Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej

MONITORING PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO REALIZOWANY W RAMACH PAŃSTWOWEGO MONITORINGU ŚRODOWISKA W LATACH 2026-2028
ZADANIE 2:
MONITORING SKAŻEŃ PROMIENIOTWÓRCZYCH WÓD POWIERZCHNIOWYCH I OSADÓW DENNYCH

ETAP I

RAPORT

Rok 2025

M. Kardaś, M. Kazimierowicz, M. Dziubałtowska, A. Fulara, E. Starościak, K. Pachocki, K. Wieprzowski, P. Lipiński

NFOŚiGW

Opracowanie wykonano na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (umowa nr GIOŚ/ZP/41/2026/DMŚ/NFOŚiGW **z dnia 13.02.2026 r.**) finansowane ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej

Zastępca Dyrektora
Centralnego Laboratorium
Ochrony Radiologicznej
mgr inż. Paweł Lipiński

CENTRALNE LABORATORIUM
OCHRONY RADIOLOGICZNEJ
ZAKŁAD HIGIENY RADIACYJNEJ
ul. Konwaliowa 7, 03-194 Warszawa
tel. (22) 811-02-51, tel/fax (22) 747-06-12

Kierownik
Zakładu Higieny Radiacyjnej CLOR
dr Małgorzata Kardaś

Kwiecień 2026

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}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 2025 były następujące:

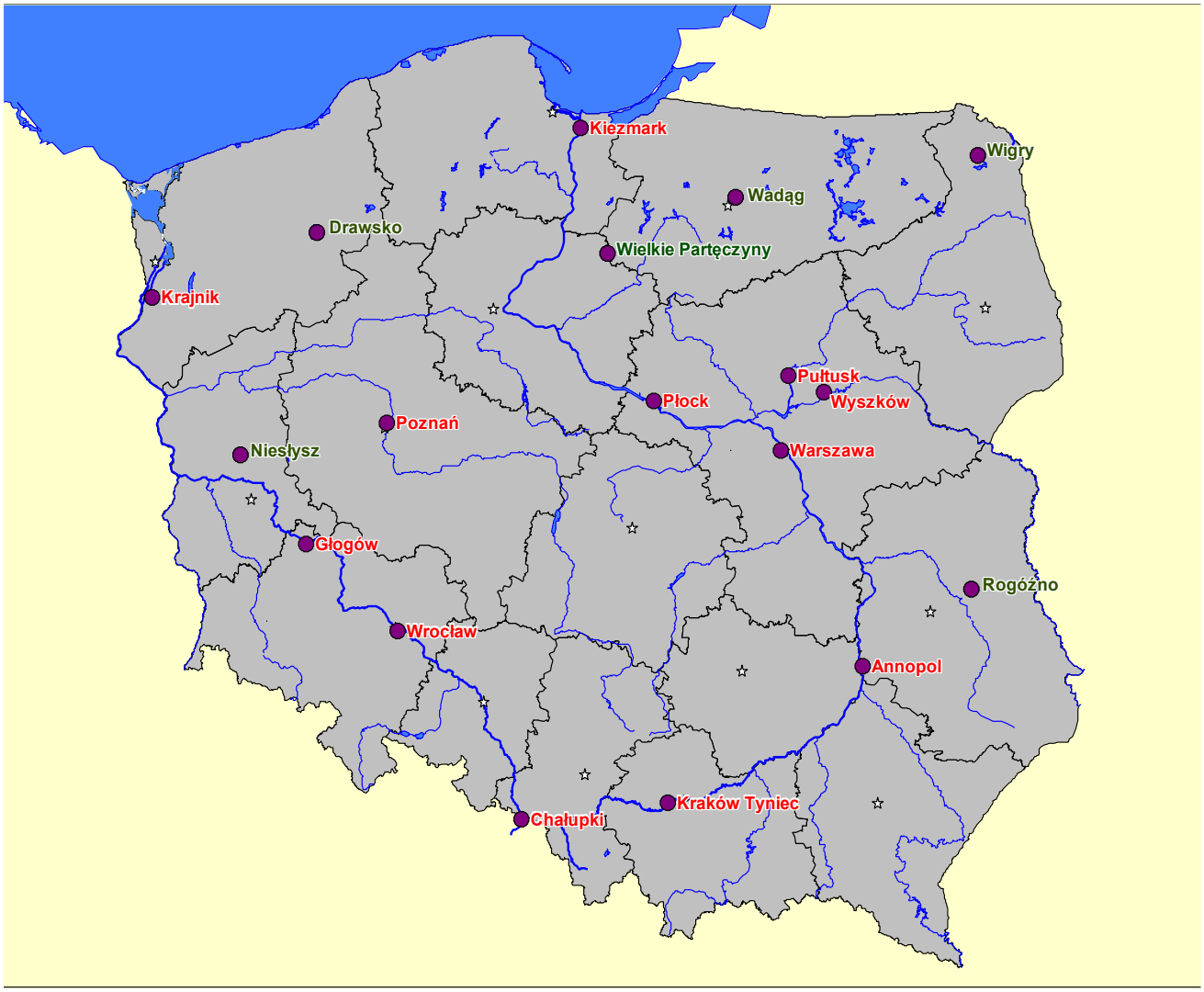
1. Termin wiosenny – od 8 maja do 5 czerwca;
2. Termin jesienny – od 11 września do 28 października.

1. SŁOWNIK STOSOWANYCH SKRÓTÓW

AMP	fosfomolibdenian amonu
Bq kg^{-1}	bekerel na kilogram
CLOR	Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej
^{137}Cs	izotop cezu 137
CWN	całkowita względna niepewność
^{o}C	stopień Celsjusza
imp/min	impulsy na minutę
keV	kiloelektronowolt
kg	kilogram
m	metr
mBq kg^{-1}	milibekerel na kilogram
mBq l^{-1}	milibekerel na litr
min	minuta
ml	mililitr
mm	milimetr
OS	odchylenie standardowe
^{238}Pu	izotop plutonu 238
^{239,240}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 2025	Data poboru próbek jesień 2025	Długość geograficzna wschodnia DMS	Szerokość geograficzna północna DMS
Drawsko, Stare Drawsko	*zachodnio-pomorskie*	22.05	14.09	16,194167	53,602222
Wadąg, Barczewko	*warmińsko-mazurskie*	08.05	27.10	20,562222	53,850556
Partęczyny, Wielkie Partęczyny	*kujawsko-pomorskie*	09.05	28.10	19,4225	53,385
Rogóźno, Rogóźno	*lubelskie*	19.05	11.09	22,972222	51,380556
Niesłysz, Niesulice	*lubuskie*	21.05	13.09	15,398333	52,215833
Wigry, Stary Folwark	*podlaskie*	08.05	27.10	23,085556	54,077222

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

Rzeka	Miejsce poboru próbek	Data poboru próbek wiosna 2025	Data poboru próbek jesień 2025	Długość geograficzna wschodnia DMS	Szerokość geograficzna północna DMS
Wisła	**Kraków Tyniec**	19.05	11.09	19,801389	50,019722
	Annopol	19.05	11.09	21,833889	50,886389
	Warszawa	05.06	23.10	21,013333	52,261944
	Płock	09.05	28.10	19,686944	52,533333
	Kiezmark	09.05	28.09	18,949167	54,255556
Narew	**Pułtusk**	08.05	15.10	21,093889	52,7
Bug	**Wyszków**	08.05	15.10	21,459167	52,59
Odra	**Chałupki**	20.05	12.09	18,328611	49,922778
	Wrocław	20.05	12.09	16,989963	51,135873
	Głogów	20.05	12.09	16,085556	51,67
	Krajnik	21.05	13.09	14,312778	53,033889
Warta	**Poznań**	22.05	15.09	16,936389	52,381944

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^{o}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}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 fosforomolibdenianu amonu (AMP) i pomiarze aktywności β preparatu. Do oznaczenia stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr stosowano metodę polegającą na oznaczeniu ^{90}Y, krótko życiowego 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 ^{90}Sr dla czasu pomiaru 120 min wynosi 0,45 mBq l^{-1}

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

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

Stosowany do pomiaru spektrometr składa się z detektora germanowego (HP Ge) znajdującego się w ołowianym domku osłonnym o grubości ścianek 10 cm i wyłożonym 2-mm warstwą miedzi. Detektor połączony jest z wielokanałowym analizatorem amplitudy impulsów MULTIPORT II MCA z oprogramowaniem spektrometrycznym GENIE-2000 firmy Canberra. Zdolność rozdzielcza detektora wynosi 1,8 keV dla ^{60}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^{-1} suchej masy osadu dennego.

Zasada metody oznaczania stężenia promieniotwórczego ^{238}Pu i $^{239,240}Pu$ polega na wydzieleniu plutonu z badanej próbki, elektrodepozycji i pomiarze aktywności metodą α-spektrometryczną. Analizę prowadzono w obecności znacznika (^{242}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}Cs I ^{90}Sr W PRÓBKACH WODY POBRANEJ W PUNKTACH BADAWCZYCH W 2025 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 2025 roku oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu.

Najwyższą wartość stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs odnotowano w próbce wody pobranej jesienią z Odry w Chałupkach – 10,16 mBq l^{-1}, najniższą w próbce wody pobranej wiosną z Warty w Poznaniu – 0,50 mBq l^{-1}.

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 2025 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	4,14 ± 0,41[a)]	2,17 ± 0,21[a)]	3,16 ± 1,39 [b)]
2.	**Wisła** Annopol	2,90 ± 0,31	3,38 ± 0,34	3,14 ± 0,34
3.	**Wisła** Warszawa	3,07 ± 0,32	2,14 ± 0,24	2,61 ± 0,66
4.	**Wisła** Płock	3,05 ± 0,37	2,12 ± 0,15	2,59 ± 0,66
5.	**Wisła** Kiezmark	3,05 ± 0,32	1,61 ± 0,16	2,33 ± 1,02
6.	**Narew** Pułtusk	6,47 ± 0,61	2,00 ± 0,19	4,24 ± 3,16
7.	**Bug** Wyszków	9,63 ± 0,70	2,80 ± 0,29	6,22 ± 4,83
DORZECZE ODRY				
8.	**Odra** Chałupki	2,57 ± 0,27	10,16 ± 0,93	6,37 ± 5,37
9.	**Odra** Wrocław	2,02 ± 0,22	4,30 ± 0,35	3,16 ± 1,61
10.	**Odra** Głogów	1,35 ± 0,16	2,79 ± 0,34	2,07 ± 1,02
11.	**Odra** Krajnik	2,28 ± 0,25	3,17 ± 0,38	2,73 ± 0,63
12.	**Warta** Poznań	0,50 ± 0,07	2,21 ± 0,24	1,36 ± 1,21

[a)]Wartość ± CWN przy poziomie ufności 95%
[b)] Wartość średnia ± Odchylenie Standardowe (OS)

Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach rzek mieściły się w granicach od 1,36 mBq l^{-1} w Warcie (Poznań) do 6,37 mBq l^{-1} w Odrze (Chałupki). Zakres średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs dla dorzecza Odry mieścił się w przedziale od 1,36 (Warta, Poznań) do 6,37 mBq l^{-1} (Odra, Chałupki), a dla dorzecza Wisły od 2,33 (Wisła, Kiezmark) do 6,22 mBq l^{-1} (Bug, Wyszków).

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 2025 roku.

Tabela 4. Stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły i Odry w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2025 r.

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	2,42 ± 0,30 [a)]	3,20 ± 0,36	2,81 ± 0,55 [b)]
2.	**Wisła** Annopol	1,83 ± 0,19	4,29 ± 0,33	3,06 ± 1,74
3.	**Wisła** Warszawa	2,79 ± 0,32	3,11 ± 0,28	2,95 ± 0,23
4.	**Wisła** Płock	1,83 ± 0,23	3,76 ± 0,31	2,80 ± 1,36
5.	**Wisła** Kiezmark	2,17 ± 0,25	6,62 ± 0,71	4,40 ± 3,15
6.	**Narew** Pułtusk	2,44 ± 0,26	3,28 ± 0,35	2,86 ± 0,59
7.	**Bug** Wyszków	6,39 ± 0,60	3,11 ± 0,31	4,75 ± 2,32
DORZECZE ODRY				
8.	**Odra** Chałupki	2,32 ± 0,29	7,62 ± 0,78	4,97 ± 3,75
9.	**Odra** Wrocław	2,47 ± 0,31	4,10 ± 0,36	3,29 ± 1,15
10.	**Odra** Głogów	3,11 ± 0,38	4,05 ± 0,34	3,58 ± 0,66
11.	**Odra** Krajnik	2,07 ± 0,22	2,64 ± 0,28	2,36 ± 0,40
12.	**Warta** Poznań	2,12 ± 0,22	3,64 ± 0,31	2,88 ± 1,07

[a)] Wartość ± CWN przy poziomie ufności 95%
[b)] Wartość średnia ± Odchylenie Standardowe (OS)

Najwyższą wartość stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr odnotowano w próbce wody pobranej jesienią z Odry w Chałupkach – 7,62 mBq l^{-1}, najniższą w próbkach wody wiślanej pobranych wiosną w Annopolu i Płocku – 1,83 mBq l^{-1}.

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach badanych rzek mieściło się w zakresie się od 2,36 mBq l^{-1} w wodzie z Odry (Krajnik) do 4,97 mBq l^{-1} w wodzie pobranej z Odry w Chałupkach. Zakres średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr wynosi odpowiednio: dla dorzecza Wisły od 2,80 do 4,75 mBq l^{-1}, a dla dorzecza Odry od 2,36 do 4,97 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 2025 roku oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu. Stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs oznaczone w wodach jezior mieściły się w granicach od 1,39 mBq l^{-1} jesienią w jeziorze Wadąg do 4,54 mBq l^{-1} w jeziorze Wigry wiosną. Zakres średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs wynosił od 1,67 mBq l^{-1} w jeziorze Drawsko do 3,81 mBq l^{-1} w jeziorze Wigry.

Tabela 5. Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2025 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	4,54 ± 0,44[a)]	3,07 ± 0,32[a)]	3,81 ± 1,04[b)]
2	**Wadąg** Barczewko	2,02 ± 0,22	1,39 ± 0,12	1,71 ± 0,45
3	**Wielkie Partęczyny** Partęczyny	3,32 ± 0,39	3,29 ± 0,34	3,31 ± 0,02
4	**Drawsko** Stare Drawsko	1,76 ± 0,18	1,57± 0,18	1,67 ± 0,13
5	**Niesłysz** Niesulice	2,08 ± 0,22	2,23 ± 0,24	2,16 ± 0,11
6	**Rogóźno** Rogóźno	3,05 ± 0,27	3,59 ± 0,36	3,32 ± 0,38

[a)] Wartość ± CWN przy poziomie ufności 95%.
[b)] Wartość średnia ± Odchylenie Standardowe (OS)

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

Stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach z poszczególnych miejsc poboru w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym 2025 roku oraz jego roczne stężenie promieniotwórcze przedstawia Tabela 6.

Tabela 6. Stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2025 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	2,11 ± 0,26[a)]	6,38 ± 0,53[a)]	4,25 ± 3,02[b)]
2	**Wadąg** Barczewko	2,15 ± 0,22	2,39 ± 0,28	2,27 ± 0,17
3	**Wielkie Partęcz.** Partęczyny	2,83 ± 0,34	4,87 ± 0,51	3,85 ± 1,44
4	**Drawsko** Stare Drawsko	1,76 ± 0,22	3,26 ± 0,26	2,51 ± 1,06
5	**Niesłysz** Niesulice	1,78 ± 0,19	2,69 ± 0,30	2,24 ± 0,83
6	**Rogóźno** Rogóźno	6,50 ± 0,75	10,31 ± 1,03	8,41 ± 2,69

[a)]Wartość ± CWN przy poziomie ufności 95%.
[b)] Wartość średnia ± Odchylenie Standardowe (OS)

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach badanych jezior wahało się od 2,24 mBq l^{-1} w wodzie z jeziora Niesłysz do 8,41 mBq l^{-1} w wodzie pobranej z Rogóźna. Najwyższą wartość stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr odnotowano w próbce wody pobranej wiosną z jeziora Rogóźno – 10,31 mBq l^{-1}, najniższą zaś w próbce wody pobranej jesienią z jeziora Drawsko – 1,76 mBq l^{-1}. Niezmiennie od wielu lat najwyższe wartości stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr notuje się w próbkach wody z jeziora Rogóźno. W roku 2025 także oznaczono najwyższe wartości stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr, zarówno w próbce pobranej wiosną jak i jesienią.

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.

Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach dorzeczy Wisły oraz Odry i jezior wynosiły odpowiednio: 3,47; 3,14; 2,66 mBq l^{-1}.

Najniższe średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs oznaczono w wodach dorzecza Odry w okresie wiosennym i wynosiło ono 1,74 mBq l^{-1}, najwyższe wiosną w wodach dorzecza Wisły – 4,62 mBq l^{-1}.

Najmniejsze różnice w stężeniach promieniotwórczych ^{137}Cs odnotowano dla wód jeziornych (1,39–4,54 mBq l^{-1}), największe dla wód dorzcza Odry (0,50–10,16 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 2025 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)]	4,62 ± 2,55[b)]	2,32 ± 0,59[b)]	3,47 ± 2,14[b)] (14)	1,61 – 9,63
Dorzecze Odry (5)	1,74 ± 0,83	4,53 ± 3,24	3,14 ± 2,67 (10)	0,50 – 10,16
Jeziora (6)	2,80 ± 1,06	2,52 ± 0,93	2,66 ± 0,96 (12)	1,39 – 4,54
Średnia ogólna (18)	3,21 ± 2,07	3,00 ± 1,95	3,11 ± 1,99 (36)	0,50 – 10,16

[a)] Liczba próbek wody
[b)] Wartość średnia ± 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 2025 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)]	2,84 ± 1,60[b)]	3,91 ± 1,27[b)]	3,37 ± 1,50[b)] (14)	1,83 – 6,62
Dorzecze Odry (5)	2,42 ± 0,42	4,41 ± 1,89	3,41 ± 1,66 (10)	2,07 – 7,62
Jeziora (6)	2,86 ± 1,83	4,98 ± 3,01	3,92 ± 2,62 (12)	1,76 – 10,31
Średnia ogólna (18)	2,73 ± 1,40	4,41 ± 2,07	3,57 ± 1,94 (36)	1,76 – 10,31

[a)] Liczba próbek wody
[b)] Wartość średnia ± OS

Najniższe średnie stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr oznaczono w wodach dorzecza Odry w okresie wiosennym i wynosiło ono 2,42 mBq l^{-1}, najwyższe jesienią w wodach jeziornych – 4,98 mBq l^{-1}.

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w dorzeczu Wisły i Odry było na bardzo zbliżonym poziomie i wynosiło odpowiednio 3,37 mBq l^{-1} i 3,41 mBq l^{-1}. Dla jezior średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr było nieznacznie wyższe i wynosiło 3,92 mBq l^{-1} (Tabela 8.) Najmniejsze różnice w stężeniach ^{90}Sr (zakres 1,83 – 6,62 mBq l^{-1}) odnotowano dla wód dorzecza Wisły, największe dla wód jeziornych (zakres 1,76 – 10,31 mBq l^{-1}).

4.7. Analiza zależności pomiędzy zawartościami ^{137}Cs i ^{90}Sr w próbkach badanych w 2025 roku

Tabela 9. przedstawia średnie roczne wartości stosunku stężenia ^{90}Sr do ^{137}Cs w wodach dorzecza Wisły, dorzecza Odry i jezior w 2025 roku.

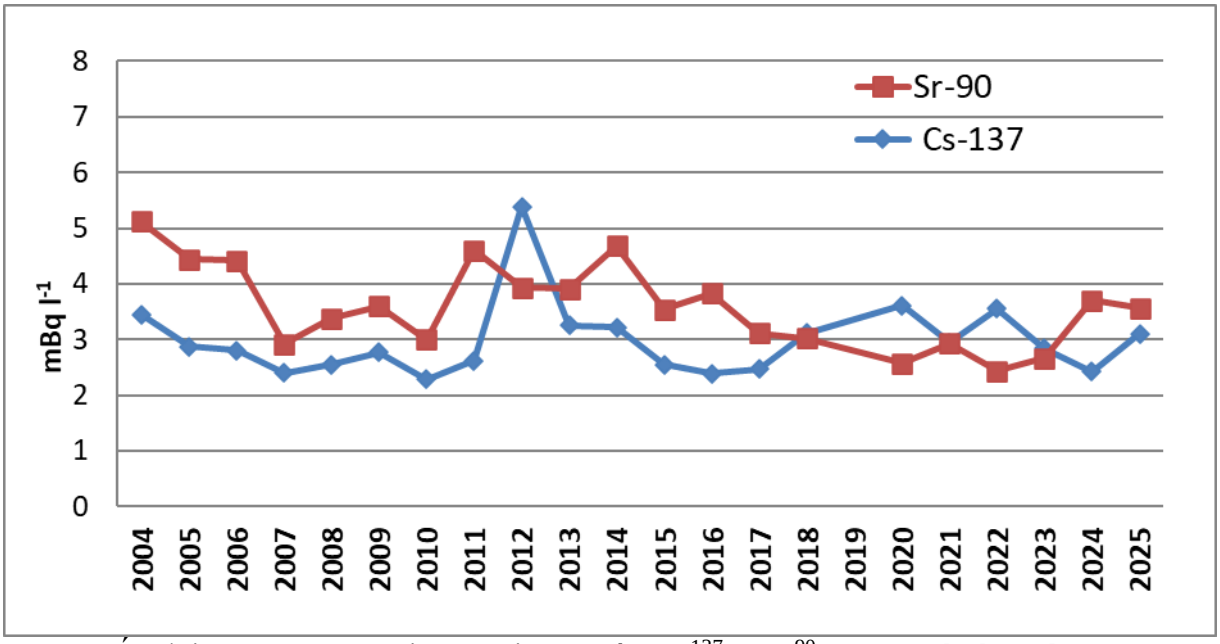
Stosunek średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr do ^{137}Cs w próbkach wody pobranej z rzek mieścił się w zakresie 0,68-2,13. W próbkach wody pobranej z jezior stosunek średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr do ^{137}Cs mieścił się w zakresie 1,04-2,53.

Tabela 9. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior oraz stosunek średnich rocznych stężeń w 2025 r.

Lokalizacja poboru próbek	^{137}Cs mBq l^{-1} średnia roczna	^{90}Sr mBq l^{-1} średnia roczna	$\frac{^{90}Sr}{^{137}Cs}$
Dorzecze Wisły (7)[a)]	3,47 ± 2,14[b)] (14)	3,37 ± 1,50[b)] (14)	0,97
Dorzecze Odry (5)	3,14 ± 2,67 (10)	3,41 ± 1,66 (10)	1,09
Jeziora (6)	2,66 ± 0,96 (12)	3,92 ± 2,61 (12)	1,47
Średnia ogólna (18)	3,11 ± 1,99 (36)	3,57 ± 1,94 (36)	1,15

[a)] Liczba próbek wody
[b)] Wartość średnia ± 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 – 2025. 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. Wyjątkiem był rok 2012, 2018, 2020, 2021, 2022 i 2023. 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 pięciu latach.



Rys. 2. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach rzek i jezior w Polsce w latach 2004 – 2025

5. ANALIZA WYNIKÓW OZNACZEŃ STĘŻEŃ ^{137}Cs, ^{238}Pu I ^{239,240}Pu W ODSADACH DENNYCH POBRANYCH W PUNKTACH BADAWCZYCH W 2025 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 2025 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	3,11 ± 0,24[a)]	2,32 ± 0,14[a)]	2,72 ± 0,56 [b)]
2.	**Wisła** Annopol	5,45 ± 0,38	0,17 ± 0,04	2,81 ± 3,73
3.	**Wisła** Warszawa	2,51 ± 0,19	0,84 ± 0,04	1,68 ± 1,18
4.	**Wisła** Płock	< 0,2	0,25 ± 0,02	0,18 ± 0,11
5.	**Wisła** Kiezmark	0,51 ± 0,05	0,39 ± 0,06	0,45 ± 0,08
6.	**Narew** Pułtusk	2,02 ± 0,14	1,97 ± 0,12	2,00 ± 0,04
7.	**Bug** Wyszków	1,75 ± 0,13	0,32 ± 0,05	1,04 ± 1,01
DORZECZE ODRY				
8.	**Odra** Chałupki	8,72 ± 0,58	6,79 ± 0,23	7,76 ± 1,36
9.	**Odra** Wrocław	0,25 ± 0,04	0,24 ± 0,02	0,25 ± 0,01
10.	**Odra** Głogów	0,43 ± 0,05	0,69 ± 0,03	0,56 ± 0,18
11.	**Odra** Krajnik	0,50 ± 0,07	0,66 ± 0,03	0,58 ± 0,11
12.	**Warta** Poznań	0,32 ± 0,04	0,47 ± 0,02	0,40± 0,11

[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 Odry we Wrocławiu i z Wisły w Płocku i wynosiły

odpowiednio 0,25 i 0,24 Bq kg^{-1} i <0,2 i 0,25 Bq kg^{-1}. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze tego izotopu zawierały się w granicach od 0,18 Bq kg^{-1}do 7,76 Bq kg^{-1} i odnosiły się odpowiednio do osadów pobranych na Wiśle w Płocku i na Odrze w Chałupkach. Dotychczas zawartości ^{137}Cs otrzymywane dla większości punktów wiosną były wyższe niż jesienią. Tendencja ta również jest obserwowana w tym roku.

Najwyższe stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs było oznaczone wiosną w osadzie pobranym z Odry w Chałupkach (8,72 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 ^{238}Pu 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.

W dwóch osadach pobranych wiosną (Narew, Pułtusk i Warta, Poznań) i jednym jesienią (Odra, Wrocław) zawartość izotopów plutonu była poniżej granicy oznaczalności. W pozostałych lokalizacjach najniższe stężenia promieniotwórcze $^{239,240}Pu$ były oznaczone jesienią w osadzie pobranym z Wisły w Kiezmarku (1,84 mBq kg^{-1}). Najwyższe w osadzie z Odry pobranym zarówno jesienią w Chałupkach (62,20 mBq kg^{-1}). Wartości średnich rocznych stężeń promieniotwórczych $^{239,240}Pu$ w osadach dennych zawierają się w granicach od 1,92 mBq kg^{-1} w osadzie z Narwi (Pułtusk) do 52,65 mBq kg^{-1} w osadzie z Odry (Chałupki).

Stężenie promieniotwórcze ^{238}Pu 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 ^{238}Pu został oznaczony w 2 z pośród 24 pobranych próbek osadów. Jeden osad był pobrany wiosną z Odry w Głogowie, a stężenie ^{238}Pu wynosiło 2,12 ± 1,02 mBq kg^{-1}. Drugi był pobrany jesienią z Bugu w Wyszkowie, a stężenie ^{238}Pu oznaczono na poziomie 3,08 ± 1,34 mBq kg^{-1} .

Tabela 11. Stężenie promieniotwórcze ^{239,240}Pu w osadach dorzecza Wisły i Odry w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2025 r.

Lp.	Miejsce poboru próbki	^{239,240}Pu wiosna mBq kg^{-1}	^{239,240}Pu jesień mBq kg^{-1}	^{239,240}Pu średnia roczna mBq kg^{-1}
DORZECZE WISŁY				
1.	**Wisła** Kraków Tyniec	18,82 ± 2,16[b)]	17,99 ± 2,24[b)]	18,41 ± 0,59[b)]
2.	**Wisła** Annopol	39,70 ± 2,61	5,36 ± 1,86	22,53 ± 24,27
3.	**Wisła** Warszawa	23,06 ± 2,65	7,82 ± 1,67	15,44 ± 10,78
4.	**Wisła** Płock	7,54 ± 1,94	2,24 ± 1,37	4,89 ± 3,75
5.	**Wisła** Kiezmark	2,63 ± 1,01	1,84 ± 1,13	2,24 ± 0,56
6.	**Narew** Pułtusk	<1,5	3,83 ± 1,52	2,42 ± 2,00
7.	**Bug** Wyszków	14,14 ± 2,04	2,90 ± 1,37	8,52 ± 7,95
DORZECZE ODRY				
8.	**Odra** Chałupki	43,09 ± 3,24	62,20 ± 4,00	52,65 ± 13,51
9.	**Odra** Wrocław	6,00 ± 1,88	<1,5	3,50 ± 3,54
10.	**Odra** Głogów	7,10 ± 1,77	2,35 ± 1,11	4,73 ± 3,36
11.	**Odra** Krajnik	3,94 ± 1,13	5,04 ± 1,44	4,49 ± 0,98
12.	**Warta** Poznań	<1,5	6,82 ± 2,25	3,91 ± 4,12

[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 1,18 Bq kg^{-1} w osadzie pobranym jesienią z jeziora Wadąg do 47,03 Bq kg^{-1} w osadzie pobranym również jesienią z jeziora Rogóźno. Najniższe średnie roczne stężenie ^{137}Cs (1,35 Bq kg^{-1}) było oznaczone w osadach z jeziora Wadąg, a najwyższe (30,35 Bq kg^{-1}) w osadach z jeziora Rogóźno.

Z wieloletnich obserwacji wynika, że dla jeziora Rogóźno charakterystyczne są większe wartości stężenia promieniotwórczgo ^{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 2025 r.

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	1,88 ± 0,14[a)]	2,64 ± 0,06[a)]	2,26 ± 0,54[b)]
2.	**Wadąg** Barczewko	1,51 ± 0,11	1,18 ± 0,07	1,35 ± 0,23
3.	**Wielkie Partęczyny** Partęczyny	3,33 ± 0,22	2,15 ± 0,08	2,74 ± 0,83
4.	**Drawsko** Stare Drawsko	1,51 ± 0,12	1,59 ± 0,07	1,55 ± 0,06
5.	**Niesłysz** Niesulice	4,61 ± 0,30	4,87 ± 0,06	4,74 ± 0,18
6.	**Rogóźno** Rogóźno	13,66 ± 0,85	47,03 ± 0,46	30,35 ± 23,60

[a)] Wartość ± CWN przy poziomie ufności 95%. [b)] Wartość średnia ± Odchylenie Standardowe (OS)

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

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

Najniższe stężenie ^{239,240}Pu (2,02 mBq kg^{-1}) było oznaczone wiosną w osadzie pobranym z jeziora Drawsko, a największe 362,53 mBq kg^{-1} w osadzie jesiennym z jeziora Rogóźno.

Średnie roczne stężenie izotopów ^{239,240}Pu w osadach dennych zawiera się w granicach od 2,82 mBq kg^{-1} w jeziorze Wigry do 232,21 mBq kg^{-1} w jeziorze Rogóźno.

Tabela 13. Stężenie promieniotwórcze ^{239,240}Pu w osadach w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2025 r.

Lp.	Miejsce poboru próbki	^{239,240}Pu wiosna mBq kg^{-1}	^{239,240}Pu jesień mBq kg^{-1}	^{239,240}Pu średnia roczna mBq kg^{-1}
1.	**Wigry** Stary Folwark	5,63 ± 1,85[b)]	<1,5	3,32 ± 3,27[b)]
2.	**Wadąg** Barczewko	6,83 ± 1,76	6,36 ± 1,82 [b)]	6,60 ± 0,33
3.	**Wielkie Parteczyny** Partęczyny	5,64 ± 1,69	<1,5	3,32 ± 3,28
4.	**Drawsko** Stare Drawsko	2,02 ± 1,07	8,12 ± 2,03	5,07 ± 4,31
5.	**Niesłysz** Niesulice	2,76 ± 1,46	8,25 ± 1,90	5,51 ± 3,88
6.	**Rogóźno** Rogóźno	101,88 ± 5,67	362,53 ± 12,61	232,21 ± 184,31

[a)]Wartość ± CWN przy poziomie ufności 68% [b)] Wartość średnia ± OS

Stężenie ^{238}Pu w osadach dennych było oznaczone w 1 spośród 12 próbek, a była ona pobrana jesienią z jeziora Rogóźno 3,01 ± 0,99 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 bardziej zróżnicowane niż w ubiegłym roku i wynosiło odpowiednio 1,55; 1,91 i 7,16 Bq kg^{-1}. Największe różnice w stężeniach ^{137}Cs obserwowano dla osadów pobieranych z jezior - od 1,18 do 47,03 Bq kg^{-1}.

Średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w 2025 roku było najniższe jesienią w dorzeczu Wisły i wynosiło 0,89 Bq kg^{-1}. Najwyższą wartość oznaczono także jesienią w jeziorach – 9,91 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 2025 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)]	2,21 ± 1,78	0,89 ± 0,89	1,55 ± 1,51 (14)	0,17–5,45
Dorzecze Odry (5)	2,04 ± 3,73	1,77 ± 2,81	1,91 ± 2,83 (10)	0,24–8,72
Jeziora (6)	4,42 ± 4,69	9,91 ± 18,27	7,16 ± 13,01 (12)	1,18–47,03
Średnia ogólna (18)	2,90 ± 3,48	3,76 ± 5,00	3,52 ± 6,95 (36)	0,17–47,03

[a)] Liczba próbek osadów dennych
[b)] Wartość średnia ± OS

5.6. Porównanie zawartości ^{238}Pu i ^{239,240}Pu w osadach dennych badanych rzek z zawartościami notowanymi w jeziorach

Tabela 15. Średnie stężenie promieniotwórcze ^{239,240}Pu w osadach dennych dorzecza Wisły, Odry i jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tych izotopów w 2025 r.

Lokalizacja poboru próbek	^{239,240}Pu mBq kg^{-1} wiosna	^{239,240}Pu mBq kg^{-1} jesień	^{239,240}Pu mBq kg^{-1} średnia roczna	^{239,240}Pu mBq kg^{-1} zakres
Dorzecze Wisły (7)[a)]	15,27 ± 13,51[b)]	6,00 ± 5,68	10,63 ± 11,05 (14)	1,84–39,70
Dorzecze Odry (5)	12,23 ± 17,41	15,48 ± 26,21	13,85 ± 21,05 (10)	2,35–62,20
Jeziora (6)	20,79 ± 39,77	64,54 ± 146,02	42,67 ± 104,56	2,02-362,53
Średnia ogólna (18)	16,27 ± 24,76	28,15 ± 84,62	22,21 ± 53,80 (36)	1,84–362,53

[a)] Liczba próbek osadów dennych
[b)] Średnia ± OS

W Tabeli 15. przedstawiono średnie stężenia promieniotwórcze ^{239,240}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}Pu w osadach dorzecza Wisły, Odry i jezior wynosiły odpowiednio 10,63 mBq kg^{-1} , 13,85 mBq kg^{-1} i 42,67 mBq kg^{-1}. Największe różnice

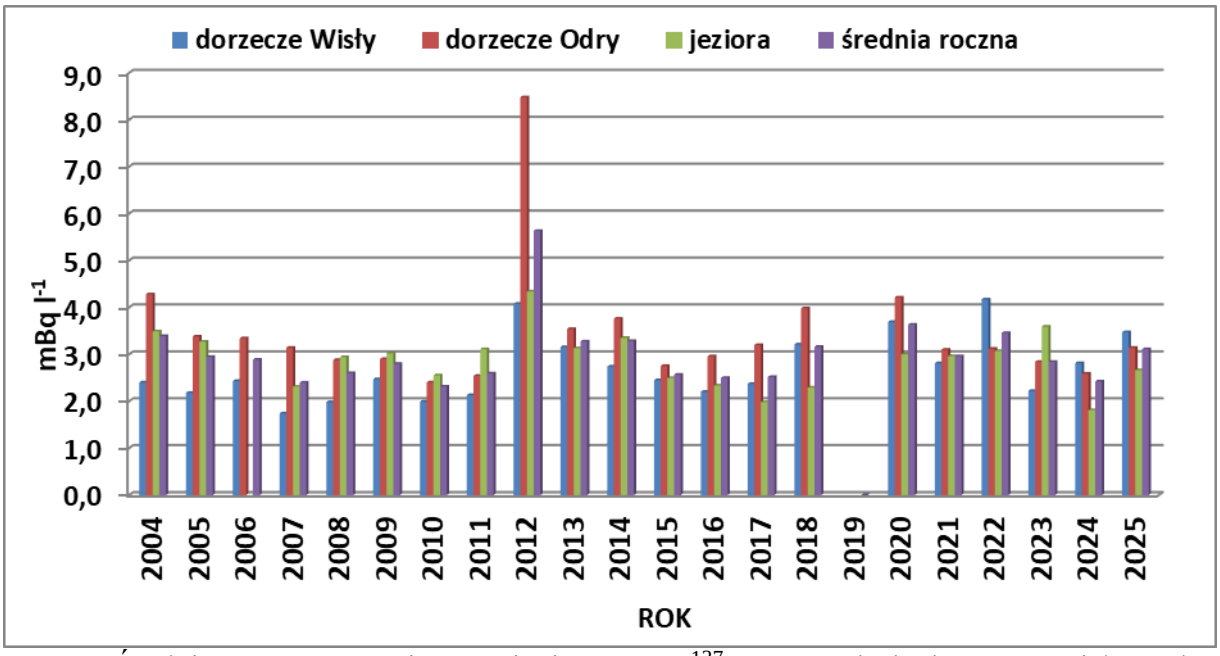
stężeń oznaczanych izotopów występowały w jeziorach i mieściły się w zakresie od 2,02 do 362,53 mBq kg^{-1}.

Stężenie promieniotwórcze ^{238}Pu w osadach dennych było w większości przypadków poniżej granicy detekcji (1,5 mBq kg^{-1}). Zostało oznaczone tylko w 2 z pośród 24 próbek osadów rzecznych i w 1 z pośród 12 próbek osadów jeziornych. Osady były pobrane wiosną z Odry w Głogowie – 2,12 ± 1,02 mBq kg^{-1} i jesienią z Bugu w Wyszkowie – 3,08 ± 1,34 mBq kg^{-1} oraz jesienią z jeziora Rogóźno 3,01 ± 0,99 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 ^{137}Cs w wodach rzecznych w układzie dorzeczy oraz ich porównanie do wód jeziornych



Rys. 3. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2025

Rysunek 3. przedstawia wykres obrazujący średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodzie dla dorzeczy Wisły, Odry i jezior w odniesieniu do ogólnej średniej rocznej w latach 2004-2025. 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.

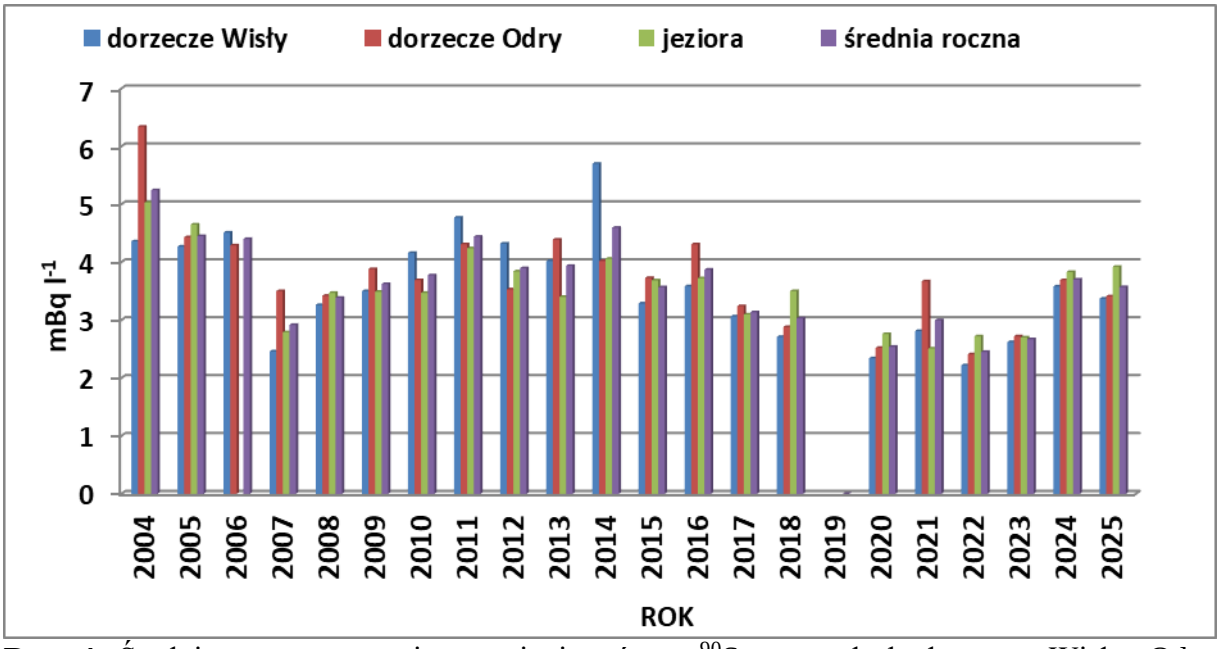
Wpływ na podwyższenie wartości średniej miał również otrzymany wynik dla próbki osadu pobranego wiosną w Chałupkach (40,72 mBq l^{-1}). Jesienią oznaczona zawartość ^{137}Cs była już dziesięciokrotnie niższa. W przedziałach czasowych 2013-2014 i 2015-2017 obserwujemy wyrównany poziom stężenia promieniotwórczego ^{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 2025 roku jak i kilku ubiegłych latach jest na zbliżonym poziomie.

W bieżącym roku obserwujemy nieznaczny wzrost średniego rocznego stężenia izotopu cezu w stosunku do poprzedniego roku.

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 2004-2025. W roku 2019 badania prowadzone były tylko dla jednego (jesiennego) poboru stąd brak wartości średnich rocznych.

W przypadku ^{90}Sr na przestrzeni ponad 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.



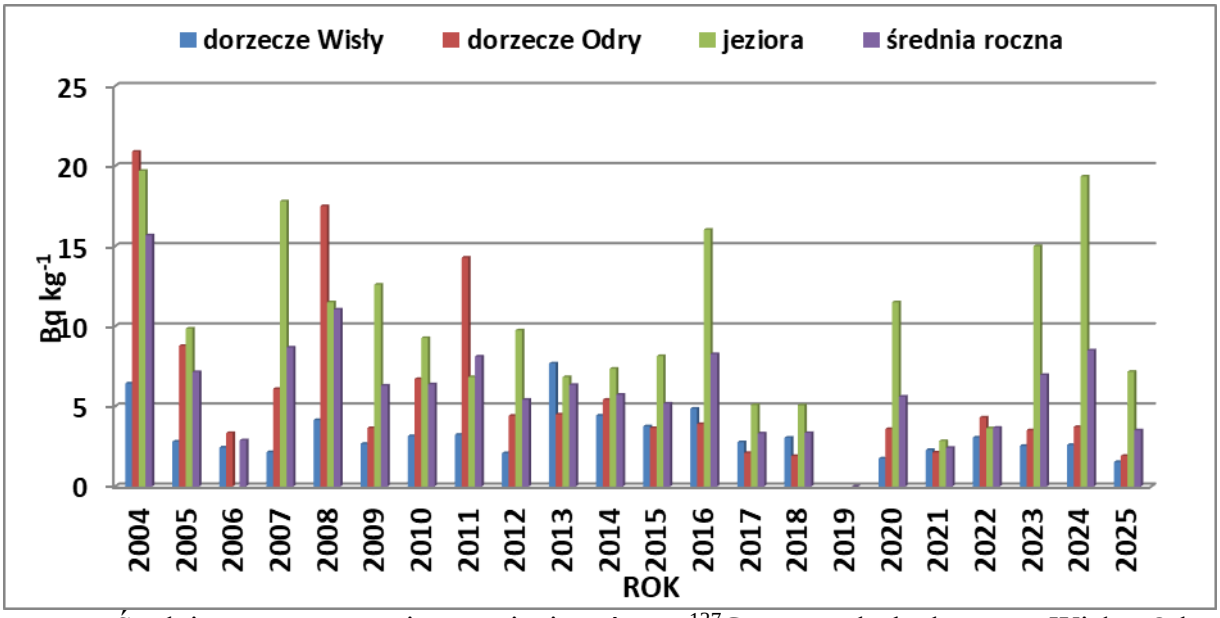
Rys. 4. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2025

Najwyższą wartość otrzymano w pierwszym roku badań (5,2 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 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 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 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 2024 średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior były wyższe niż w kilku poprzednich latach. W roku bieżącym pozostają na zbliżonym poziomie.

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 2004-2025.



Rys. 5. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2025

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 średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych zanotowano w roku 2004 i w roku 2024. 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}. Natomiast w 2024 oznaczono odpowiednio stężenia: dla dorzecza Wisły – 2,6 Bq kg^{-1}, dla dorzecza Odry – 3,7 Bq kg^{-1} i dla jezior – 19,4 Bq kg^{-1}. Największy wpływ na wartość średniej w tym roku miały tak naprawdę stężenia oznaczone zarówno wiosną jak i jesienią dla jeziora Rogóźno (92,6 i 113,4 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 2022 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 Bq kg^{-1}). Wszystkie wartości średnich rocznych stężeń ^{137}Cs są najbardziej zbliżone dla 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 Bq kg^{-1} i 3,40 Bq kg^{-1} (z pominięciem roku 2006, w którym nie były monitorowane jeziora). W roku 2020, 2023 i 2024 uzyskano znacznie wyższą wartość średnią dla osadów jeziornych niż w latach 2017 i 2018 oraz 2021 i 2022. Wpływ na taką wartość w każdym roku miały wyniki uzyskane zarówno wiosną jak i jesienią dla jeziora Rogóźno. W 2025 roku otrzymano jedną z niższych wartości średnich dla dorzeczy i jezior na przestrzeni wszystkich lat.

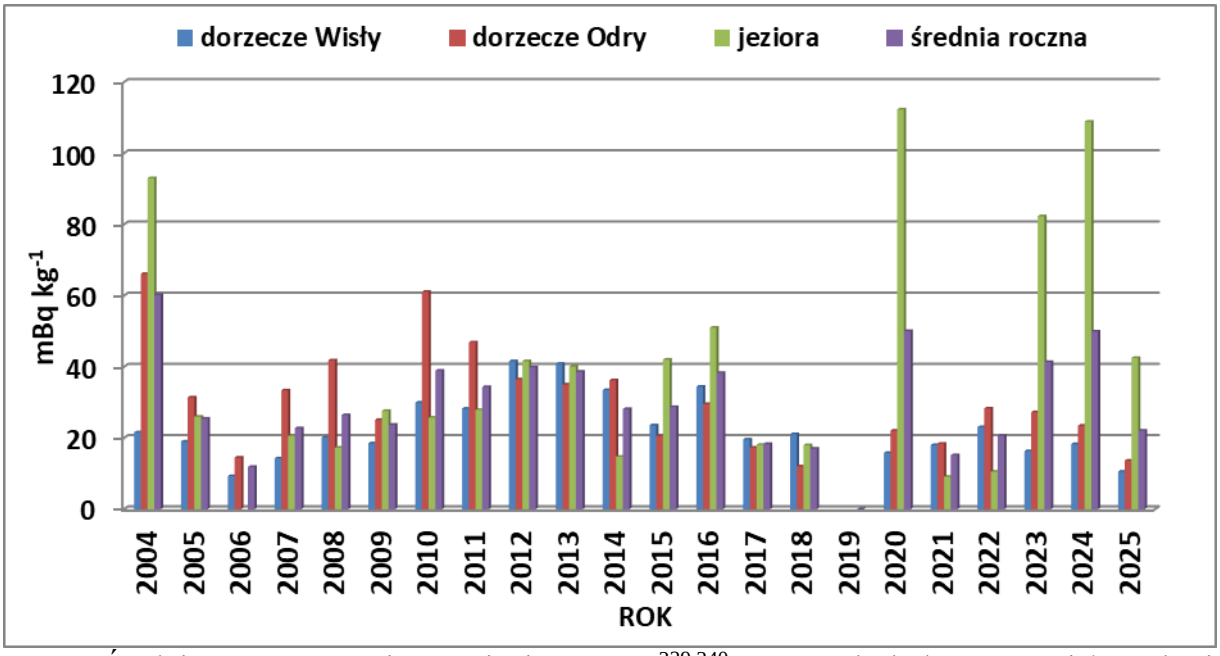
6.4. Analiza zawartości ^{238}Pu i $^{239,240}Pu$ w osadach dennych rzecznych w układzie dorzeczy oraz ich porównanie do osadów jeziornych

Rysunek 6. przedstawia wykres obrazujący średnie roczne stężenia promieniotwórcze $^{239,240}Pu$ w osadach dennych dla dorzeczy Wisły, Odry i jezior w odniesieniu do ogólnej średniej rocznej w latach 2004-2025.

Podobnie jak w przypadku izotopu ^{137}Cs w ocenie ogólnej średniej rocznej zawartości $^{239,240}Pu$ 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 $^{239,240}Pu$ na przestrzeni wszystkich lat obserwacji mieszczą się w zakresie 25 mBq kg^{-1}.

Najwyższe średnie stężenia $^{239,240}Pu$ w osadach dennych obserwowano w roku 2004, 2020, 2023 i 2024 dla jezior (93,0 mBq kg^{-1}, 112,3 mBq kg^{-1}, 82,32 mBq kg^{-1}, 108,9 mBq kg^{-1}) oraz 2004 i 2010 dla dorzecza Odry (66,1 mBq kg^{-1} i 61,1 mBq kg^{-1}).



Rys. 6. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{239,240}Pu w osadach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2025.

Z obserwacji średnich rocznych zawartości ^{239,240}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}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}Pu dla pojedynczych próbek (np.: oznaczenia dla osadów jeziora Rogóźno w roku 2020, 2023, 2024 i bieżącym). 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}Pu w osadach dennych, a wynosiła ona 15,18 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}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 2024 roku nastąpił wzrost wartości średniej rocznej. Było to spowodowane oznaczeniem wyższych wartości zarówno wiosną (779,92 mBq kg^{-1}) jak i jesienią (481,09 mBq kg^{-1}) dla osadów pobranych z jeziora Rogóźno.

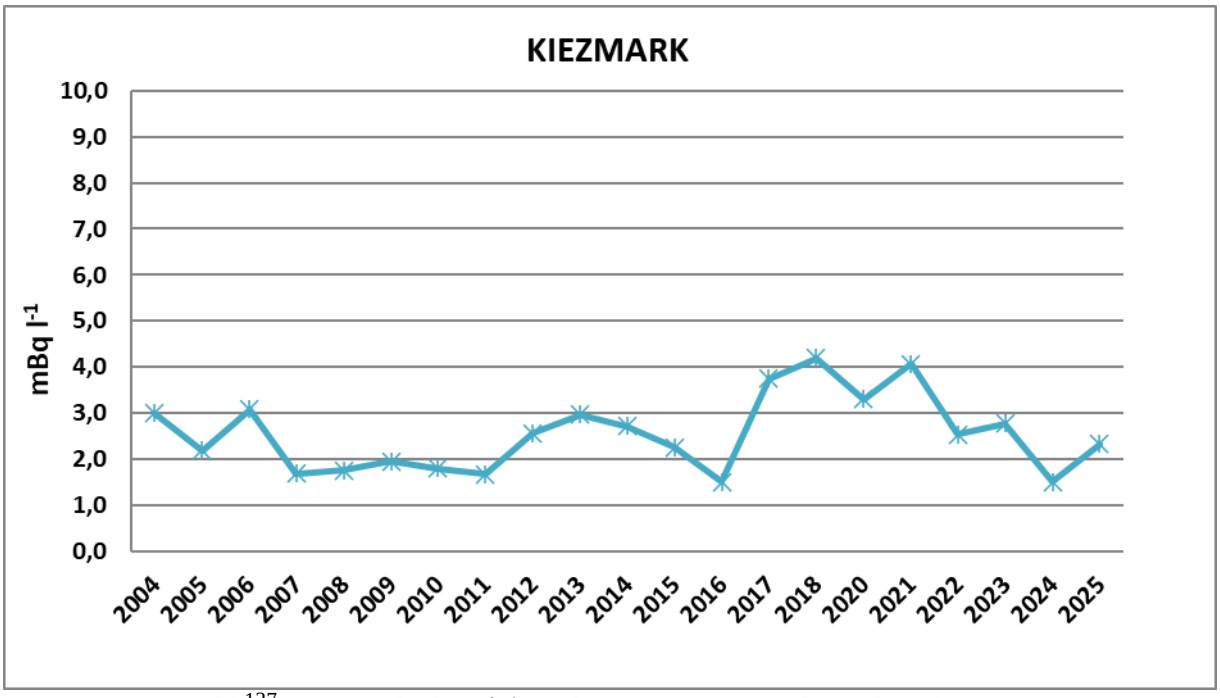
W bieżącym roku odnotowaliśmy spadek stężenia badanych izotopów w osadach z zachowaniem podwyższonej zawartości dla osadów jeziornych.

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 Wisły (Kiezmark, Pułtusk, Wyszków) 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}Cs w wodach na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych

7.1.1. Analiza zawartości ^{137}Cs w wodzie pobranej z Wisły w Kiezmarku



Rys. 7. Zawartość ^{137}Cs w wodach Wisły pobranej w Kiezmarku w latach 2004-2025

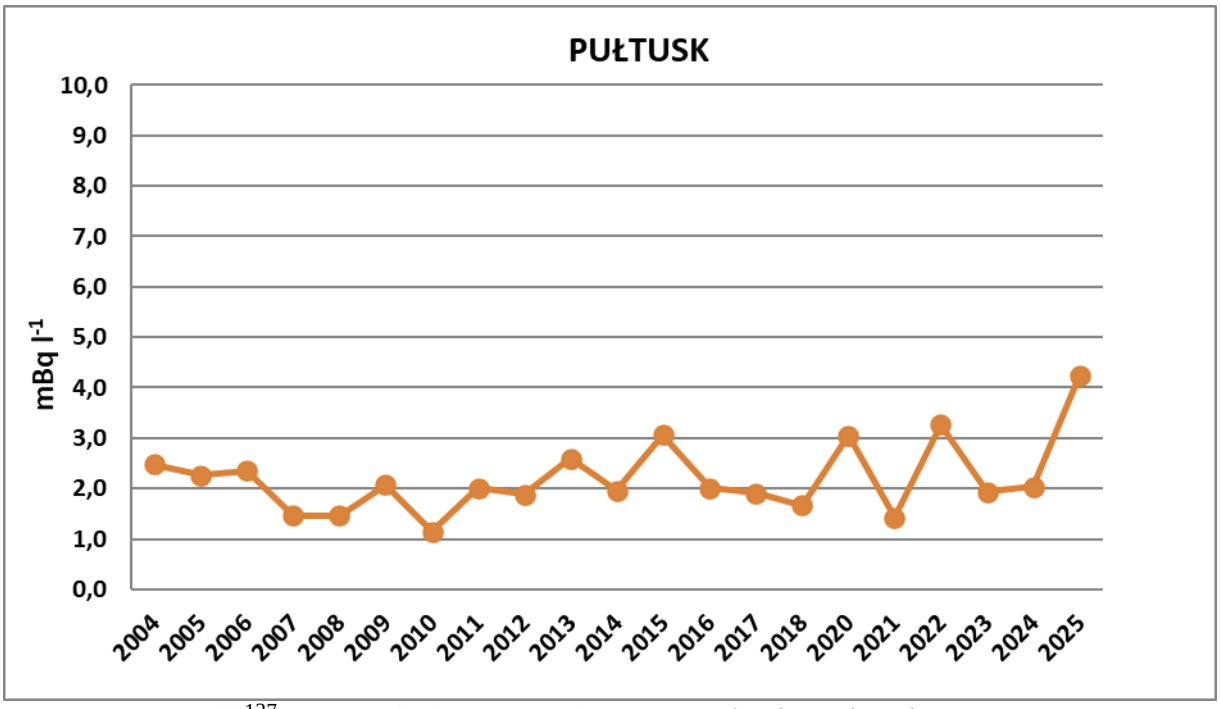
Średni poziom stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs w wodzie pobieranej w Kiezmarku przez wszystkie lata obserwacji był dosyć wyrównany. Nieco wyższe wartości odnotowano w 2018 roku badań – 4,19 mBq l^{-1} oraz w 2021 roku – 4.07 mBq l^{-1}. Zmiany średniej rocznej zawartości ^{137}Cs w wodzie na przestrzeni 21 lat mieszczą się w zakresie od 1,51 mBq l^{-1} do 4,19 mBq l^{-1}. Najniższą wartość odnotowano w roku 2016 -1,51 mBq l^{-1}, a najwyższą 4,19 mBq l^{-1} w roku 2018. Należy jednak podkreślić, że pomimo odnotowanego nieznacznego wzrostu zawartość ^{137}Cs w wodzie z Wisły w Kiezmarku pozostaje na niskim poziomie. W bieżącym roku otrzymaliśmy wartość 2,33 mBq l^{-1}.

7.1.2. Analiza zawartości ^{137}Cs w wodzie pobranej z Narwi w Pułtusku

Rysunek 8. Przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w wodach Narwi pobranej w Pułtusku w latach 2004-2025. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.

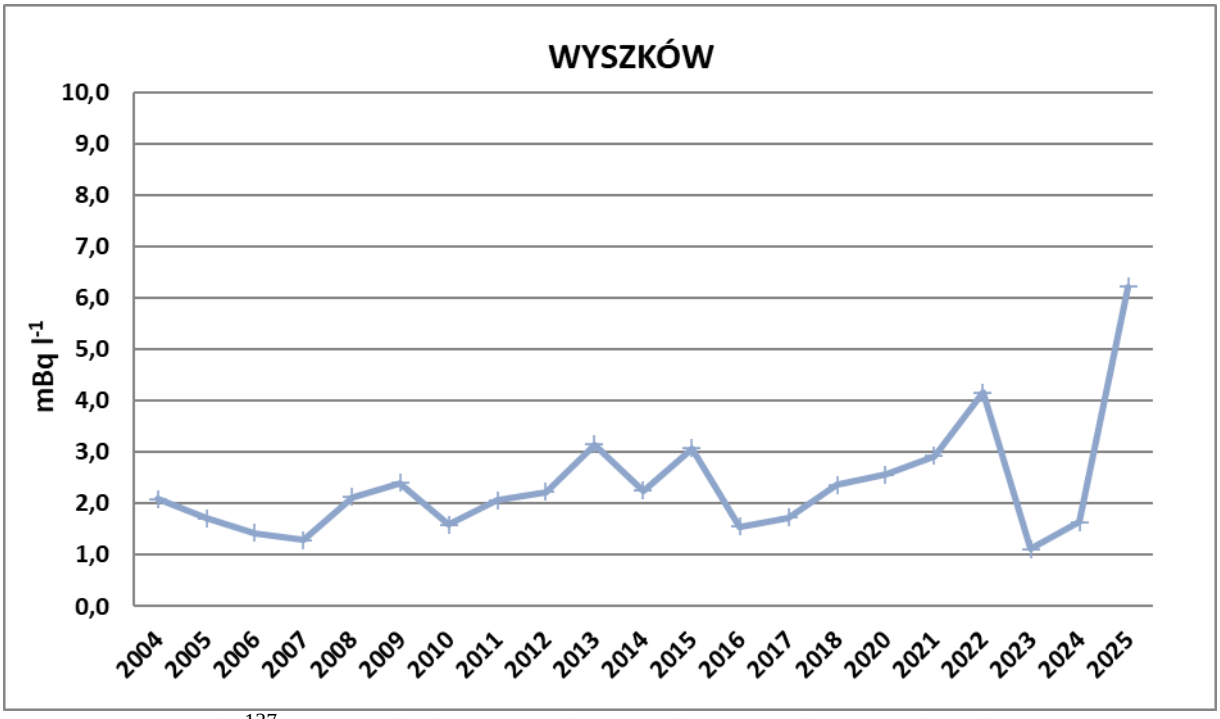
Na przestrzeni lat średnie stężenie promieniotwórcze izotopu ^{137}Cs mieści się w wąskim zakresie od 1,15 w roku 2010 do 4,24 mBq l^{-1} w roku bieżącym. Najbardziej stabilną sytuację

obserwowaliśmy w latach 2016 – 2018. Pomimo nieznacznego wzrostu w kolejnych latach zawartość ^{137}Cs w wodzie z Narwi w Pułtusku pozostaje na niskim poziomie.



Rys. 8. Zawartość ^{137}Cs w wodach Narwi pobranej w Pułtusku w latach 2004-2025

7.1.3. Analiza zawartości ^{137}Cs w wodzie pobranej z Bugu w Wyszkowie

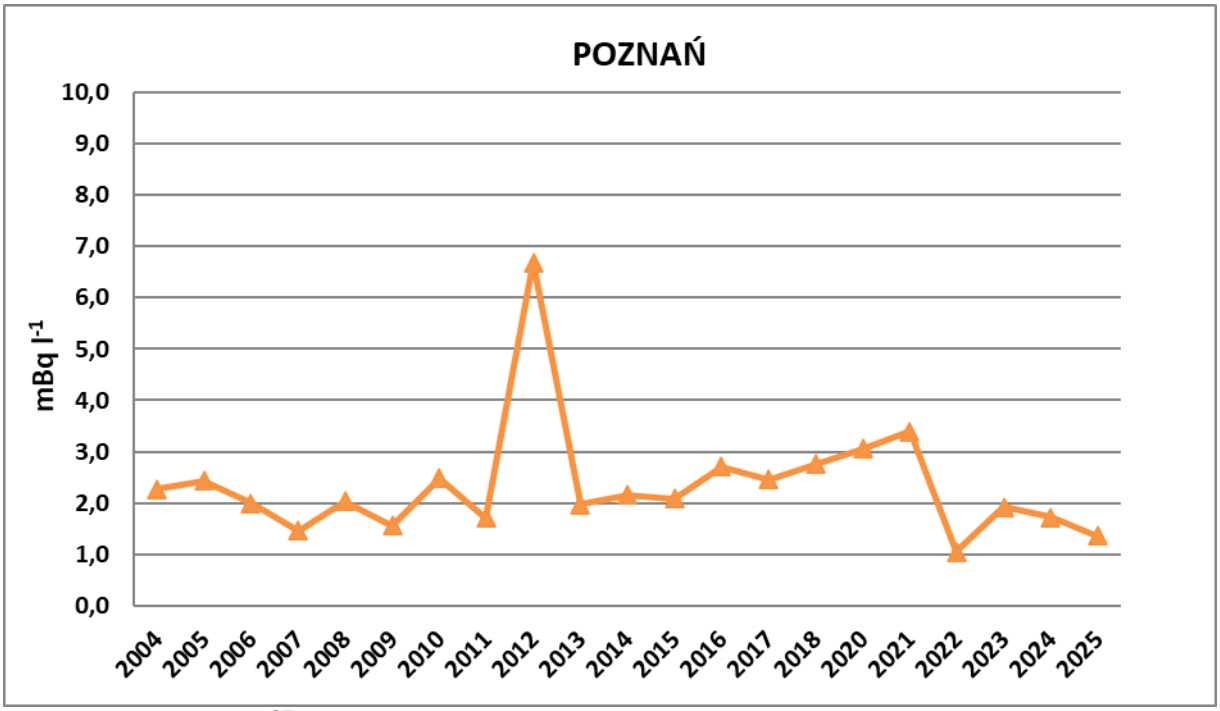


Rys. 9. Zawartość ^{137}Cs w wodach Bugu pobieranych w Wyszkowie w latach 2004-2025

Średni poziom stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs w wodzie pobieranej z Bugu w Wyszkowie w latach 2004-2025 był wyrównany (Rysunek 9.).

Minimalną wartość odnotowano w roku 2023 i wynosiła ona 1,12 mBq l^{-1}, zaś maksymalną w roku bieżącym – ok 6,22 mBq l^{-1}. Poziom średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs do 2024 mieścił się w zakres ok. 2,5 mBq l^{-1}. W bieżącym roku oznaczono izotop cezu na najwyższym poziomie. Na podwyższenie średniej wartości rocznej miał znaczący wpływ wynik uzyskany wiosną – 9,63 mBq l^{-1}, jesienią zawartość cezu była ponad trzykrotnie mniejsza – 2,80 mBq l^{-1}.

7.1.4. Analiza zawartości ^{137}Cs w wodzie pobranej z Warty w Poznaniu



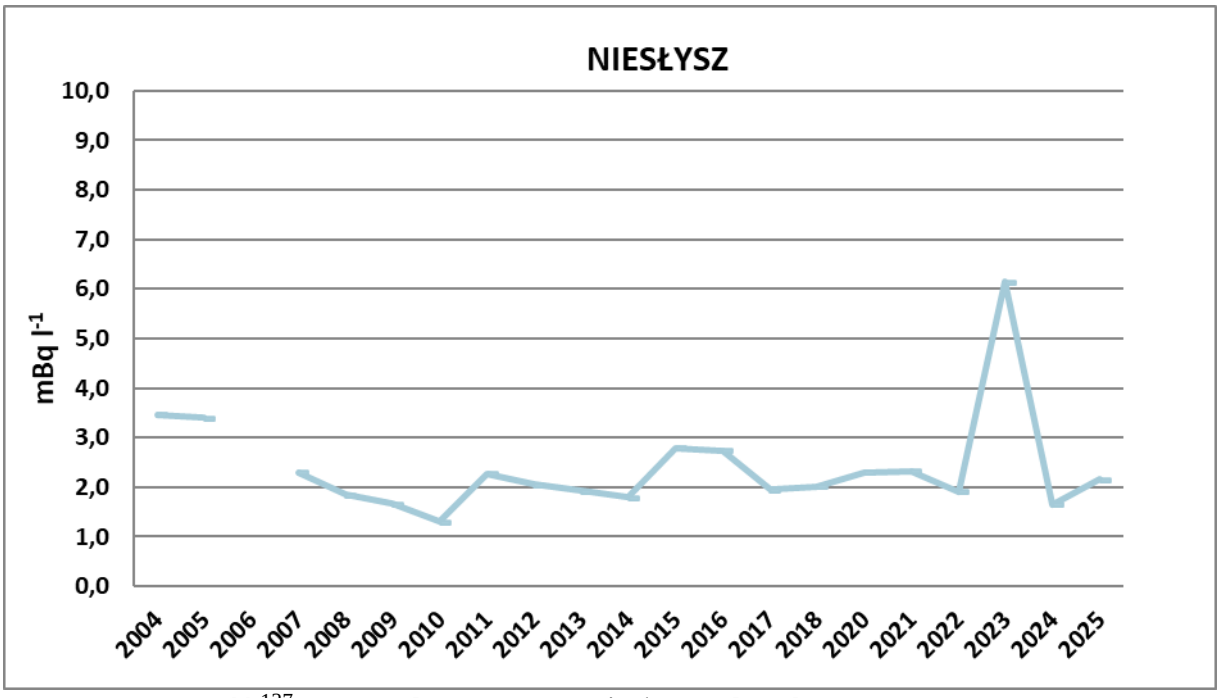
Rys. 10. Zawartość ^{137}Cs w wodzie z Warty pobranej w Poznaniu w latach 2004-2025

Średni poziom stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs w wodzie pobieranej w Poznaniu w latach 2004-2025 był wyrównany (Rysunek 10.), a zmiany mieściły się w zakresie ok. 2 mBql^{-1}. Jedynie w roku 2012 zanotowano wzrost zawartości ^{137}Cs. Średnią roczną stężenia tego izotopu zawyżył wynik próbki wiosennej (10,96 mBql^{-1}). 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 ^{137}Cs w wodzie wynosiło 2,41 mBq l^{-1} 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 2022 roku, a wynosiła ona 1,06 mBq l^{-1}. W bieżącym roku zawartość cezu pozostaje również na niskim poziomie (1,36 mBq l^{-1}).

7.1.5. Analiza zawartości ^{137}Cs w wodzie pobranej z jeziora Niesłysz

Przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w wodach z jeziora Niesłysz w latach 2004–2025 przedstawiono na Rys.11.



Rys. 11. Zawartość ^{137}Cs w wodzie z jeziora Niesłysz w latach 2004-2025

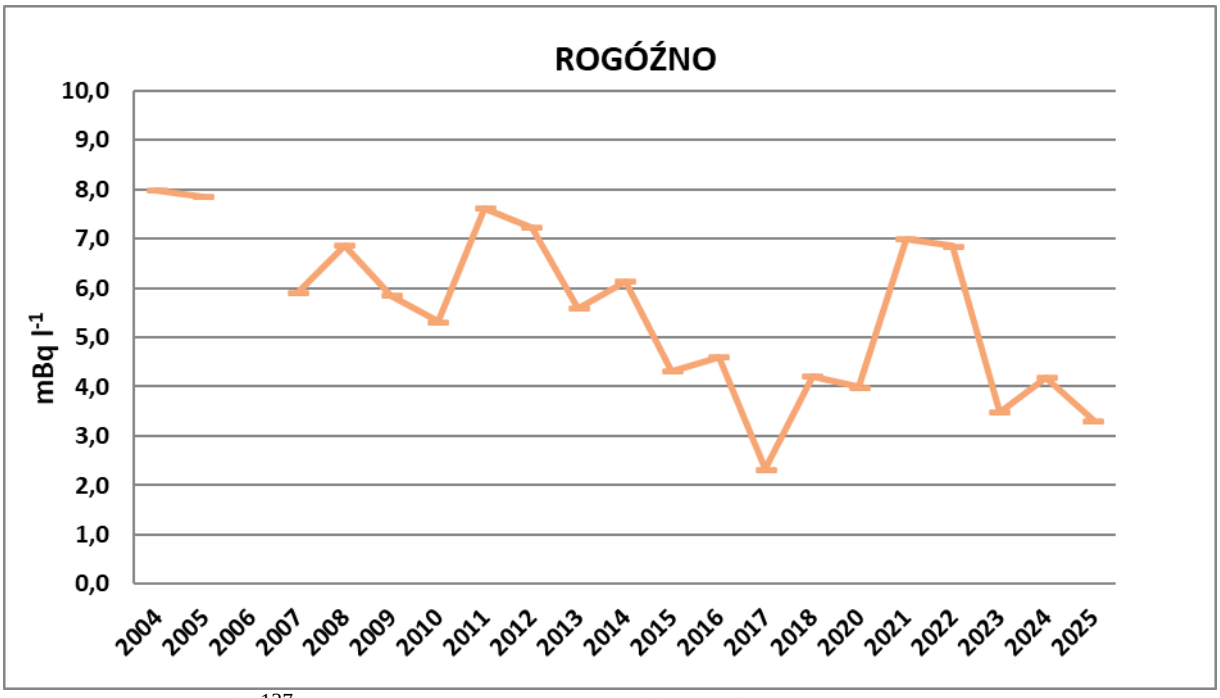
Podane wartości są średnimi rocznymi w poszczególnych latach. W roku 2006 nie były prowadzone badania dla jezior stąd brak wyników na pokazanym wykresie. Najwyższe wartości izotopu cezu oznaczono w pierwszych latach badań (2004, 2005). Na przestrzeni pozostałych 16 lat zakres w jakim obserwowano fluktuacje to niespełna 2 mBq l^{-1}. Najbardziej stabilną sytuację obserwujemy od roku 2017 do 2022. Wyjątek stanowi wynik uzyskany w 2023 roku – 6,14 mBq l^{-1}. Kolejne dwa lata obserwacji nie potwierdzają trwałości tej zmiany.

7.1.6. Analiza zawartości ^{137}Cs w wodzie pobranej z jeziora Rogóźno

Przebieg czasowy średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w wodach jeziora Rogóźno w latach 2004 – 2025 przedstawiono na Rysunku 12. W roku 2006 nie były prowadzone badania dla jezior stąd brak wyników na pokazanym wykresie.

Na ogół w jeziorze Rogóźno obserwowane są większe wartości stężenia promieniotwórczgo ^{137}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. Jezioro jest pochodzenia krasowego, a ten typ jezior często charakteryzuje się obecnością osadów nieprzepuszczalnych. Moze być to powód kumulacji badanych nuklidów.

Z przedstawionej zależności wynika, że w przeciągu 12 lat (do 2017 roku) obserwujemy tendencję spadkową zawartości ^{137}Cs. W kolejnych czterech latach zawartość izotopu cezu nieznacznie wzrosła. Ostatnie trzy lata pokazują sytuację stabilną z niską zawartością badanego izotopu na poziomie 3-4 mBq l^{-1}.



Rys. 12. Zawartość ^{137}Cs w wodzie z jeziora Rogóźno w latach 2004-2025

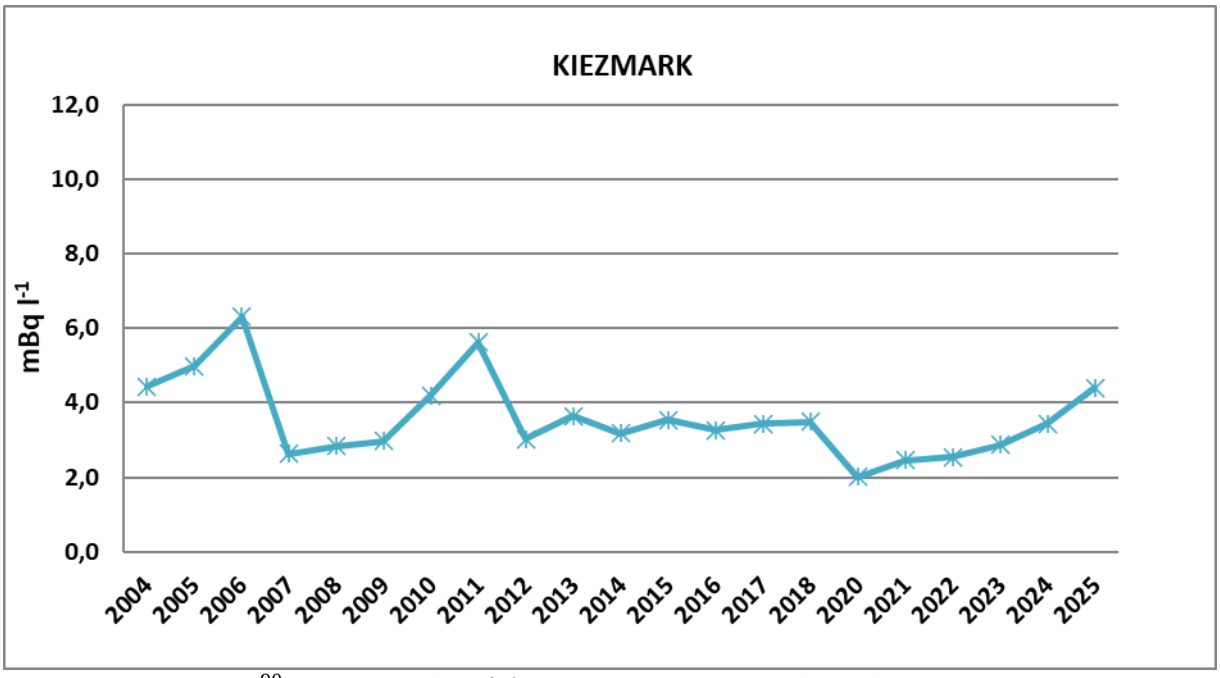
7.2. Analiza zawartości ^{90}Sr w wodach na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych

7.2.1. Analiza zawartości ^{90}Sr w wodzie pobranej z Wisły w Kiezmarku

Rysunek 13. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr w wodzie Wisły pobranej w Kiezmarku w latach 2004-2025. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.

Na przestrzeni lat średnie stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr mieści się w zakresie od 2,01 (rok 2020) do 6,30 mBq l^{-1} (rok 2006). Można przyjąć, że stężenie ^{90}Sr przy nieznacznych

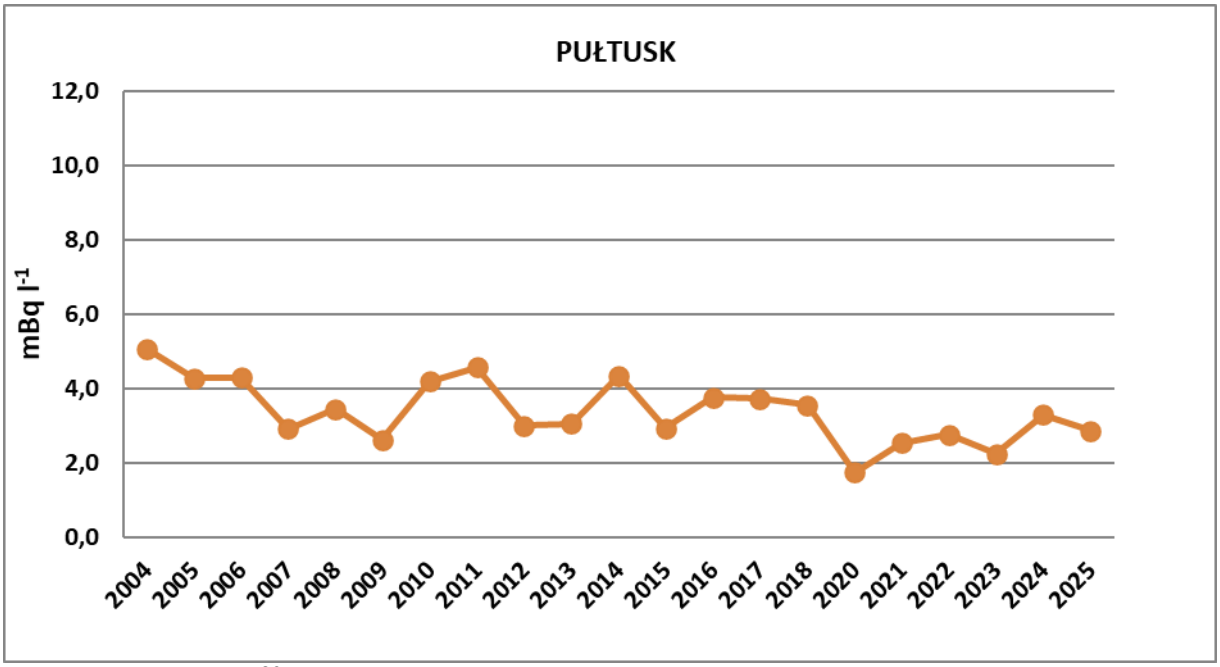
fluktuacjach w latach 2004-2011 pozostaje na niskim i wyrównanym poziomie do chwili obecnej. Wynik uzyskany w 2025 roku to 4,40 mBq l^{-1}.



Rys. 13. Zawartość ^{90}Sr w wodach Wisły pobranej w Kiezmarku w latach 2004-2025

7.2.2. Analiza zawartości ^{90}Sr w wodzie pobranej z Narwi w Pułtusku

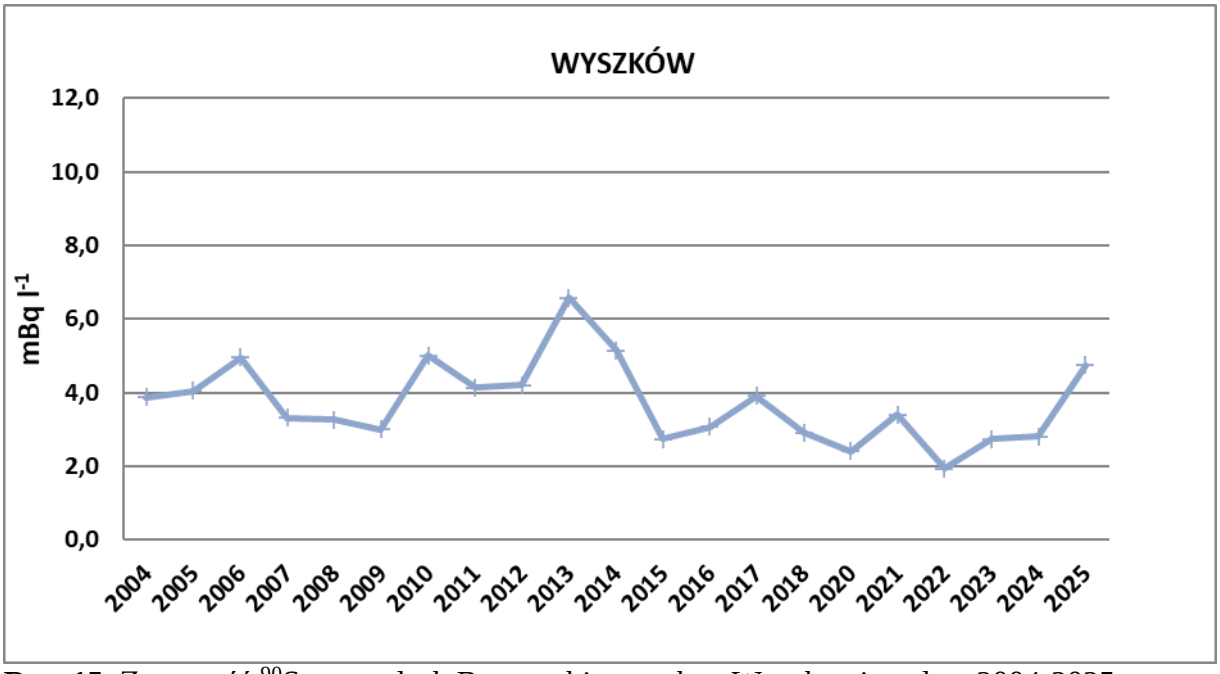
Przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr w wodach Narwi pobranej w Pułtusku w latach 2004-2025 przedstawiono na Rysunku 14. Podane wartości są średnimi rocznymi w poszczególnych latach.



Rys. 14. Zawartość ^{90}Sr w wodach Narwi pobranej w Pułtusku w latach 2004-2025

Z przedstawionej zależności wynika, że w przeciągu dwudziestu jeden lat zmiany zawartości ^{90}Sr w wodach były nieznaczne. Najwyższe stężenie badanego izotopu odnotowano w pierwszym roku badań - 5,07 mBq l^{-1}, najniższe zaś w roku 2020–1,73 mBq l^{-1}. Zakres w jakim obserwowano fluktuacje, poza pierwszym rokiem badań, to ok. 2 mBq l^{-1}. Prawdopodobnie spowodowane jest to bardziej stabilną sytuacją hydrologiczną niż w przypadku pozostałych rzek. Te przypuszczenia potwierdzają również wyniki z ostatnich sześciu lat mieszczące się w zakresie 1,73 – 3,29 mBq l^{-1}.

7.2.3. Analiza zawartości ^{90}Sr w wodzie pobranej z Bugu w Wyszkowie

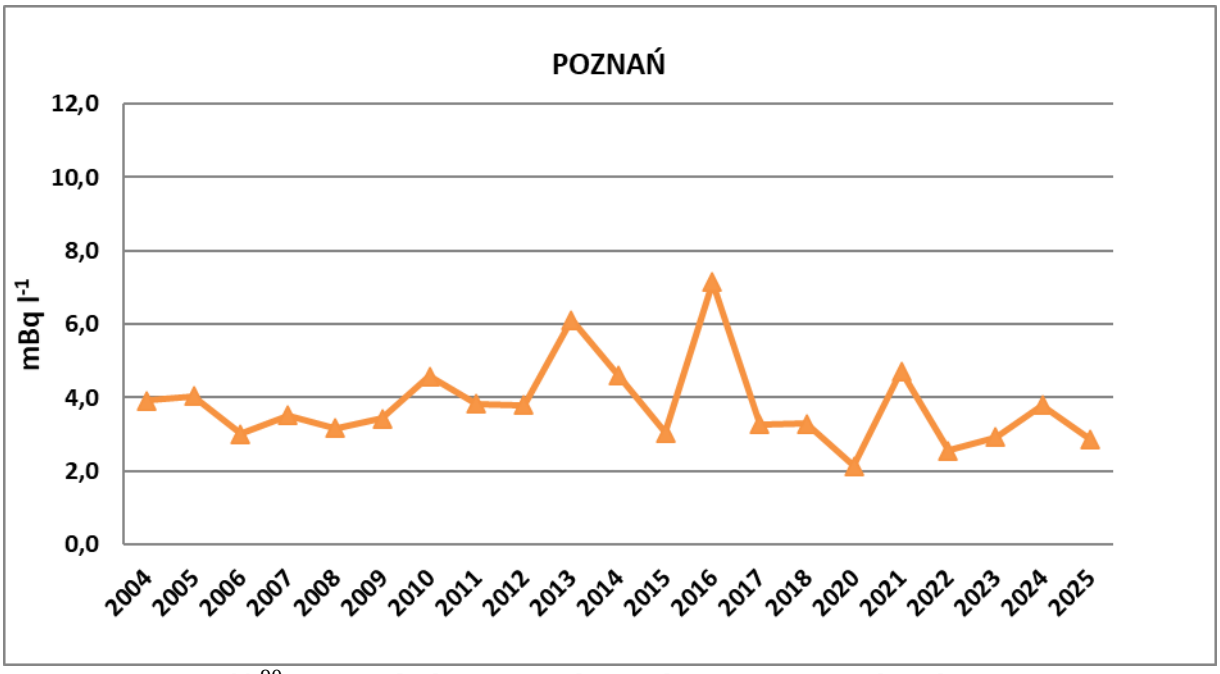


Rys. 15. Zawartość ^{90}Sr w wodach Bugu pobieranych w Wyszkowie w lata 2004-2025

Rysunek 15. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły pobieranych w Wyszkowie w latach 2004-2025. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.

Na przestrzeni lat średnie stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr dla punktu pomiarowego w Wyszkowie mieści się w dość wąskim zakresie od 1,96 mBq l^{-1} w roku 2022 do 6,58 mBq l^{-1} w 2013 roku. Dla tego punktu od 2013 roku obserwujemy tendencję spadkową zawartości izotopu strontu w badanej wodzie z nieznacznie podwyższonym stężeniem w roku bieżącym 4,75 mBq l^{-1}.

7.2.4. Analiza zawartości ^{90}Sr w wodzie pobranej z Warty w Poznaniu

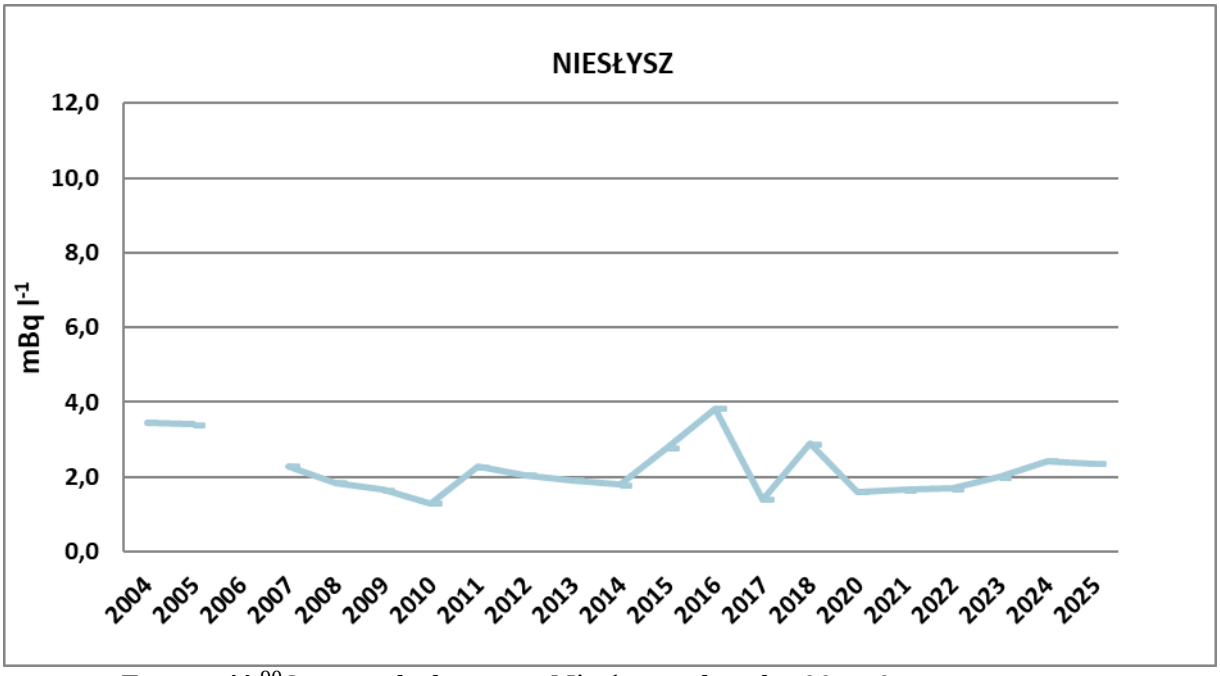


Rys. 16. Zawartość ^{90}Sr w wodach Warty pobranych w Poznaniu w latach 2004-2025

Średnie roczne stężenia promieniotwórcze izotopu ^{90}Sr w wodach Warty pobranej w Poznaniu w latach 2004-2025 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 mBq l^{-1} w roku 2010. Od 2012 roku widzimy nieco większą zmienność, chociaż stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr pozostaje nadal na niskim poziomie i mieści się w zakresie ok. 4 mBq l^{-1}. W bieżącym roku zawartość izotopu strontu wynosiła 2,88 mBq l^{-1} i była jedną z niższych wartości oznaczonych na przestrzeni wszystkich lat obserwacji.

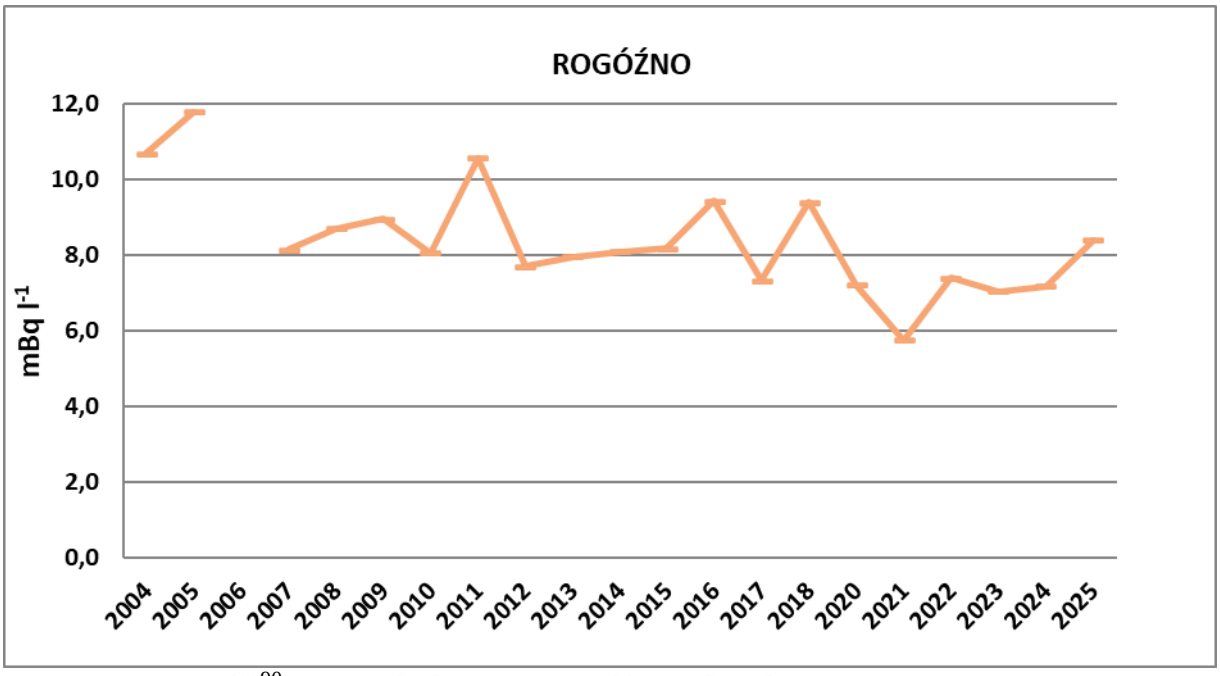
7.2.5. Analiza zawartości ^{90}Sr w wodzie pobranej z jeziora Niesłysz

Podobnie jak dla ^{137}Cs średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach jeziora Niesłysz w latach 2004-2025 było wyrównane (Rys. 17.). Nieznaczną rozbieżność stanowi wynik otrzymany w 2016 roku, kiedy wartość stężenia wzrosła (3,84 mBq l^{-1}), pozostając jednak na bardzo niskim poziomie. Od roku 2020 średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr mieszczą się w przedziale 1,65 (rok 2020) – 2,24 (rok 2025) mBq l^{-1}.



Rys. 17. Zawartość ^{90}Sr w wodach jeziora Niesłysz w latach 2004-2025

7.2.6. Analiza zawartości ^{90}Sr w wodzie pobranej z jeziora Rogóźno



Rys. 18. Zawartość ^{90}Sr w wodach jeziora Rogóźno w latach 2004-2025

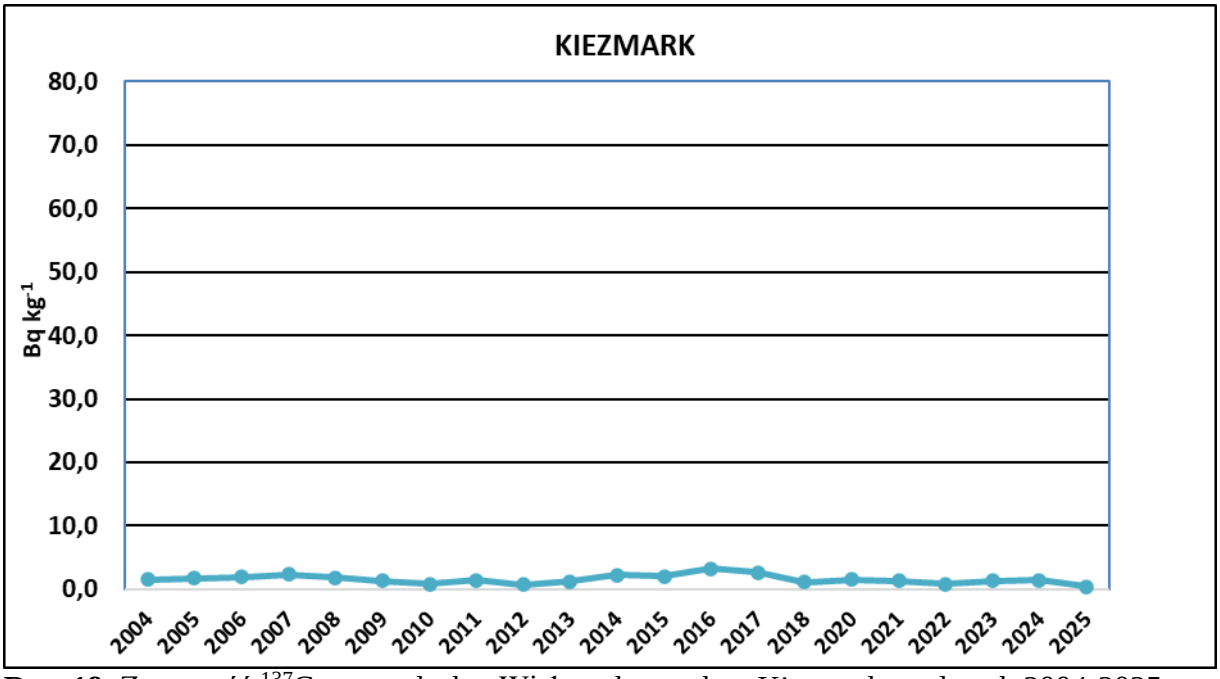
Jak widać na Rys. 18. w kolejnych latach badań dla punktu pomiarowego na jeziorze Rogóźno zawartość ^{90}Sr w wodzie zmieniała się nieznacznie i zawierała się w granicach od 5,76 mBq l^{-1} (2021 rok) do 11,80 mBq l^{-1} (2005 rok). Jak widać zmiany zawartości ^{90}Sr na przestrzeni lat mieszczą się w zakresie kilku 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}Cs. W 2025 roku średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr wynosiło 8,41 mBq l^{-1}.

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

7.3.1. Analiza zawartości ^{137}Cs w osadzie pobranym z Wisły w Kiezmarku

Rysunek 19. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w osadach dorzecza Wisły dla punktu pomiarowego w Kiezmarku w latach 2004–2025.

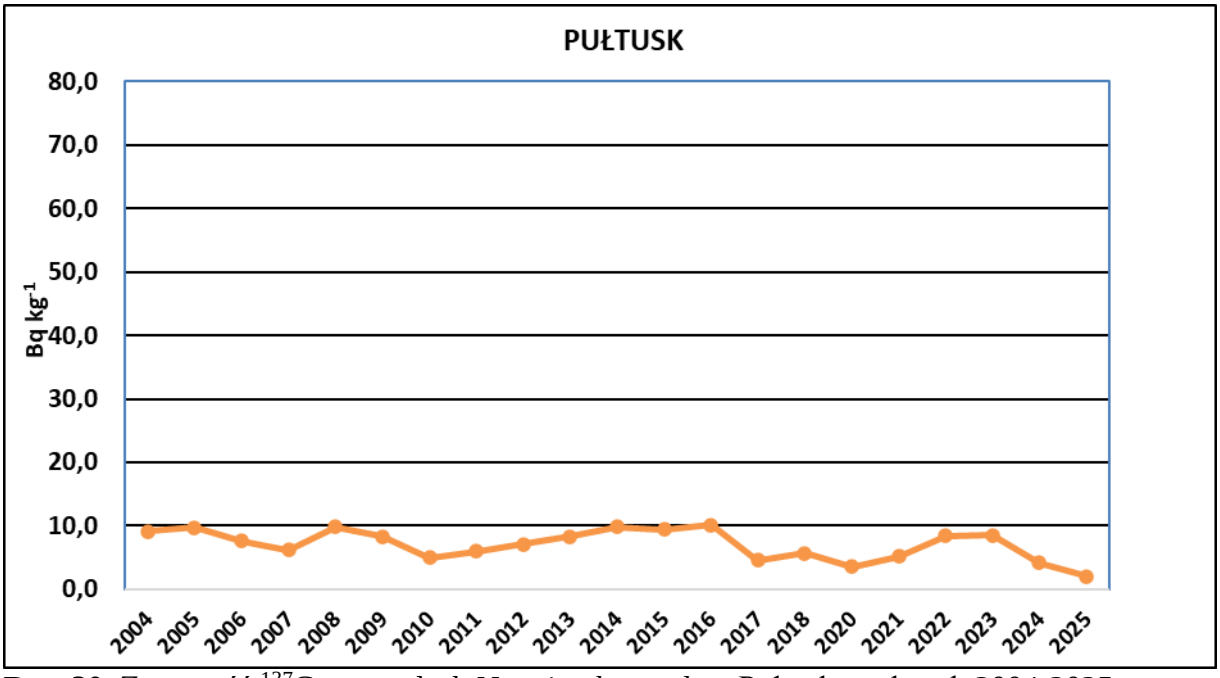


Rys. 19. Zawartość ^{137}Cs w osadach z Wisły pobranych w Kiezmarku w latach 2004-2025

W przypadku punktu poboru w Kiezmarku w przeciągu wszystkich lat badań obserwujemy bardzo wyrównany poziom i bardzo niskie zawartości izotopu ^{137}Cs. Zmiany średniej rocznej zawartości ^{137}Cs w osadach na przestrzeni wszystkich lat mieszczą się w bardzo wąskim zakresie od 0,45 Bq kg^{-1} do 3,29 Bq kg^{-1}. Najniższa wartość była oznaczona w bieżącym roku najwyższa w roku 2016.

7.3.2. Analiza zawartości ^{137}Cs w osadzie pobranym z Narwi w Pułtusku

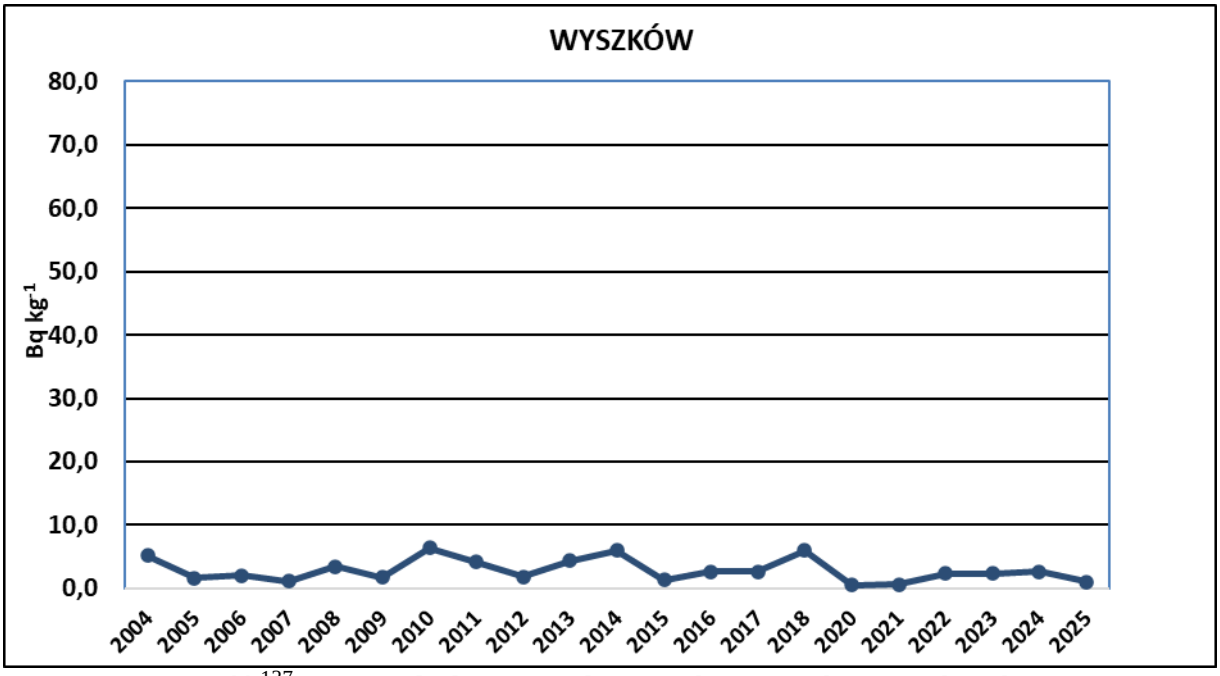
Zawartość ^{137}Cs w osadach Narwi pobranych w Pułtusku w latach 2004-2025 przedstawiona została na Rysunku 20.



Rys. 20. Zawartość ^{137}Cs w osadach Narwi pobranych w Pułtusku w latach 2004-2025

W przypadku punktu poboru w Pułtusku występujące niewielkie zmiany zawartości izotopu ^{137}Cs w poszczególnych latach obserwacji mieszczą się w zakresie od 2,00 Bq kg^{-1} do 10,11 Bq kg^{-1}. Najniższa wartość została oznaczona w roku bieżącym, najwyższa w roku 2016. Uzyskane wyniki świadczą o dosyć stabilnej sytuacji hydrologicznej dla tego punktu poboru.

7.3.3. Analiza zawartości ^{137}Cs w osadzie pobranym z Bugu w Wyszkowie

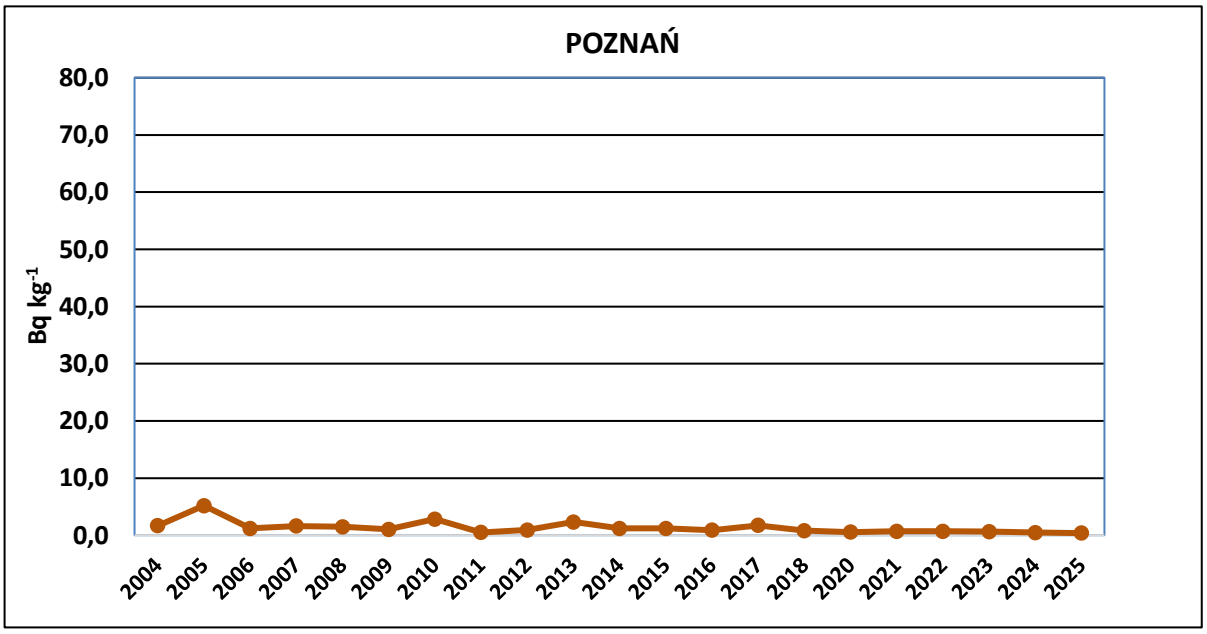


Rys. 21. Zawartość ^{137}Cs w osadach Bugu pobieranych w Wyszkowie w latach 2004-2025

Średni poziom stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs w wodzie pobieranej z Bugu w Wyszkowie w latach 2004-2025 był wyrównany (Rysunek 21.).

Minimalne wartości odnotowano w roku 2020 i 2021 i wynosiły one odpowiednio 0,50 i 0,62 Bq kg^{-1}, zaś maksymalną w roku 2010 – 6,34 Bq kg^{-1}. W bieżącym roku oznaczono izotop cezu również na bardzo niskim poziomie 1,04 Bq kg^{-1}. Wartość ta jest prawie trzykrotnie niższa od średniej wartości (2,86 Bq kg^{-1}) ze wszystkich lat badań.

7.3.4. Analiza zawartości ^{137}Cs w osadzie pobranym z Warty w Poznaniu

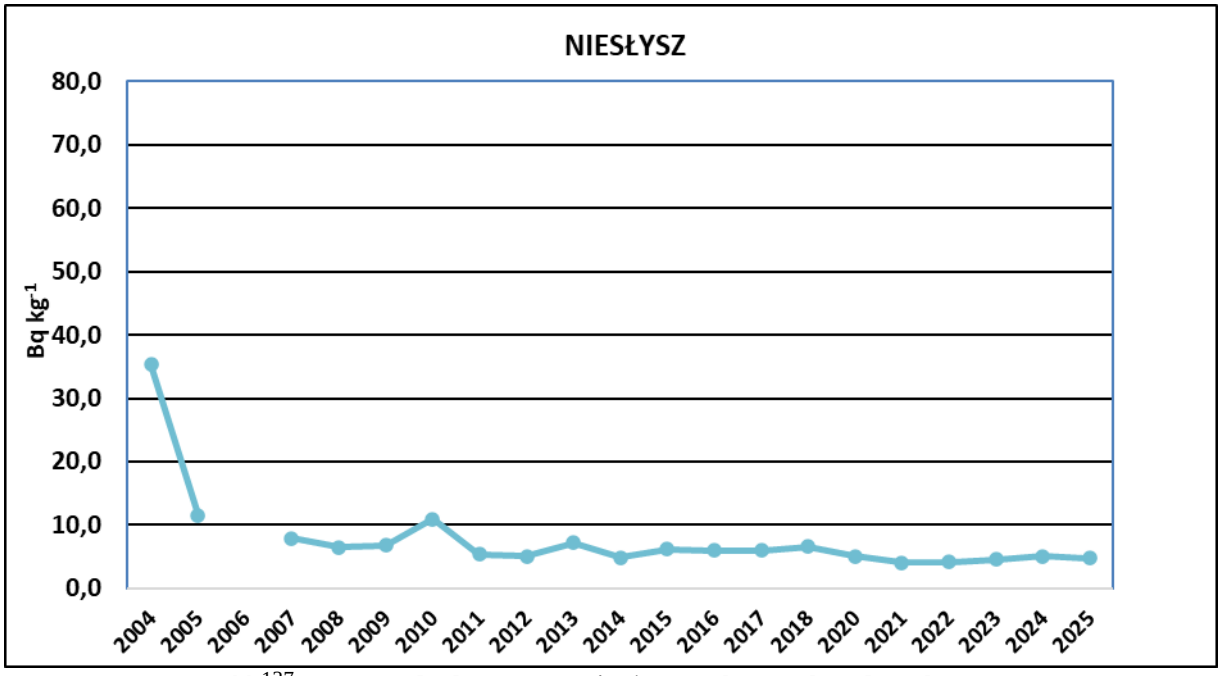


Rys. 22. Zawartość ^{137}Cs w osadach z Warty pobranych w Poznaniu w latach 2004-2025

Na przestrzeni wszystkich lat badań obserwowano bardzo wyrównany poziom zawartości ^{137}Cs w osadach dennych w punkcie poboru usytuowanym w Poznaniu (Rysunek 22.).

Nieznacznie wyższe wartości średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs odnotowano w pierwszych latach obserwacji. W kolejnych latach zawartość ^{137}Cs w osadach była na niskim poziomie i jednocześnie była dosyć stabilna. Zmiany mieszczą się w zakresie 4 Bq kg^{-1}. Prawdopodobnie spowodowane jest to bardziej stabilną sytuacją hydrologiczną niż w przypadku pozostałych punktów poboru. Od 2018 roku zawartość ^{137}Cs w pobranych osadach nie przekracza 1 Bq kg^{-1}. W bieżącym roku oznaczono najniższą średnią roczną wartość izotopu cezu - 0,40 Bq kg^{-1}.

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



Rys. 23. Zawartość ^{137}Cs w osadach jeziora Niesłysz pobranych w latach 2004-2025

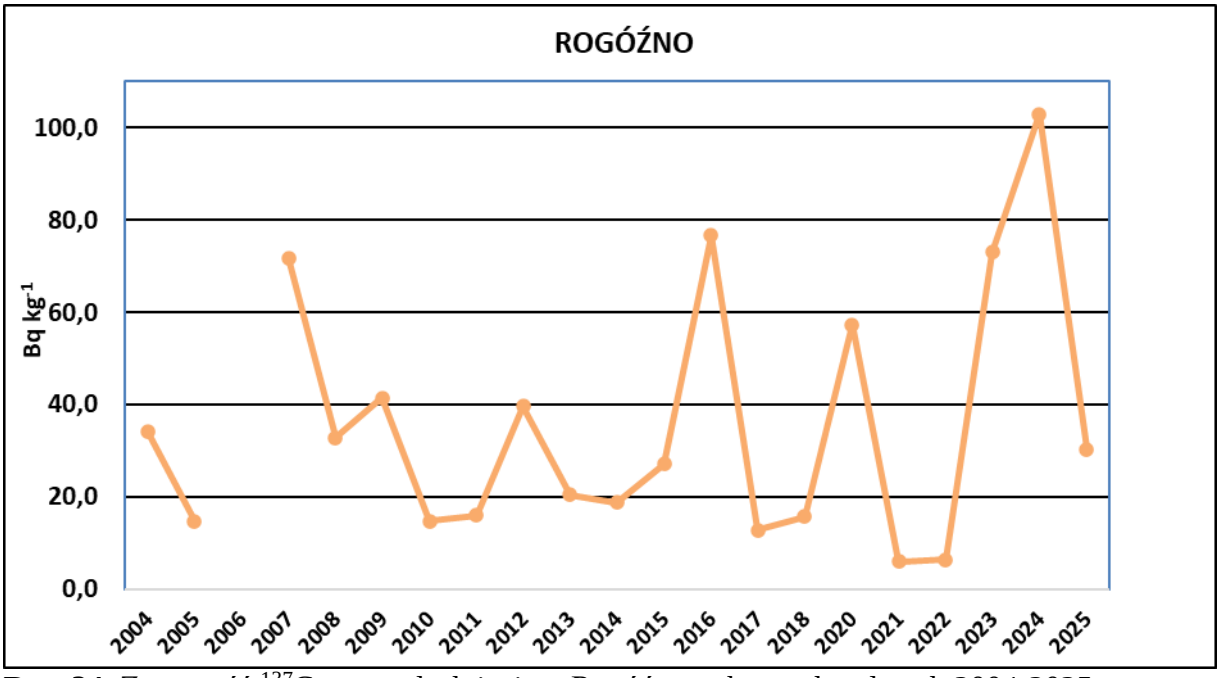
Na Rysunku 23. pokazano przebieg czasowy średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w osadach jeziora Niesłysz w latach 2004–2025. W pierwszych latach prowadzenia badań obserwujemy tendencję spadkową. Od 2007 roku widzimy bardzo wyrównany poziom zawartości ^{137}Cs w kolejnych latach monitoringu. Najbardziej stabilna sytuacja ma miejsce od 2020 roku. Zakres zmian mieści się w przedziale ok. 1 Bq kg^{-1}. Wartość średniego rocznego stężenia izotopu cezu w bieżącym roku wynosi – 4,74 Bq kg^{-1}.

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

Na Rysunku 24. pokazano przebieg czasowy średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w osadach pobranych z jeziora Rogóźno w latach 2004 – 2025.

Najwyższe wartości średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs odnotowano w latach 2007, 2016 i 2024 wynosiły one odpowiednio: 71,9 Bq kg^{-1}; 76,7 Bq kg^{-1} i 102,98 Bq kg^{-1}. Natomiast w ostatnim roku oznaczono średnią roczną zawartość izotopu cezu na znacznie niższym poziomie – 30,35 Bq kg^{-1}.

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

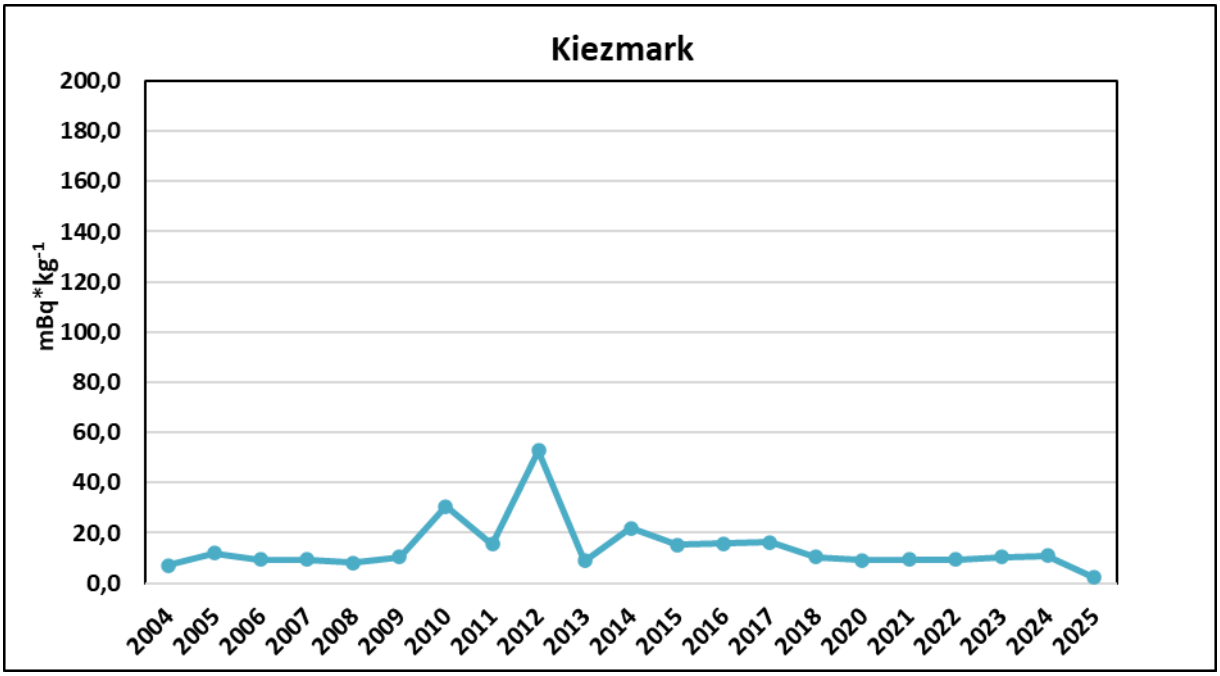


Rys. 24. Zawartość ^{137}Cs w osadach jeziora Rogóźno pobranych w latach 2004-2025

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

7.4.1. Analiza zawartości ^{239,240}Pu w osadzie pobranym z Wisły w Kiezmarku

Rysunek 25. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{239,240}Pu w osadach z Wisły pobranych w Kiezmarku w latach 2004-2025. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.



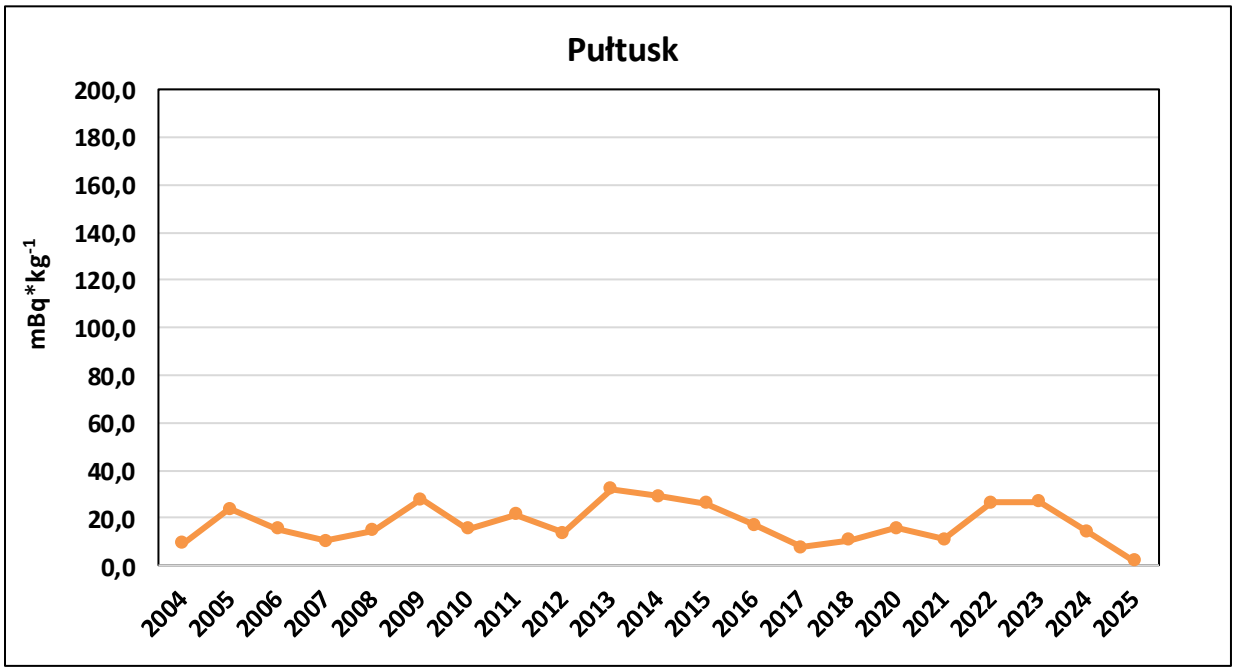
Rys. 25. Zawartość ^{239,240}Pu w osadach z Wisły pobranych w Kiezmarku w latach 2004-2025

W przypadku punktu poboru w Kiezmarku występują nieznaczne zmiany zawartości izotopów ^{239,240}Pu w poszczególnych latach obserwacji. Najwyższą zawartości izotopów ^{239,240}Pu w osadzie oznaczono w roku 2012 i wynosiła ona 52,7 mBq kg^{-1}, najniższą zaś w bieżącym roku – 2,24 mBq kg^{-1}. Od 2018 roku zawartość izotopów plutonu jest na stałym niskim poziomie a zmiany mieszczą się w zakresie ok. 8 mBq kg^{-1}.

7.4.2. Analiza zawartości ^{239,240}Pu w osadzie pobranym z Narwi w Pułtusku

Rysunek 26. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{239,240}Pu w osadach Narwi pobranych w Pułtusku w latach 2004-2025. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.

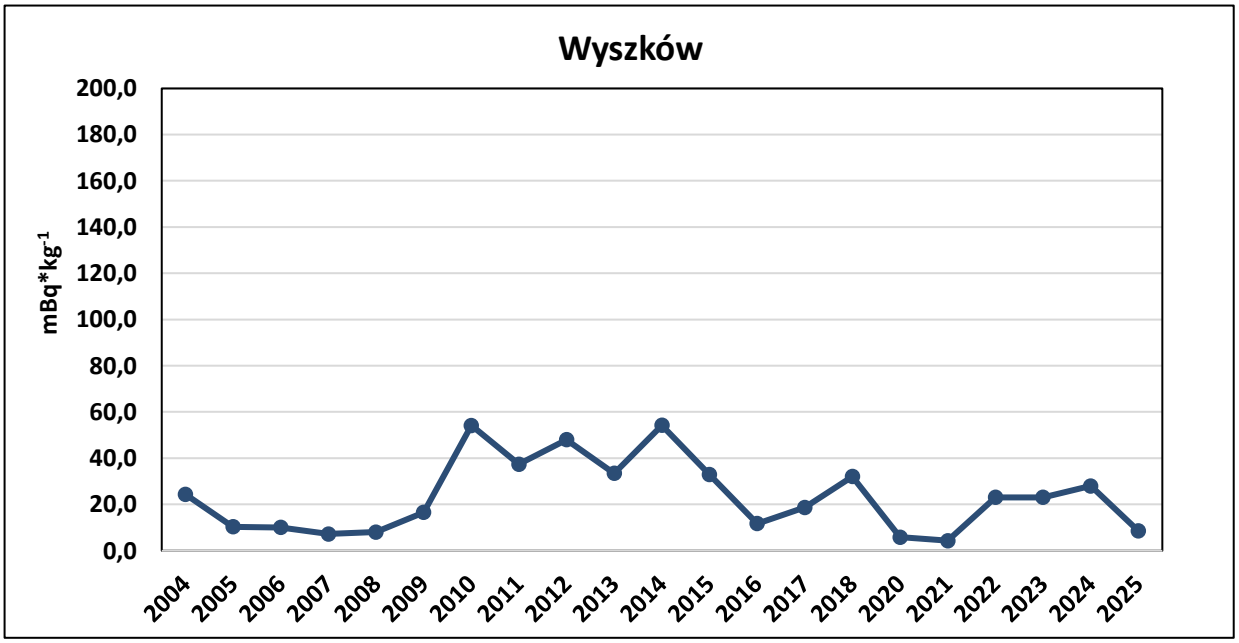
Z przedstawionej zależności wynika, że w przeciągu ponad dwudziestu lat zmiany zawartości ^{239,240}Pu w osadach zmieniały się nieznacznie, a średnie stężenie promieniotwórcze ^{239,240}Pu było na niskim poziomie. Najwyższą średnią zawartość ^{239,240}Pu odnotowano w osadzie pobranym w roku 2013, która wynosiła 32,15 mBq kg^{-1}. Na zbliżonym poziomie oznaczono izotopy plutonu jeszcze w latach 2005, 2009, 2014, 2015, 2022 i 2023. W 2025 roku w próbce osadu oznaczone średnie roczne stężenie ^{239,240}Pu miało najniższą wartość – 2,42 mBq kg^{-1}.



Rys. 26. Zawartość ^{239,240}Pu w osadach Narwi pobranych w Pułtusku w latach 2004-2025

7.4.3. Analiza zawartości ^{239,240}Pu w osadzie pobranym z Bugu w Wyszkowie

Rysunek 27. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{239,240}Pu w osadach z Bugu pobieranych w Wyszkowie w latach 2004-2025.



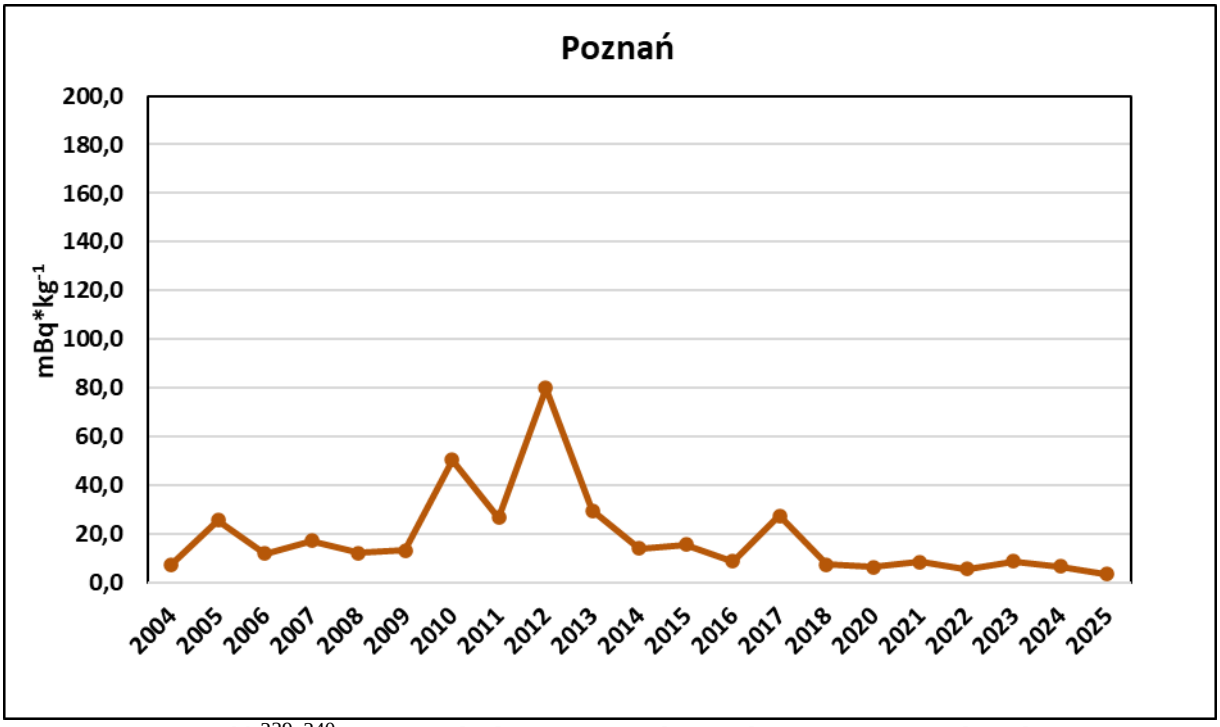
Rys. 27. Zawartość ^{239,240}Pu w osadach Bugu pobieranych w Wyszkowie w latach 2004-2025

W przypadku Wyszkowa występują widoczne zmiany zawartości izotopów ^{239,240}Pu, szczególnie po roku 2009 (Rys.27.). Po tym roku średnie roczne stężeń promieniotwórczych ^{239,240}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}Pu w stosunku do osadu. Stabilniejszą sytuację obserwujemy po roku 2018. W bieżącym roku zawartości izotopów ^{239,240}Pu w osadzie oznaczono na niższym poziomie niż w ostatnich trzech latach (8,52 mBq kg^{-1}).

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

Rysunek 28. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{239,240}Pu w osadach z Warty pobieranych w Poznaniu w latach 2004-2025.

Średni poziom stężenia promieniotwórczego ^{239,240}Pu w osadach pobieranych w Poznaniu w latach 2004-2025 był mniej wyrównany niż dla izotopu cezu oznaczanego w tym punkcie.

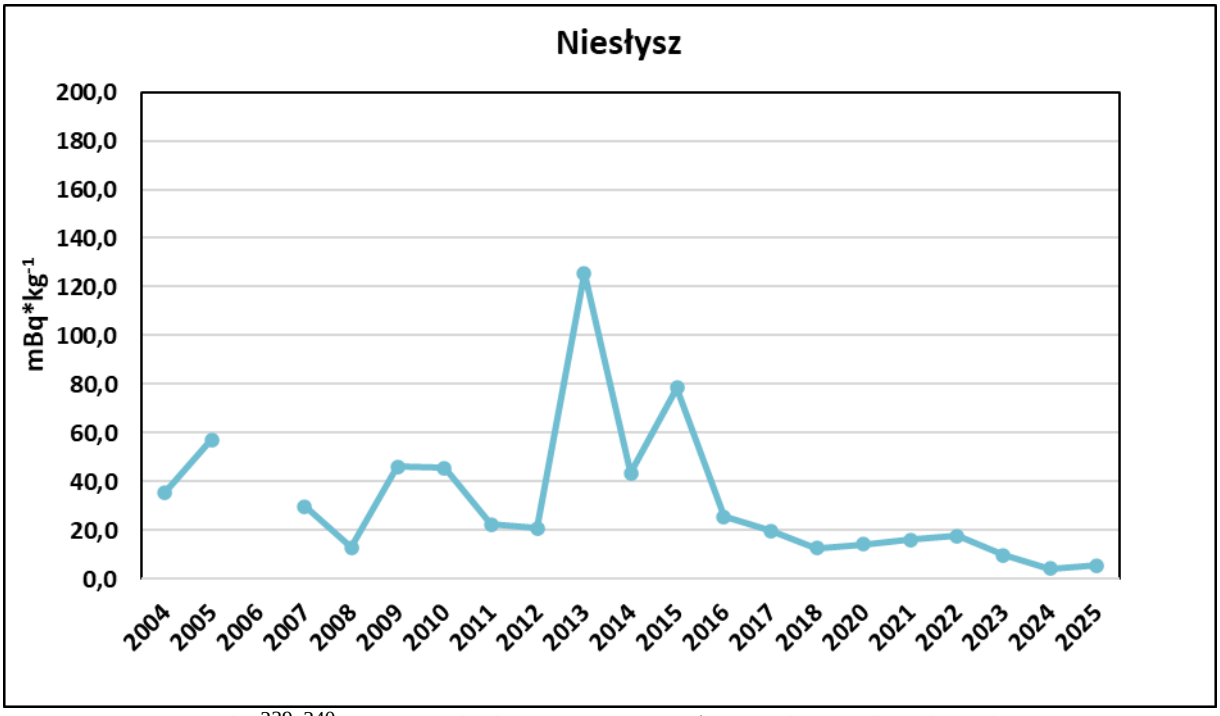


Rys. 28. Zawartość $^{239,\ 240}$Pu w osadach z Warty pobranych w Poznaniu w latach 2004-2025

Obserwujemy wyższe wartości średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{239,240}Pu w 2010 i 2012 roku, które wynosiły odpowiednio: 50,27 mBq kg^{-1}, 79,86 mBq kg^{-1}. Poza tymi dwoma wynikami zakres zmian mieścił się od 3,91 mBq kg^{-1} w roku 2025 do 29,59 mBq kg^{-1} w roku 2013.

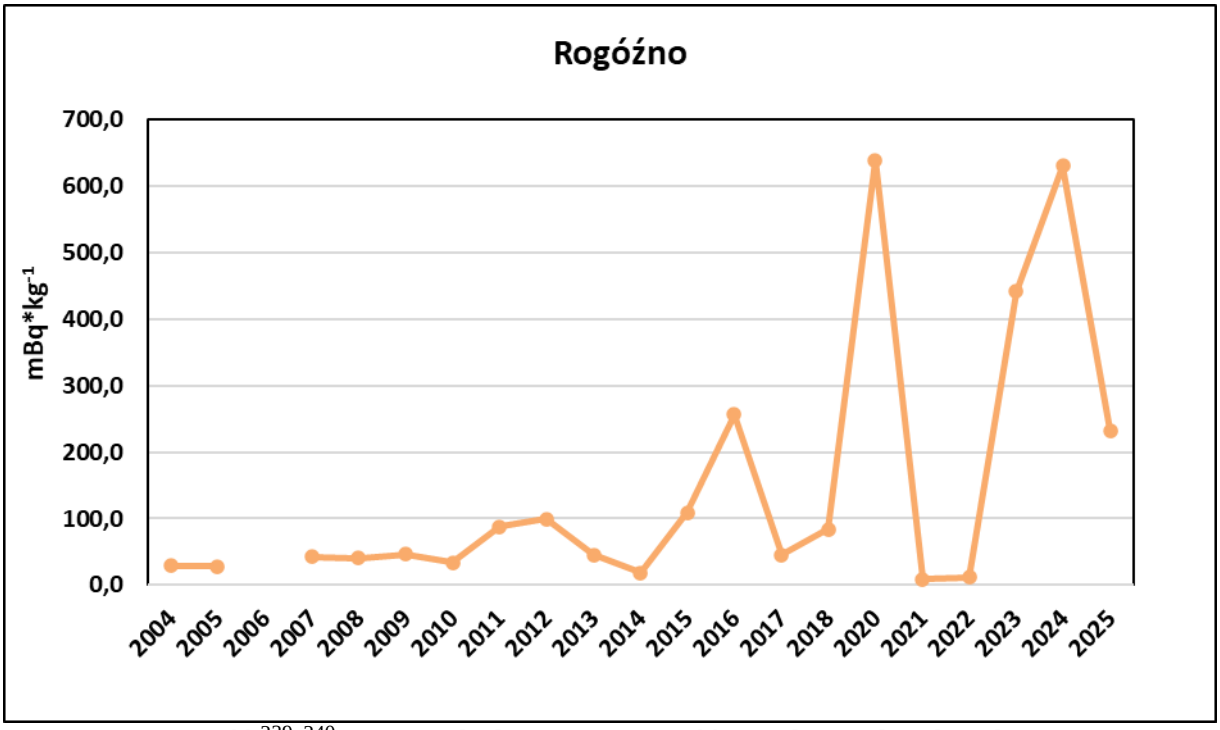
7.4.5. Analiza zawartości ^{239,240}Pu w osadzie pobranym z jeziora Niesłysz

Z przedstawionej na Rysunku 29. zależności wynika, że w przeciągu wszystkich lat badań zmiany zawartości ^{239,240}Pu w osadach jeziora Niesłysz miały bardziej zmienny przebieg niż w przypadku izotopu cezu. Podwyższoną zawartość ^{239,240}Pu stwierdzono w osadzie w roku 2013. Odbiegającą wartość odnotowano w próbce pobranej wiosną, gdzie oznaczono stężenie promieniotwórcze izotopów plutonu na poziomie 192,73 mBq kg^{-1}. W próbce 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 mBq kg^{-1}. Jednak kolejne lata badań nie potwierdziły stałości tej zmiany. Od roku 2016 obserwujemy sytuację stabilną z tendencją spadkową. W dwóch ostatnich latach oznaczono najniższe wartości izotopów plutonu, a wynosiły one odpowiednio: 4,23 mBq kg^{-1} w roku 2024 i 5,51 mBq kg^{-1} w roku 2025.



Rys. 29. Zawartość $^{239,\ 240}$Pu w osadach z jeziora Niesłysz pobranych w latach 2004-2025

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



Rys. 30. Zawartość $^{239,\ 240}$Pu w osadach z jeziora Rogóźno pobranych w latach 2004-2025

Z przedstawionej na Rysunku 30. zależności wynika, że w latach 2004 – 2010 zawartość ^{239,240}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 mBq kg^{-1}.

Najwyższa średnia roczna zawartość izotopów plutonu uzyskana w 2020 roku spowodowana była wysokim oznaczeniem zawartości $^{239,240}Pu$ w osadzie zarówno wiosennym (748,3 mBq kg^{-1}) jak i jesiennym (530,2 mBq kg^{-1}). Analizy w 2021 i 2022 roku nie potwierdziły utrzymania się wysokiej zawartości izotopów $^{239,240}Pu$. Była ona najniższa od początku badań i wynosiła odpowiednio 8,37 i 11,96 mBq kg^{-1}. Jednak w kolejnych latach (2023 i 2024) ponownie oznaczono wyższe wartości zarówno w osadzie pobranym wiosną jak i jesienią. W 2025 roku średnie roczne stężenie było niższe niż w dwóch poprzednich latach i wynosiło 232,21 mBq kg^{-1}.

8. PODSUMOWANIE

Monitoring skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych w 2025 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, wynikających przede wszystkim z różnych warunków atmosferycznych w jakich dokonywany jest pobór prób. 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 3,47; 3,14 mBq l^{-1}. Najniższą wartość uzyskano dla jezior - 2,66 mBq l^{-1}. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior wynosiły 3,37; 3,41 i 3,92 mBq l^{-1}.

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

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych wynosiło odpowiednio: dla dorzecza Wisły 1,55 Bq kg^{-1}, dla dorzecza Odry 1,91 Bq kg^{-1} i dla jezior 7,16 Bq kg^{-1}.

W przypadku ^{239,240}Pu wartości średnich rocznych stężeń promieniotwórczych były bardziej zbliżone dla osadów dorzecza Wisły i Odry, a najwyższe dla jezior i wynosiły odpowiednio: dla dorzecza Wisły – 10,63 mBq kg^{-1} , dla dorzecza Odry – 13,85 mBq kg^{-1} i dla jezior – 42,67 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 mBq kg^{-1}).

Głównym źródłem izotopów plutonu na terenie Polski był opad promieniotwórczy po próbnych wybuchach jądrowych (maksimum w latach 60-tych), gdzie stosunek izotopu ^{238}Pu do sumy izotopów ^{239,240}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}Pu w osadach dennych rzek i jezior pozostają na niskim poziomie.

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