z Odry pobranych w Chałupkach w latach 2004-2023

7.4.2. Analiza zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadzie pobranym z Odry we Wrocławiu

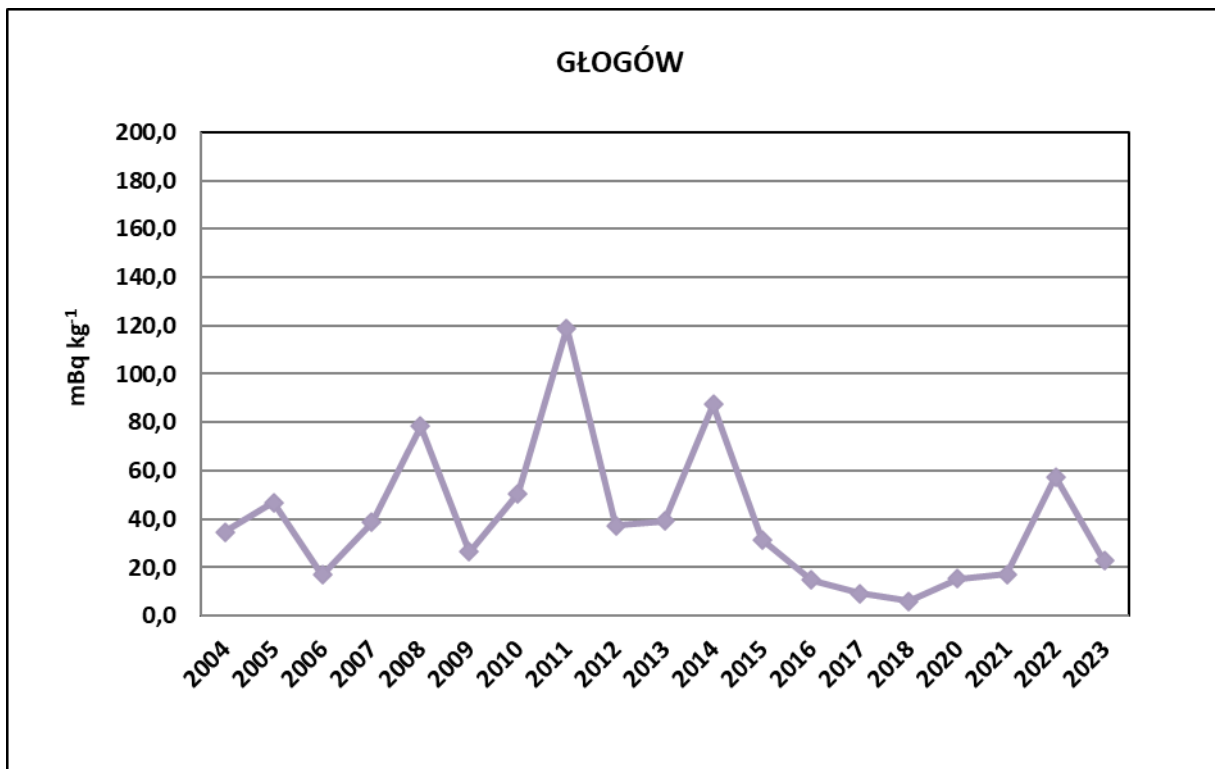
Rysunek 26. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach Odry pobranych we Wrocławiu w latach 2004-2023. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.



Rys. 26. Zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach Odry pobranych we Wrocławiu w latach 2004-2023

Z przedstawionej zależności wynika, że w przeciągu kilkunastu lat zmiany zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach miały zmienny przebieg, lecz średnie stężenie promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ było na niskim poziomie. Podwyższoną średnią zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ odnotowano jedynie w osadzie pobranym w roku 2004, która wynosiła $125,0 \text{ mBq kg}^{-1}$. Poza tym, zakres w jakim obserwowano zmiany to od $4,2$ w roku 2020 do $39,9 \text{ mBq kg}^{-1}$ w roku 2015. W bieżącym roku średnia roczna zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ wynosiła $9,28 \text{ mBq kg}^{-1}$.

7.4.3. Analiza zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadzie pobranym z Odry w Głogowie



Rys. 27. Zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach Odry pobieranych w Głogowie w latach 2004-2023

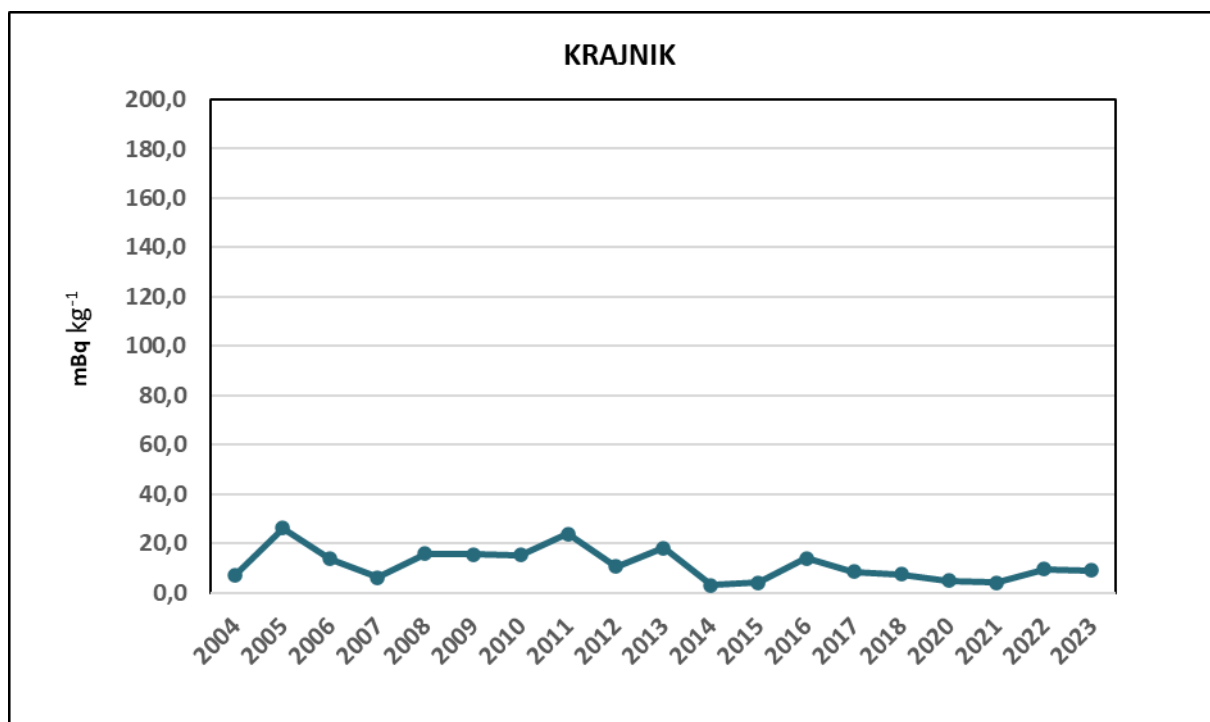
Rysunek 27. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach z Odry pobieranych w Głogowie w latach 2004-2023.

W przypadku zawartości izotopów $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych z Odry pobieranych w Głogowie obserwujemy analogiczną sytuację jak w przypadku zawartości ^{137}Cs .

Na przestrzeni lat 2004 - 2014 widzimy najbardziej zróżnicowany poziom zawartości izotopów $^{239,240}\text{Pu}$ w tym punkcie poboru. Różnice te wahają się od $16,9 \text{ mBq kg}^{-1}$ w roku 2006 do $118,9 \text{ mBq kg}^{-1}$ w roku 2011. Istnieje możliwość, że punkt poboru usytuowany jest w miejscu, w którym występuje zwiększone ryzyko przedostawania się różnego rodzaju gleb do rzeki. Mogą się one charakteryzować większą zawartością izotopu zarówno ^{137}Cs jak i izotopów $^{239,240}\text{Pu}$ w stosunku do osadu. W latach 2015 - 2021 obserwowano bardziej stabilną

sytuację. Zmiany w tym okresie mieszczą się w zakresie - ok. 25 mBq kg⁻¹. W 2022 i 2023 roku oznaczono odpowiednio izotopy plutonu na poziomie 57,57 i 22,86 mBq kg⁻¹.

7.4.4. Analiza zawartości ^{239,240}Pu w osadzie pobranym z Odry w Krajniku



Rys. 28. Zawartość ^{239,240}Pu w osadach z Odry pobieranych w Krajniku w lata 2004-2023

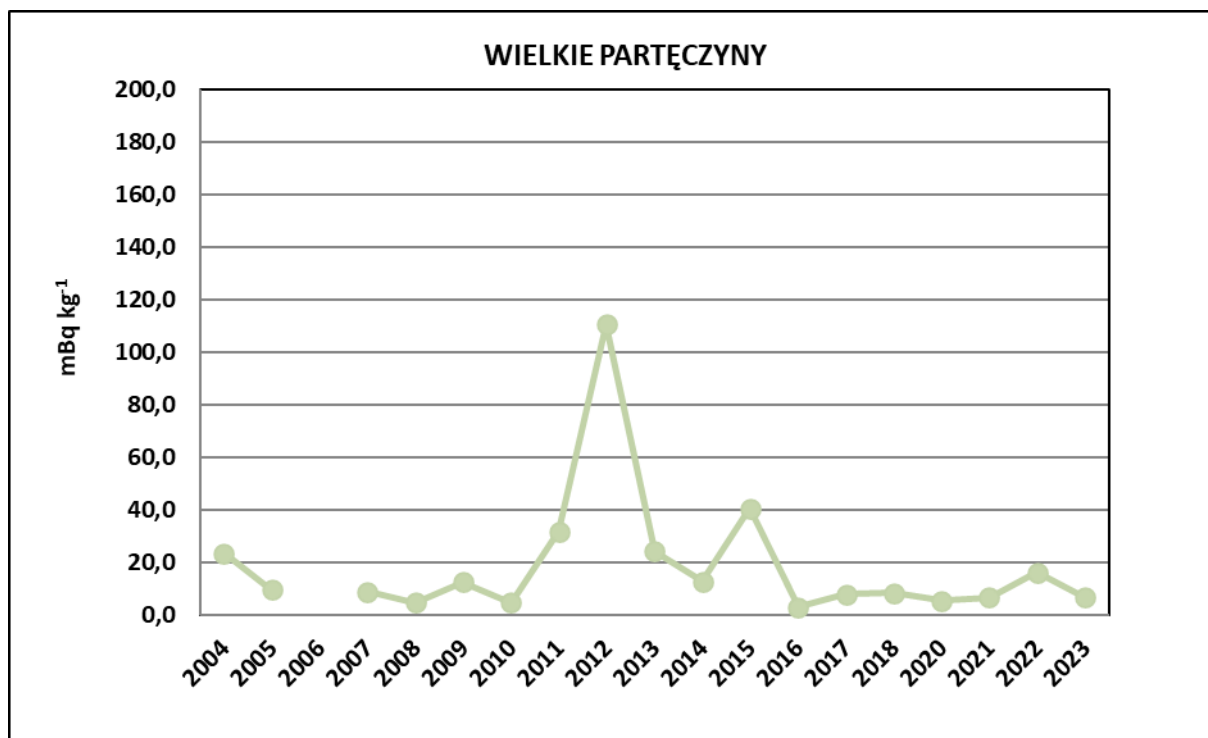
Rysunek 28. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{239,240}Pu w osadach z Odry pobieranych w Krajniku w latach 2004-2023.

Średni poziom stężenia promieniotwórczego ^{239,240}Pu w osadach pobieranych w Krajniku w latach 2004-2023 był mniej wyrównany niż dla pozostałych izotopów oznaczanych w tym punkcie. Jednocześnie był bardziej stabilny niż dla innych punktów poboru, co może potwierdzać bardziej stabilną sytuację hydrologiczną.

Występujące nieznaczne zmiany zawartości izotopów ^{239,240}Pu w osadach w poszczególnych latach obserwacji mieszczą się w granicach od 3,0 (rok 2014) do 26,1 mBq kg⁻¹ (rok 2005). Od 2016 roku obserwujemy bardziej wyrównany poziom zawartości izotopów pluton, a wartość oznaczona w tym roku wynosi 8,9 mBq kg⁻¹.

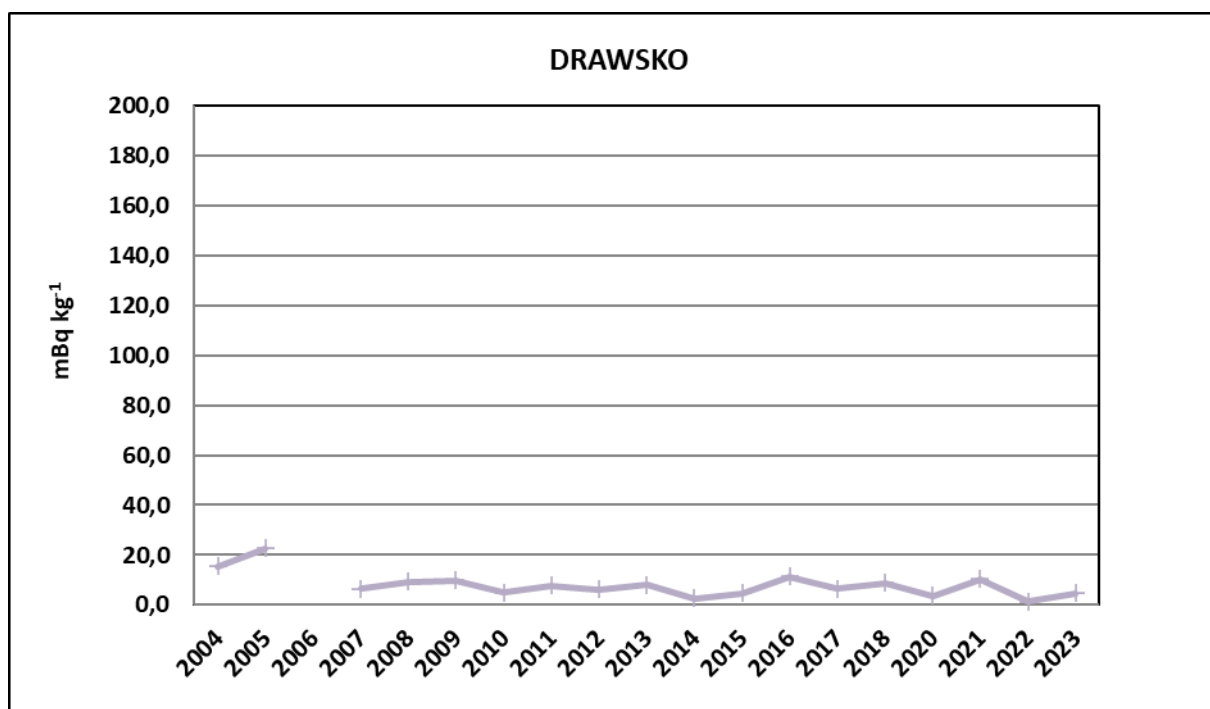
7.4.5. Analiza zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadzie pobranym z jeziora Wielkie Partęczyny

Z przedstawionej na Rysunku 29. zależności wynika, że w przeciągu trzynastu lat zmiany zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach jeziora Wielkie Partęczyny miały bardziej zmienny przebieg niż w przypadku izotopu cezu. Z przedstawionej zależności wynika, że w przeciągu pierwszych siedmiu lat zmiany zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach miały bardzo zbliżony przebieg, a średnie stężenie promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w było na niskim poziomie.



Rys. 29. Zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach z jeziora Wielkie Partęczyny pobranych w latach 2004-2023

Podwyższoną zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ odnotowano w osadzie z jeziora Wielkie Partęczyny w roku 2012, gdzie w próbce pobranej wiosną oznaczono stężenie promieniotwórcze izotopów plutonu na poziomie $179,47 \text{ mBq kg}^{-1}$. Tendencja ta nie utrzymała się, gdyż próbce jesiennej nie odnotowano już tak dużej wartości. Podobną sytuację odnotowano jeszcze raz 2015 roku, ale średnie stężenie izotopu cezu było znacznie niższe i wynosiło $40,59 \text{ mBq kg}^{-1}$. W roku 2017 zawartość badanego izotopu wyniosła $7,87 \text{ mBq kg}^{-1}$ i była nieznacznie wyższa niż rok wcześniej. Od tego czasu średnie roczne stężenie promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ utrzymuje się na zbliżonym poziomie, a w roku bieżącym wynosiło $6,59 \text{ mBq kg}^{-1}$.

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

Rys. 30. Zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach z jeziora Drawsko pobranych w latach 2004-2023

Z przedstawionej na Rysunku 30 zależności wynika, że w przeciągu wszystkich lat zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach była na niskim poziomie. Podwyższoną zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ odnotowano jedynie w pierwszych dwóch latach i wynosiła ona odpowiednio: w roku 2004 – 15,5 i w roku 2005 – 22,6 mBq kg⁻¹. W kolejnych latach stężenie izotopów $^{239,240}\text{Pu}$ przeważnie nie osiągało wartości 10 mBq kg⁻¹, a najniższą wartość oznaczono w roku 2022 – 1,41 mBq kg⁻¹. W 2023 roku zawartość izotopów plutonu wyniosła 4,63 mBq kg⁻¹.

8. PODSUMOWANIE

Monitoring skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych w 2023 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}Cs i ^{90}Sr w wodach oraz izotopów plutonu w osadach dennych oznaczano metodami radiochemicznymi, natomiast stężenie promieniotwórcze ^{137}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}Cs w wodach dorzecza Wisły i Odry wynosiły odpowiednio 2,22 i 2,57 mBq l^{-1} . Najwyższą wartość uzyskano dla jezior 3,59 mBq l^{-1} . Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior były na bardzo zbliżonym poziomie i wynosiły odpowiednio 2,62; 2,72; 2,70 mBq l^{-1} .

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

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych wynosiło odpowiednio: dla dorzecza Wisły 2,53 Bq kg^{-1} , dla dorzecza Odry 3,55 Bq kg^{-1} i dla jezior 15,00 Bq kg^{-1} .

W przypadku $^{239,240}\text{Pu}$ wartości średnich rocznych stężeń promieniotwórczych były bardziej zbliżone dla osadów dorzecza Wisły i Odry, a wyższe dla jezior i wynosiły odpowiednio: dla dorzecza Wisły – $16,30 \text{ mBq kg}^{-1}$, dla dorzecza Odry – $27,26 \text{ mBq kg}^{-1}$ i dla jezior – $82,32 \text{ mBq kg}^{-1}$.

Dla izotopu ^{238}Pu nie przeprowadzono analizy wyników tak jak dla pozostałych pierwiastków, ponieważ od kilku lat w większości przypadków zawartość ^{238}Pu w analizowanych próbkach jest mniejsza od granicy detekcji ($1,5 \text{ mBq kg}^{-1}$).

Głównym źródłem izotopów plutonu na terenie Polski był opad promieniotwórczy po próbnym wybuchach jądrowych (maksimum w latach 60-tych), gdzie stosunek izotopu ^{238}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}Cs i ^{90}Sr jest niewielkie. Podobnie stężenia promieniotwórcze ^{137}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.