

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

ETAP II

Raport roczny

Rok 2014

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



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

Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej

Listopad 2014

WSTĘP

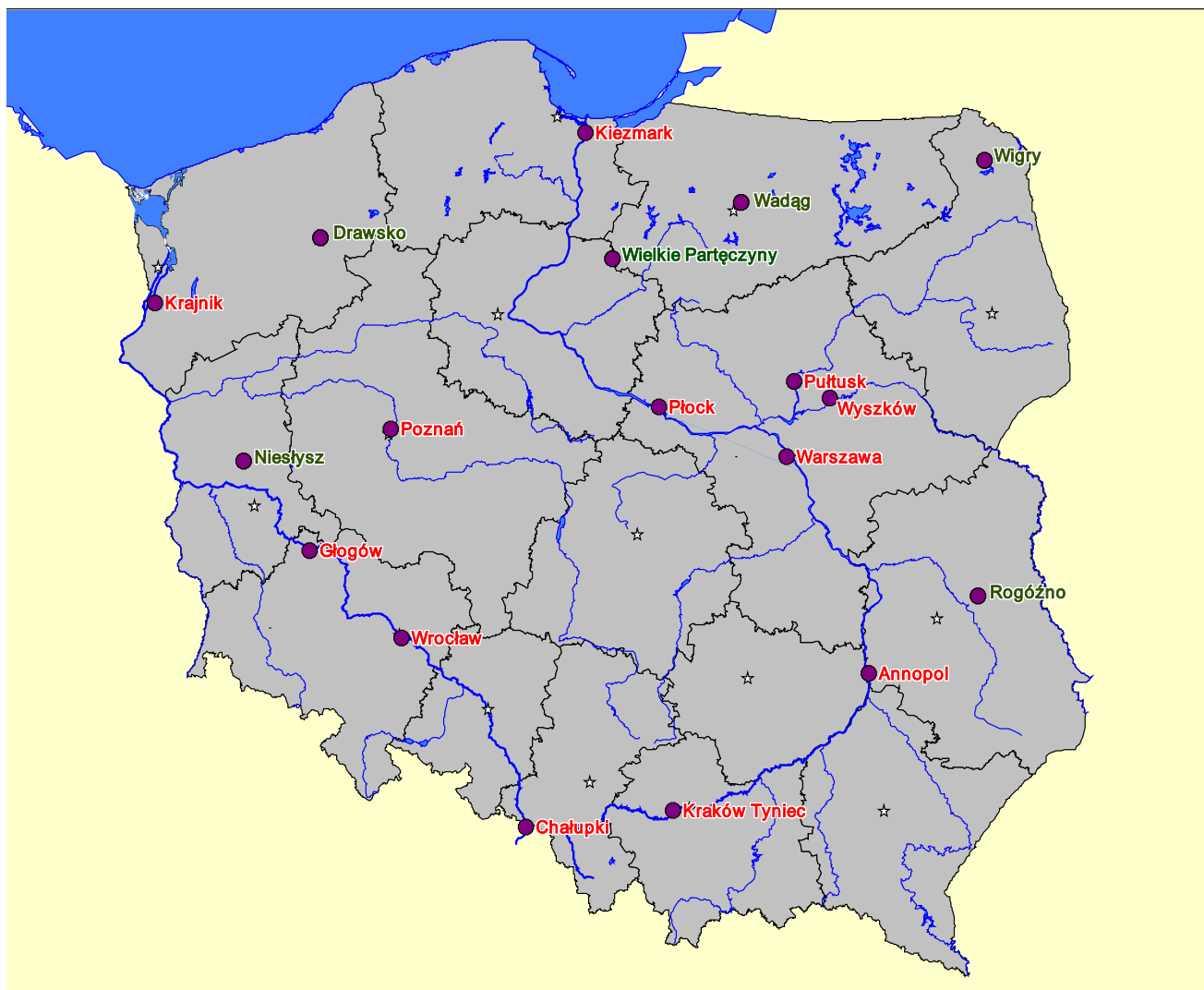
Celem pracy było oznaczenie skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych. W ramach Programu Monitoringu oznaczono ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach oraz ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$ i ^{238}Pu w osadach dennych.

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 2014 były następujące:

1. Termin wiosenny – od 11 kwietnia do 18 czerwca;
2. Termin jesienny - od 26 sierpnia do 9 października.

1. LOKALIZACJA PUNKTÓW POMIAROWYCH Z PRZEDSTAWIENIEM NA MAPIE.

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



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

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

Jezioro i miejsce poboru	Województwo	Data poboru próbek wiosna	Data poboru próbek jesień	Długość geograficzna wschodnia DMS	Szerokość geograficzna północna DMS
Drawsko, Stare Drawsko	<i>zachodnio-pomorskie</i>	16.05	9.10	16°11'51"	53°36'08"
Wadąg, Myki	<i>warmińsko-mazurskie</i>	08.06	26.08	20°32'35"	53°49'10"
Wielkie, Wielkie Partęczyny	<i>kujawsko-pomorskie</i>	3.06	27.08	19°13'02"	53°28'13"
Rogóżno	<i>lubelskie</i>	14.05	6.10	22°59'25"	51°22'03"
Niesłysz, Niesulice	<i>lubuskie</i>	15.05	7.10	15°24'05"	52°12'41"
Wigry, Stary Folwark	<i>podlaskie</i>	08.05	26.08	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	Data poboru próbek jesień	Długość geograficzna wschodnia DMS	Szerokość geograficzna północna DMS
Wisła	Kraków Tyniec	14.05	6.10	20°10'48"	50°42'50"
	Annopol	14.05	6.10	21°51'33"	50°53'10"
	Warszawa	18.06	29.08	21°00'59"	52°14'07"
	Płock	11.04	27.08	19°41'52"	52°32'50"
	Kiezmark	9.05	27.08	18°55'51"	54°15'14"
Narew	Pułtusk	11.04	26.08	21°05'08"	52°42'18"
Bug	Wyszków	11.04	26.08	21°27'22"	52°36'10"
Odra	Chałupki	15.05	7.10	18°19'10"	49°55'22"
	Wrocław	15.05	7.10	17°02'12"	51°06'34"
	Głogów	15.05	7.10	16°04'55"	51°39'11"
	Krajnik	15.05	8.10	14°28'50"	53°11'44"
Warta	Poznań	16.05	9.10	16°55'21"	52°24'30"

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

Pobór próbek i wstępna preparatyka

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

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

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

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

^{137}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 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. Granica oznaczalności stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr dla czasu pomiaru 120 min wynosi 0,45 mBq/l.

^{137}Cs , ^{238}Pu i $^{239,240}\text{Pu}$ 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 suchej masy osadu dennego.

Zasada metody oznaczania stężenia promieniotwórczego $^{239,240}\text{Pu}$ i ^{238}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 plutonu na krążkach stalowych. Aktywność izotopów plutonu mierzono metodą spektrometrii alfa. Układ pomiarowy składał się z detektorów krzemowych typu PIPS (implantowane, płaskie o pasywowanej powierzchni) umieszczonych w komorach próżniowych i połączonych z analizatorem wielokanałowym Multiport II MCA (Canberra MP2-GE) z oprogramowaniem spektrometrycznym GENIE 2000. Pomiar prowadzono przez 164000 s, granica detekcji wynosiła 0,2 mBq/ próbkę.

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

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

Stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w próbkach wody z poszczególnych miejsc poboru próbek w rzekach w okresie wiosennym i jesiennym 2014 roku oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu przedstawione są w Tabeli 3. Średnie stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach rzek mieściły się w granicach od 1,34 mBq/l w Wiśle (Annapol) do 7,67 mBq/l w Odrze (Wrocław). Zakres średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs dla dorzecza Wisły mieści się w przedziale od 1,96 (Narew, Pułtusk) do 4,01 mBq/l (Wisła Kraków) a, dla dorzecza Odry od 2,17 (Warta, Poznań) do 5,28 mBq/l (Odra, Chałupki).

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 2014r.

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	4,50 ± 0,52 ^{a)}	3,51 ± 0,40 ^{a)}	4,01 ± 0,70 ^{b)}
2.	Wisła Annapol	1,34 ± 0,20	4,34 ± 0,48	2,84 ± 2,12
3.	Wisła Warszawa	2,03±0,30	3,63±0,43	2,83 ± 1,13
4.	Wisła Płock	3,14 ± 0,38	1,98 ± 0,27	2,56 ± 0,82
5.	Wisła Kieżmark	2,49 ± 0,32	2,95 ± 0,36	2,72 ± 0,33
6.	Narew Pułtusk	2,41 ± 0,31	1,50 ± 0,22	1,96 ± 0,64
7.	Bug Wyszków	2,59 ± 0,33	1,90 ± 0,25	2,25 ± 0,49
DORZECZE ODRY				
8.	Odra Chałupki	7,67±0,83	2,88 ± 0,41	5,28 ± 3,39
9.	Odra Wrocław	4,76 ± 0,55	4,95 ± 0,56	4,86 ± 0,13
10.	Odra Głogów	4,39 ± 0,50	1,82 ± 0,25	3,11 ± 1,82
11.	Odra Krajnik	5,38 ± 0,60	1,37 ± 0,20	3,38 ± 2,84
12.	Warta Poznań	2,49 ± 0,32	1,84 ± 0,29	2,17 ± 0,46

^{a)} Liczba próbek wody

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

3.2. 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.

Najniższą wartość stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr odnotowano w próbce wody pobranej jesienią z Odry w Krajniku – 2,52 mBq/l, najwyższą zaś w próbce wody pobranej wiosną z Wisły w Krakowie – 9,24 mBq/l. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach badanych rzek wahało się od 3,19 mBq/l w wodzie z Wisły (Kiezmark) do 10,42 mBq/l w wodzie pobranej również z Wisły w Płocku. Zakres średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr jest znacznie większy dla dorzecza Wisły i mieści się w przedziale od 3,19 do 10,42 mBq/l, podczas gdy dla dorzecza Odry wynosi od 3,60 do 4,62 mBq/l.

Tabela 4. Stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły i Odry w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2014r.

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 Tynec	9,24±1,81 ^{a)}	4,55 ± 0,91 ^{a)}	6,90 ± 3,33 ^{b)}
2.	Wisła Annapol	5,58±1,03	3,41 ± 0,68	4,50 ± 1,53
3.	Wisła Warszawa	3,91±0,76	6,86 ± 1,37	5,39 ± 2,09
4.	Wisła Płock	4,69±0,89	16,15 ± 3,23	10,42 ± 8,10
5.	Wisła Kiezmark	2,81 ± 0,59	3,56 ± ,71	3,19 ± 0,53
6.	Narew Pultusk	3,46±0,66	5,23 ± 1,05	4,34 ± 1,24
7.	Bug Wyszków	6,04±1,13	4,26 ± 0,85	5,15 ± 1,26
DORZECZE ODRY				
8.	Odra Chalupki	4,37±0,79	3,72 ± 0,74	4,05 ± 0,46
9.	Odra Wrocław	3,09 ± 0,57	4,77 ± 0,95	3,93 ± 1,19
10.	Odra Głogów	3,35 ± 0,65	4,48 ± 0,90	3,92 ± 0,8
11.	Odra Krajnik	4,61±0,88	2,52 ± 0,52	3,60 ± 1,43
12.	Warta Poznań	4,21 ± 0,81	5,02 ± 1,00	4,62 ± 0,57

^{a)} Liczba próbek wody

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

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

Stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w próbkach wody z poszczególnych miejsc poboru próbek w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym 2014 roku oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu przedstawiono w Tabeli 5. Oznaczone stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach jezior mieściły się w granicach od 1,53 mBq/l jesienią w jeziorze Wigry do 6,69 mBq/l w jeziorze Rogóžno również jesienią. Zakres średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs wynosił od 1,84 mBq/l w jeziorze Wadąg do 6,14 mBq/l w jeziorze Rogóžno. Podobnie jak w latach ubiegłych najwyższe wartości stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs zarówno wiosną jak i jesienią zanotowano w próbkach wody z jeziora Rogóžno. Wpływ na poziom badanych pierwiastków może mieć ilość i rodzaj cieków wodnych wpływających do jeziora szczególnie, że jezioro Rogóžno nie jest jeziorem przepływowym, a to może powodować kumulację badanych nuklidów.

Tabela 5. Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach jezior w okresie wiosennym, i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2014r.

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	2,28 ± 0,30 ^{a)}	1,53 ± 0,22 ^{a)}	1,91 ± 0,53 ^{b)}
2	Wadąg Myki	1,64 ± 0,24	2,04 ± 0,28	1,84 ± 0,28
3	Wielkie Partęczyny	3,22 ± 0,39	3,87 ± 0,45	3,55 ± 0,46
4	Drawsko Stare Drawsko	1,67 ± 0,24	3,14 ± 0,38	2,41 ± 1,04
5	Niesłysz Niesulice	3,36 ± 0,38	5,16 ± 0,63	4,26 ± 1,27
6	Rogóžno Rogóžno	5,58 ± 0,63	6,69 ± 0,73	6,14 ± 0,78

^{a)} Liczba próbek wody

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

3.4. 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 2014r.

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	$6,73 \pm 1,28^{\text{a}}$	$2,93 \pm 0,57$	$4,83 \pm 2,69^{\text{b}}$
2	Wadąg Myki	$3,73 \pm 0,73$	$4,11 \pm 0,82$	$3,92 \pm 0,27$
3	Wielkie Partęcz. Partęczyny	$2,22 \pm 0,44$	$2,47 \pm 0,49$	$2,35 \pm 0,18$
4	Drawsko Stare Drawsko	$3,23 \pm 0,63$	$3,57 \pm 0,71$	$3,40 \pm 0,24$
5	Niesłysz Niesulice	$2,09 \pm 0,41$	$1,51 \pm 0,30$	$1,80 \pm 0,41$
6	Rogóźno Rogóźno	$8,89 \pm 1,73$	$7,29 \pm 1,50$	$8,09 \pm 1,13$

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

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

Tabela 6. zawiera stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach z poszczególnych miejsc poboru w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym 2014 roku oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu.

Najniższą wartość stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr odnotowano w próbce wody pobranej jesienią z jeziora Niesłysz – 1,51 mBq/l, najwyższą zaś w próbce wody pobranej wiosną w Rogóźnie – 8,36 mBq/l. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach badanych jezior wahało się od 1,80 mBq/l w wodzie z jeziora Niesłysz do 8,09 mBq/l w wodzie pobranej w Rogóźnie. Podobnie jak w przypadku ^{137}Cs , najwyższe wartości średnie stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr zanotowano w próbkach wody z jeziora Rogóźno.

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

Średnie stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs dla wód dorzecza Wisły, dorzecza Odry i jeziora, pobieranych w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenia promieniotwórcze przedstawiono w Tabeli 7. Najniższe średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs oznaczono w wodach dorzecza Odry w okresie jesiennym i wynosiło 2,57 mBq/l, najwyższe zaś w dorzeczu Odry – 4,94 mBq/l również jesienią.

Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach dorzeczy i jezior były na wyrównanym poziomie 3,06 – 3,39 mBq/l. Najmniejsze różnice w stężeniach promieniotwórczych ^{137}Cs odnotowano dla wód dorzecza Wisły, największe dla wód dorzecza Odry.

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 2014r.

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)}	2,64 ± 0,99 ^{b)}	2,86 ± 1,06 ^{b)}	2,74 ± 0,99 ^{b)} (14)	1,34 – 4,50
Dorzecze Odry (5)	4,94 ± 1,87	2,57 ± 1,44	3,76 ± 1,89 (10)	1,37 – 7,67
Jeziora (6)	2,96 ± 1,48	3,74 ± 1,94	3,35 ± 1,70 (12)	1,53 – 6,69
Średnia ogólna (18)	3,39 ± 1,68	3,06 ± 1,50	3,22 ± 1,58 (36)	1,34 – 7,67

^{a)} Liczba próbek wody

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

3.6. 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 2014r.

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)}	5,10 ± 2,15 ^{b)}	6,29 ± 4,50 ^{b)}	5,70 ± 3,44 ^{b)} (14)	2,81 – 16,15
Dorzecze Odry (5)	3,93 ± 0,67	4,12 ± 0,98	4,02 ± 0,80 (10)	2,59 – 5,02
Jeziora (6)	4,48 ± 2,74	3,65 ± 2,00	4,06 ± 2,33 (12)	1,51 – 8,89
Średnia ogólna (18)	4,57 ± 2,05	4,80 ± 3,17	4,69 ± 2,63 (36)	1,51 – 16,15

^{a)} Liczba próbek wody

^{b)} Wartość średnia ± OS

Średnie stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w próbkach wody były na wyrównanym poziomie i zawierały się w przedziale od 3,65 (jeziora, jesień) do 6,29 mBq/l (dorzecze Wisły, jesień). Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w dorzeczu Wisły i Odry

wynosiło odpowiednio 5,70 mBq/l i 4,02 mBq/l, a w jeziorach 4,06 mBq/l (Tabela 8). Podobnie jak w roku ubiegłym (zakres 3,01-6,22 mBq/l) najmniejsze różnice w stężeniach ^{90}Sr , zarówno dla próbek pobranych wiosną jak i jesienią, odnotowano dla wód dorzecza Odry.

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

Stosunek średnich stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr do ^{137}Cs prawie we wszystkich próbkach wody pobranej z rzek był większy od jedności (1,07-4,07), jedynie w dwóch próbkach był mniejszy od jedności (0,77 i 0,81). W wodach pobranych z jezior, w dwóch przypadkach stężenie ^{137}Cs przewyższało stężenie ^{90}Sr . Średnie roczne wartości stosunku stężenia ^{90}Sr do ^{137}Cs w wodach dorzecza Wisły, dorzecza Odry i jezior przedstawiono w Tabeli 9.

Tabela 9. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior oraz stosunek średnich rocznych stężeń w 2014r.

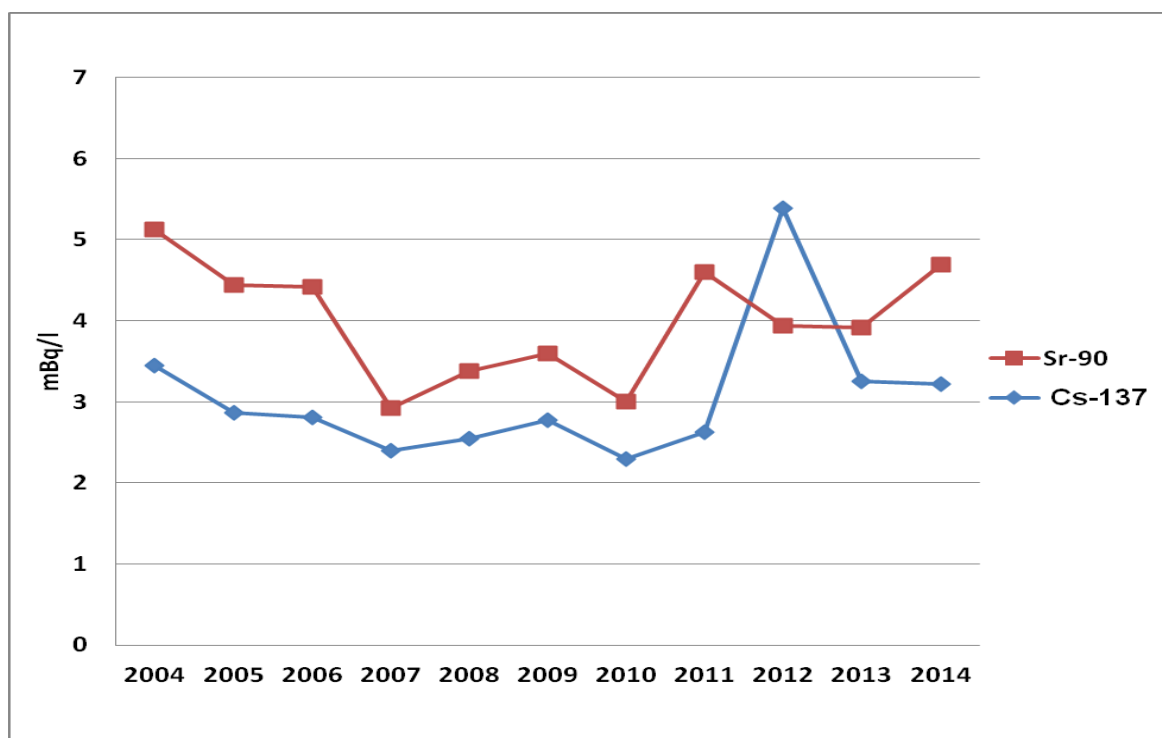
Lokalizacja poboru próbek	^{137}Cs mBq l ⁻¹ średnia roczna	^{90}Sr mBq l ⁻¹ średnia roczna	$\frac{^{90}\text{Sr}}{^{137}\text{Cs}}$
Dorzecze Wisły (7) ^{a)}	2,74 ± 0,99 ^{b)} (14)	5,70±3,44 ^{b)} (14)	2,08
Dorzecze Odry (5)	3,76 ± 1,89 (10)	4,02 ± 0,80 (10)	1,07
Jeziora (6)	3,35 ± 1,70 (12)	4,06 ± 2,33 (12)	1,21
Średnia ogólna (18)	3,22 ± 1,58 (36)	4,69 ± 2,63 (36)	1,46

^{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 – 2014. 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 naogół wyższa niż zawartość ^{137}Cs z wyjątkiem

roku 2012. Należy jednak zauważyć, że najniższe wartości rocznych średnich stężeń promieniotwórczych dla obu radionuklidów uzyskano w latach 2007 i 2010, gdzie miały miejsce wiosenne powodzie w naszym kraju. Możemy, zatem przypuszczać, że duże masy wody spowodowały rozcieńczenie oznaczanych izotopów. To przypuszczenie potwierdzają również wyższe stężenia ^{137}Cs i ^{90}Sr uzyskane w 2011 i 2012 roku, gdzie pobór prób odbywał się przy niskich i bardzo niskich poziomach wód. Zarówno w ubiegłym jak i bieżącym roku warunki pogodowe były bardziej zmienne, a stany wód w okresie poboru prób wahały się od niskich do średnich. W stosunku do ubiegłego roku stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs utrzymuje się na tym samym poziomie, natomiast odnotowano nieznaczny wzrost stężenia ^{90}Sr . Stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{90}Sr w badanych wodach pozostają nadal na bardzo niskim poziomie.



Rys.2. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach rzek i jezior w Polsce w latach 2004 – 2014.

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

4.1. 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.

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	$1,46 \pm 0,26^{\text{a}}$	$7,52 \pm 0,41^{\text{a}}$	$4,49 \pm 4,29^{\text{b}}$
2.	Wisła Annopol	$4,90 \pm 0,28$	$1,45 \pm 0,18$	$3,18 \pm 2,44$
3.	Wisła Warszawa	$4,89 \pm 0,32$	$4,01 \pm 0,23$	$4,45 \pm 0,62$
4.	Wisła Płock	$0,78 \pm 0,28$	$1,10 \pm 0,30$	$0,94 \pm 0,23$
5.	Wisła Kieźmark	$1,91 \pm 0,14$	$2,57 \pm 0,50$	$2,24 \pm 0,47$
6.	Narew Pułtusk	$8,34 \pm 0,72$	$11,25 \pm 0,72$	$9,80 \pm 2,06$
7.	Bug Wyszków	$10,10 \pm 1,04$	$1,77 \pm 0,30$	$5,94 \pm 5,89$
DORZECZE ODRY				
8.	Odra Chalupki	$13,75 \pm 1,08$	$10,05 \pm 0,56$	$11,90 \pm 2,62$
9.	Odra Wrocław	$2,42 \pm 0,28$	$3,33 \pm 0,46$	$2,88 \pm 0,64$
10.	Odra Głogów	$12,96 \pm 1,78$	$8,45 \pm 0,46$	$10,71 \pm 3,19$
11.	Odra Krajnik	$0,35 \pm 0,12$	$0,50 \pm 0,16$	$0,43 \pm 0,11$
12.	Warta Poznań	$1,03 \pm 0,24$	$1,38 \pm 0,30$	$1,21 \pm 0,25$

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

^{b)}Wartość średnia \pm 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. Zarówno najniższe jak i najwyższe stężenie

promieniotwórcze ^{137}Cs było oznaczone wiosną w osadzie pobranym z Odry. W pierwszym przypadku był to osad pobrany w Krajniku (0,35 Bq/kg), a w drugim osad pobrany w Chałupkach (13,75 Bq/kg). Średnie roczne stężenia promieniotwórcze tego izotopu zawierały się w granicach od 0,43 Bq/kg do 11,90 Bq/kg i odnosiły się do osadów pobranych na Odrze odpowiednio w Krajniku i Chałupkach.

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

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

Lp.	Miejsce poboru próbki	$^{239,240}\text{Pu}$ wiosna mBq kg ⁻¹	$^{239,240}\text{Pu}$ jesień mBq kg ⁻¹	$^{239,240}\text{Pu}$ średnia roczna mBq kg ⁻¹
DORZECZE WISŁY				
1.	Wisła Kraków Tyniec	11,10 ± 2,02 ^{a)}	43,24 ± 3,67 ^{a)}	27,15 ± 22,70 ^{b)}
2.	Wisła Annopol	61,05 ± 5,30	24,35 ± 3,37	42,68 ± 25,99
3.	Wisła Warszawa	30,75 ± 3,96	65,85 ± 5,13	48,28 ± 24,78
4.	Wisła Płock	10,24 ± 3,10	11,61 ± 1,92	10,93 ± 0,97
5.	Wisła Kiezmark	17,33 ± 3,99	26,50 ± 3,78	21,92 ± 6,48
6.	Narew Pułtusk	27,70 ± 3,99	30,38 ± 1,91	29,05 ± 1,91
7.	Bug Wyszków	93,63 ± 7,19	14,85 ± 1,63	54,22 ± 55,74
DORZECZE ODRY				
8.	Odra Chałupki	50,61 ± 3,65	63,85 ± 5,82	57,23 ± 9,36
9.	Odra Wrocław	13,92 ± 2,32	24,69 ± 3,30	19,31 ± 7,62
10.	Odra Głogów	104,05 ± 6,49	70,92 ± 7,51	87,49 ± 23,43
11.	Odra Krajnik	-	4,96 ± 1,38	2,98 ± 2,80
12.	Warta Poznań	15,15 ± 2,73	12,80 ± 3,32	13,98 ± 1,66

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

^{b)}Wartość średnia ± OS

Tabela 11 przedstawia stężenie promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych pobranych w okresie wiosennym i jesiennym w dorzeczu Wisły i Odry oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze powyższych izotopów.

Wartości średnich rocznych stężeń promieniotwórczych $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych zawiera się w granicach od 2,98 mBq/kg w osadzie z Odry (Krajnik) do 87,49 mBq/kg również w osadzie z Odry (Głogów). Po raz pierwszy w tym roku zawartość izotopów $^{239,240}\text{Pu}$ była poniżej granicy oznaczalności (2 mBq/kg) w osadzie pobranym wiosną na Odrze w Krajniku.

Stężenie promieniotwórcze ^{238}Pu w osadach dennych (podobnie jak w roku ubiegłym) było w większości przypadków mniejsze od granicy detekcji (2 mBq/kg). W przypadku dorzeczy Wisły i Odry ^{238}Pu został oznaczony w 8 z spośród 24 pobranych próbek osadów:

- dorzecze Wisły – wiosną w Wyszku (4,78 ± 1,68 mBq/ kg), Annopolu (3,09 ± 1,24 mBq/ kg), i jesienią w Warszawie (4,00 ± 2,13 mBq/ kg)
- dorzecze Odry – wiosną we Wrocławiu (3,70 ± 1,26 mBq/ kg) i Głogowie (14,04 ± 2,29 mBq/ kg) oraz jesienią w Chałupkach (3,53 ± 1,42 mBq/ kg) i Głogowie (7,37 ± 2,45 mBq/ kg)

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

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

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	4,77 ± 0,44 ^{a)}	1,56 ± 0,36 ^{a)}	3,17 ± 2,27 ^{b)}
2.	Wadąg Myki	1,61 ± 0,52	6,56 ± 0,40	4,09 ± 3,50
3.	Wielkie Partęczyny	3,84 ± 0,26	5,15 ± 0,50	4,50 ± 0,93
4.	Drawsko Stare Drawsko	3,86 ± 0,34	13,53 ± 0,78	8,70 ± 6,84
5.	Niesłysz Niesulice	7,03 ± 0,26	2,69 ± 0,34	4,86 ± 3,07
6.	Rogóźno Rogóźno	14,54 ± 1,24	23,02 ± 1,06	18,78 ± 6,00

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

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

Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu przedstawiono w Tabeli 12. Średnie roczne stężenia tego izotopu zawierały się w granicach od 3,17 Bq/kg w osadzie pobranym z jeziora Wigry do 18,78 Bq/kg w osadzie pobranym z Rogóźnie. Najniższe stężenie ^{137}Cs (1,61 Bq/kg) było oznaczone wiosną w osadzie pobranym z jeziora Wadąg, a największe (23,02 Bq/kg) w osadzie z jeziora Rogóžno. Na ogół w jeziorze Rogóžno obserwowane są większe wartości stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs (jak i pozostałych badanych izotopów).

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

W Tabeli 13. podano 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 $^{239,240}\text{Pu}$ (4,22 mBq/kg) było oznaczone jesienią w osadzie pobranym z jeziora Drawsko a największe (5,54 mBq/kg) w osadzie z jeziora Niesłysz. Średnie roczne stężenie $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych zawiera się w granicach od 2,61 mBq/kg w jeziorze Drawsko do 43,63 mBq/kg w jeziorze Niesłysz. W tym roku w trzech z pośród badanych próbek osadów zawartość izotopów $^{239,240}\text{Pu}$ była poniżej granicy oznaczalności. Były to osady pobrane wiosną z jeziora Wielkie Partęczyny i Drawsko i jesienią z jeziora Wigry.

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

Lp.	Miejsce poboru próbki	$^{239,240}\text{Pu}$ wiosna mBq kg ⁻¹	$^{239,240}\text{Pu}$ jesień mBq kg ⁻¹	$^{239,240}\text{Pu}$ średnia roczna mBq kg ⁻¹
1.	Wigry Stary Folwark	7,05 ± 1,91 ^{a)}	-	4,02 ± 4,28 ^{b)}
2.	Wadąg Myki	8,48 ± 3,23	4,97 ± 1,49 ^{a)}	6,73 ± 2,48
3.	Wielkie Partęczyny Partęczyny	-	24,33 ± 3,83	12,65 ± 16,48
4.	Drawsko Stare Drawsko	-	4,22 ± 2,68	2,61 ± 2,28
5.	Niesłysz Niesulice	33,23 ± 4,00	53,54 ± 3,09	43,39 ± 14,36
6.	Rogóžno Rogóžno	16,13 ± 3,43	20,70 ± 3,65	18,42 ± 3,23

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

^{b)}Wartość średnia ± OS

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

- jeziora Niesłysz – wiosną ($3,62 \pm 1,42$ mBq/ kg) i jesienią ($3,51 \pm 1,23$ mBq/ kg)
- jeziora Wadąg – wiosną ($4,36 \pm 2,48$ mBq/ kg).

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

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 przedstawiono w Tabeli 14. Średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w 2014 roku było najniższe jesienią w dorzeczu Wisły i wynosiło 4,24 Bq/kg, a najwyższe jesienią w jeziorach – 8,75 Bq/kg. Zarówno w dorzeczu Odry jak i Wisły średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs jesienią było niższe niż wiosną. Odwrotną zależność odnotowano w przypadku jezior. Najbardziej zbliżone stężenia pomiędzy analizowanymi punktami odnotowano dla osadów dennych pobieranych w dorzeczu Wisły Mieściły się one w zakresie od 0,78 do 11,25 Bq/kg. Dla dorzecza Wisły określono również najniższe średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs – 4,48Bq/kg.

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

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)}	4,63 ± 3,56 ^{b)}	4,24 ± 3,80	4,48 ± 3,54 (14)	0,78 – 11,25
Dorzecze Odry (5)	6,10 ± 6,67	4,74 ± 4,28	5,42 ± 4,95 (10)	0,35 – 13,75
Jeziora (6)	5,94 ± 4,56	8,75 ± 8,16	7,35 ± 6,47 (12)	1,56 – 23,02
Średnia ogólna (18)	5,47 ± 4,64	5,88 ± 5,78	5,68 ± 4,68 (36)	0,35 – 23,02

^{a)} Liczba próbek osadów dennych

^{b)} Wartość średnia ± OS

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

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

Lokalizacja poboru próbek	$^{239,240}\text{Pu}$ mBq kg ⁻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)}	35,97 ± 30,76 ^{b)}	30,97 ± 18,56	33,47 ± 24,54	10,24 – 93,63
Dorzecze Odry (5)	36,95 ± 41,79	35,44 ± 30,10	36,20 ± 34,34	4,96 – 104,05
Jeziora (6)	11,15 ± 12,18	18,13 ± 19,74	14,64 ± 16,09	2,68 – 53,54
Średnia ogólna (18)	27,97 ± 30,64	27,93 ± 22,45	27,95 ± 23,23	2,68 – 104,05

^{a)} Liczba próbek osadów dennych

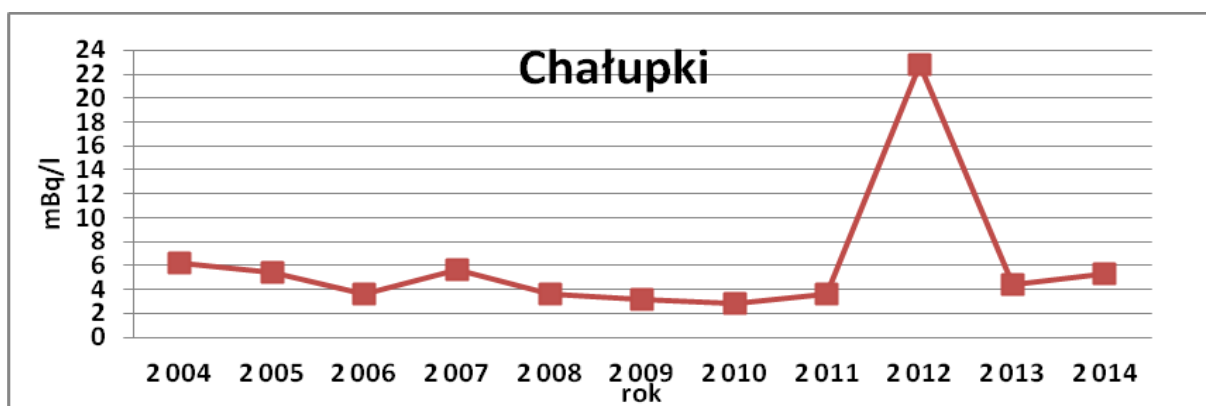
^{b)} Średnia ± OS

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 dorzeczy Wisły i Odry było na wyrównanym poziomie i wynosiły odpowiednio 33,47 mBq/kg i 36,20 mBq/kg, Natomiast w jeziorach było dwukrotnie niższe i wynosiło 14,64 mBq/kg. Najmniejsze różnice stężeń tego izotopu występowały w jeziorach.

5. ZMIANY WARUNKÓW RADIOLOGICZNYCH NA PRZESTRZENI LAT.

5.1. Analiza zawartości ^{137}Cs w wodach dorzecza Odry dla wybranych punktów badawczych na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

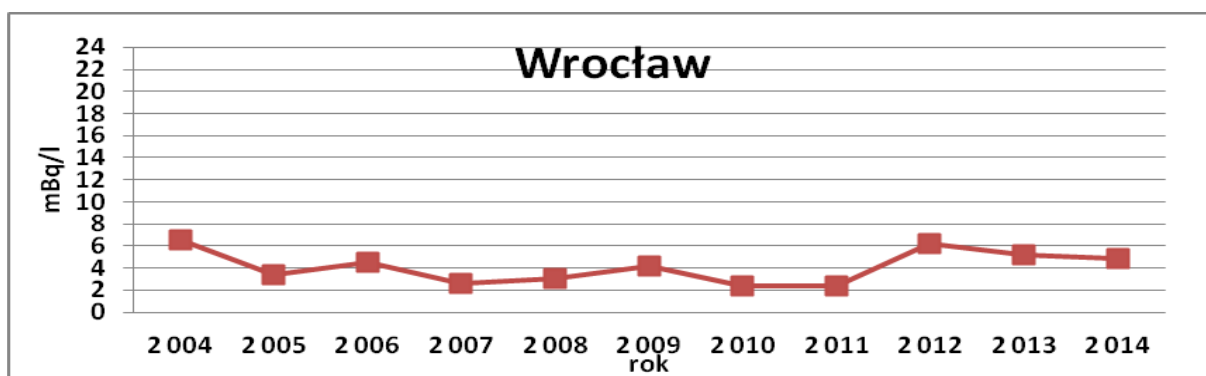
Rysunki 3- 6 przedstawiają przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w wodach dorzecza Odry dla wybranych czterech punktów pomiarowych w latach 2004 – 2014. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu. Aby była możliwość porównania nie tylko zawartości ^{137}Cs w poszczególnych latach w danym punkcie poboru, ale również pomiędzy poszczególnymi punktami na wszystkich wykresach została zachowana ta sama skala.



Rys. 3. Zawartość ¹³⁷Cs w wodach Odry pobranej w Chałupkach w latach 2004-2014.

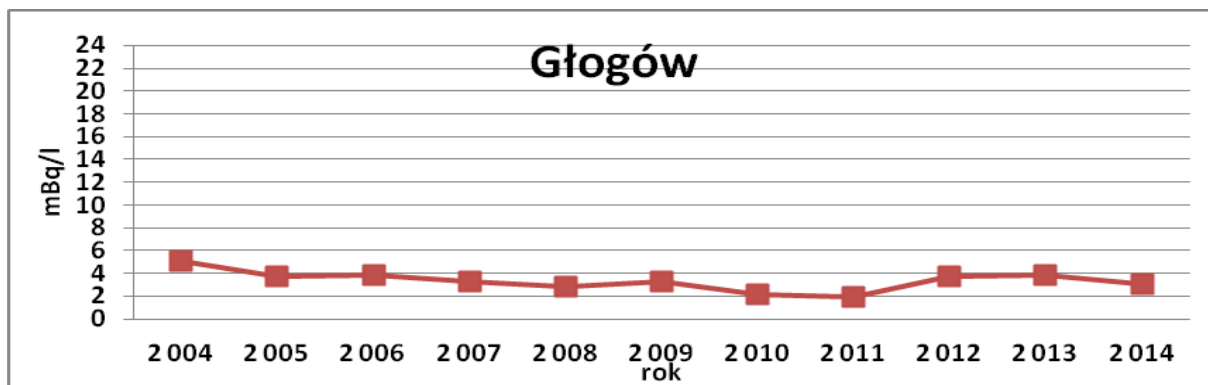
Średni poziom stężenia promieniotwórczego ¹³⁷Cs w wodzie pobieranej w Chałupkach przez wszystkie lata obserwacji był dosyć wyrównany. Jedynie w roku 2012 zanotowano niewielki wzrost zawartości ¹³⁷Cs. Podwyższona wartość średniej roczna ¹³⁷Cs w wodzie spowodowana została oznaczonym stężeniem promieniotwórczego tego izotopu w próbce wiosennej (40,72 mBq/l), które można jedynie tłumaczyć czasowym wpływem wód innego pochodzenia w to miejsce. Trwałości tej zmiany nie potwierdziły badania jesienne, w których oznaczone stężenie promieniotwórcze ¹³⁷Cs w wodzie wynosiło 4,95 mBq/kg.

Należy jednak podkreślić, że pomimo odnotowanej zmiany zawartość ¹³⁷Cs w wodzie z Odry w Chałupkach pozostaje na niskim poziomie.



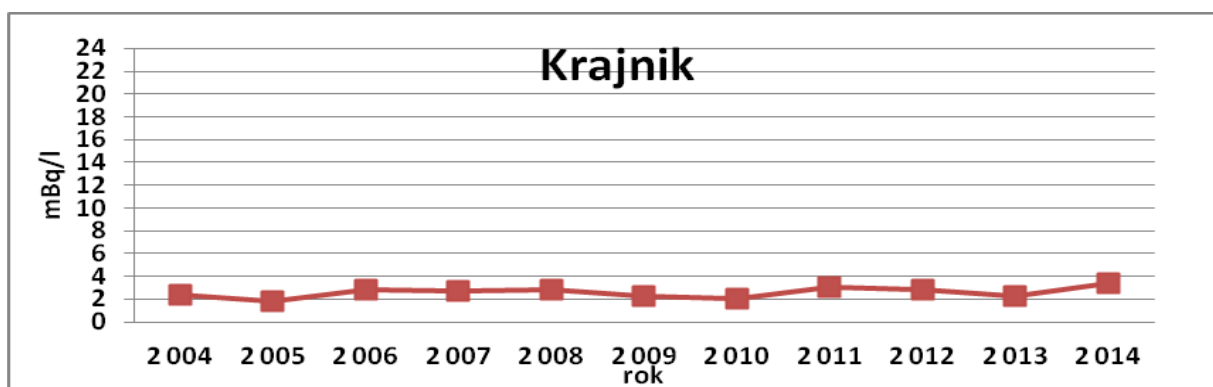
Rys. 4. Zawartość ¹³⁷Cs w wodach Odry pobranej we Wrocławiu latach 2004-2014.

W przypadku wody pobieranej we Wrocławiu najwyższe wartość stężenia promieniotwórczego ¹³⁷Cs odnotowano w 2004 i 2012 roku. Jednak w stosunku do pozostałych wartości nie są to wyniki znacznie odbiegające.



Rys. 5. Zawartość ^{137}Cs w wodach Odry pobranej w Głogowie latach 2004-2014.

Średnia roczna zawartość ^{137}Cs w wodzie pobieranej w Głogowie w latach 2004-2014 mieści się w zakresie od 1,95 do 5,08 Bq/l, a maksymalną wartość stężenia promieniotwórczego cezu odnotowano w pierwszym roku badań.

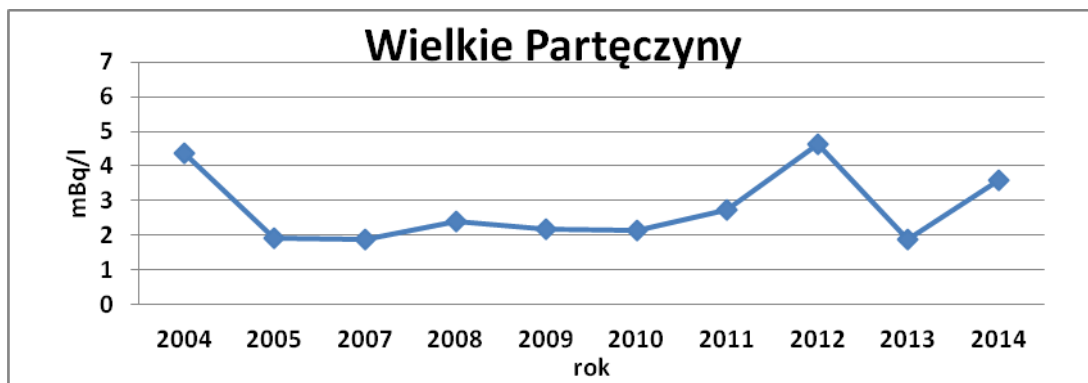


Rys. 6. Zawartość ^{137}Cs w wodach Odry pobranej w Krajniku latach 2004-2014.

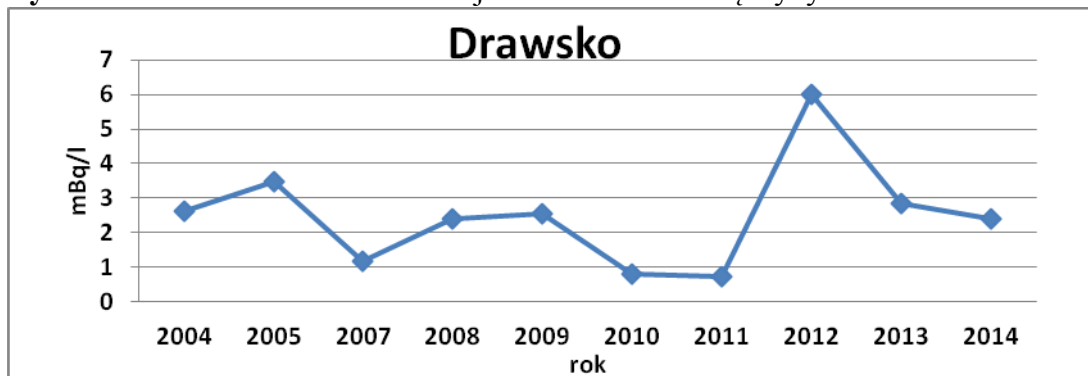
W punkcie poboru w Krajniku nie zanotowano znaczących zmian na przestrzeni lat pomiarowych, a średnie roczne zawartości ^{137}Cs w wodzie są na bardzo niskim poziomie.

5.2. Analiza zawartości ^{137}Cs w wodach jeziornych dla dwóch wybranych lokalizacji na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w wodach z dwóch jezior w latach 2004 – 2014 przedstawiono na Rys.7 i 8. Podane wartości są średnimi rocznymi w poszczególnych latach.



Rys. 7. Zawartość ^{137}Cs w wodzie z jeziora Wielkie Partęczyny w latach 2004-2014.



Rys. 8. Zawartość ^{137}Cs w wodzie z jeziora Drawsko w latach 2004-2014.

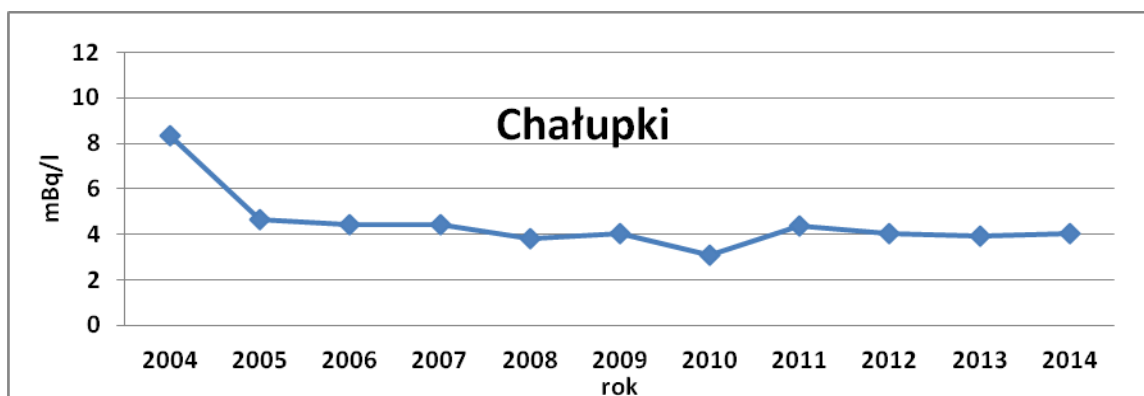
Z przedstawionej zależności wynika, że w przeciągu jedenastu lat dla obu lokalizacji zmiany zawartości ^{137}Cs w wodach miały podobny przebieg i mieściły się w zakresie od 1,18 do 6,02 mBq/l. Nieznaczny wzrost zawartości badanego izotopu dla obu jezior odnotowano w roku 2012. Jednak przy tak niskich stężeniach nie można mówić o znaczących zmianach.

5.3. Analiza zawartości ^{90}Sr w wodach dorzecza Odry dla wybranych punktów badawczych na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

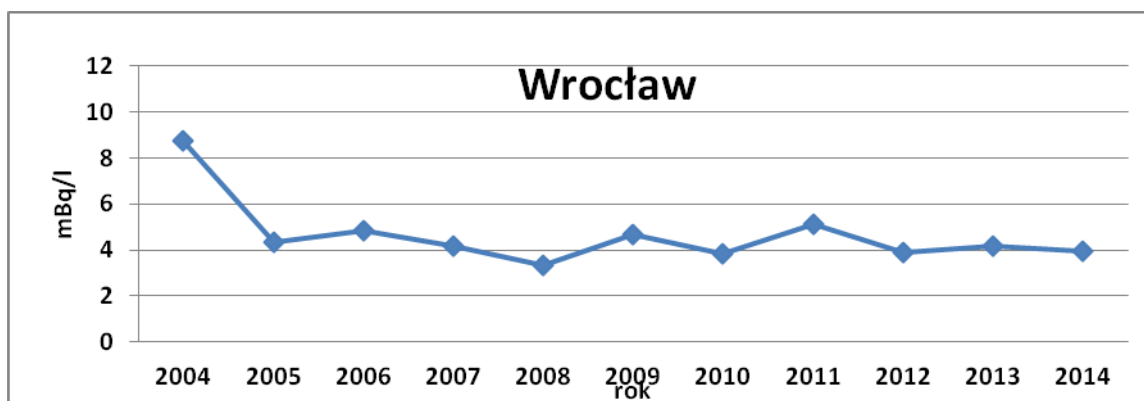
Rysunki: 9, 10, 11 i 12 przedstawiają przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr w wodach dorzecza Odry dla poszczególnych punktów pomiarowych w latach 2004 – 2014. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.

Na przestrzeni lat średnie stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr dla przedstawionych punktów pomiarowych dorzecza Odry mieści się w dość wąskim zakresie od 2,44 do 8,75 mBq/l. Podobnie jak w przypadku ^{137}Cs najwyższe wartości odnotowano dla wszystkich analizowanych punktów w pierwszych latach obserwacji.

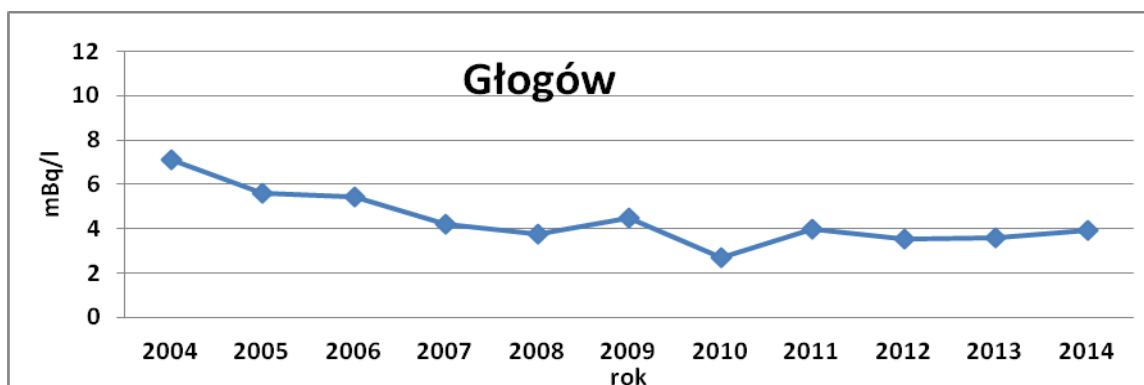
Podobnie dla wszystkich punktów od roku 2007 poziom średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr jest bardzo wyrównany. Szczególnie jest to widoczne w dwóch ostatnich latach obserwacji. Być może jest to spowodowane bardzo zbieżnymi warunkami atmosferycznymi, a w konsekwencji podobnymi poziomami wód podczas poboru prób w tych latach.



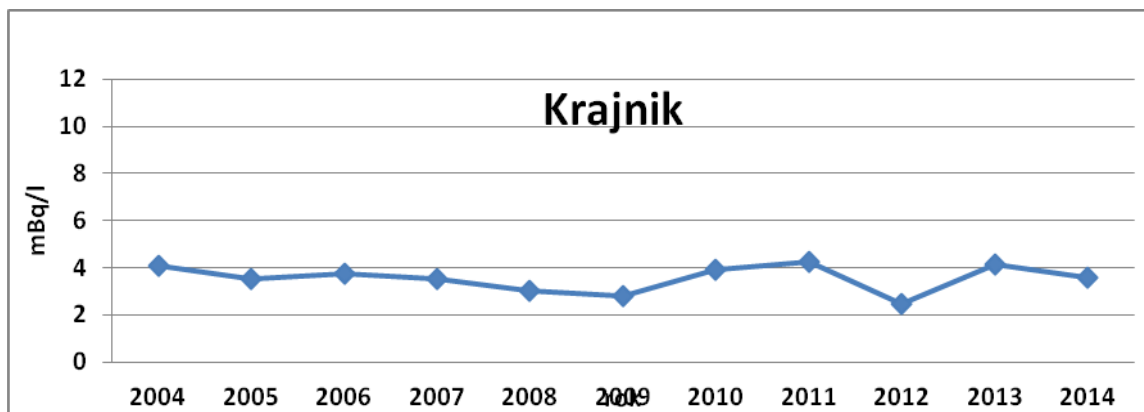
Rys. 9. Zawartość ^{90}Sr w wodach Odry pobranej w Chałupkach w latach 2004-2014.



Rys. 10. Zawartość ^{90}Sr w wodach Odry pobranej we Wrocławiu w latach 2004-2014.



Rys. 11. Zawartość ^{90}Sr w wodach Odry pobranej w Głogowie w latach 2004-2014.

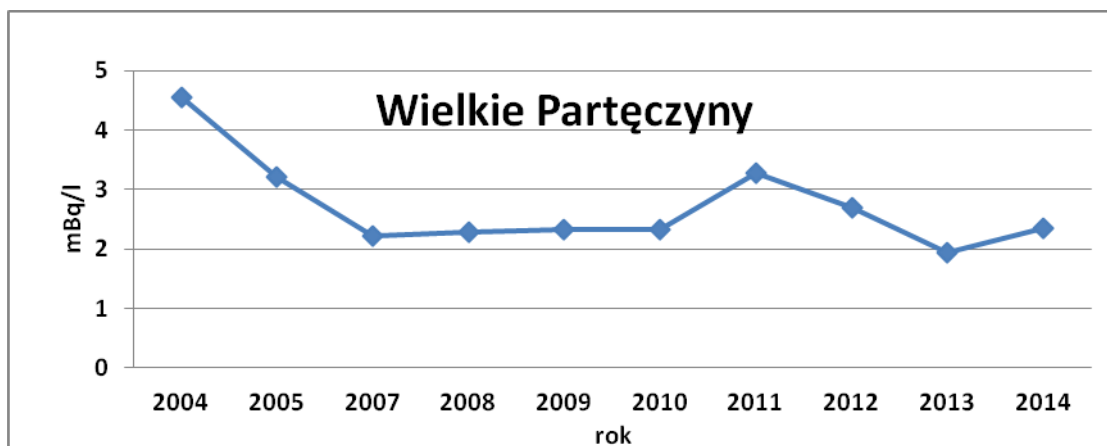


Rys. 12. Zawartość ^{90}Sr w wodach Odry pobranej w Krajniku w latach 2004-2014.

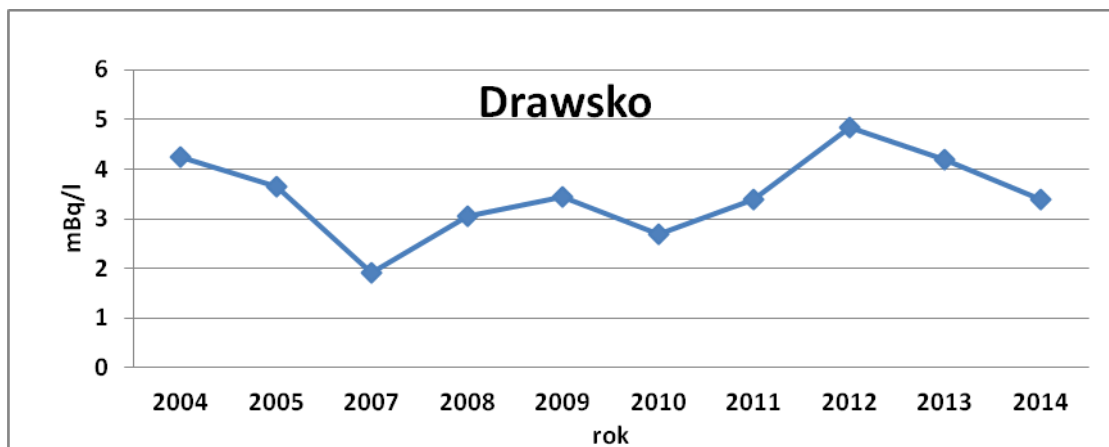
Najmniejszy zakres i najniższe wartości średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr (podobnie jak dla cezu) odnotowano dla próbek wody pobieranej w Krajniku (Rys. 12.)

5.4. Analiza zawartości ^{90}Sr w wodach jeziornych dla dwóch wybranych lokalizacji na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr w wodach z dwóch jezior w latach 2004 – 2014 przedstawiono na Rys. 13 i 14. Podane wartości są średnimi rocznymi w poszczególnych latach.



Rys. 13. Zawartość ^{90}Sr w wodach jeziora Wielkie Partęczyny w latach 2004-2014.

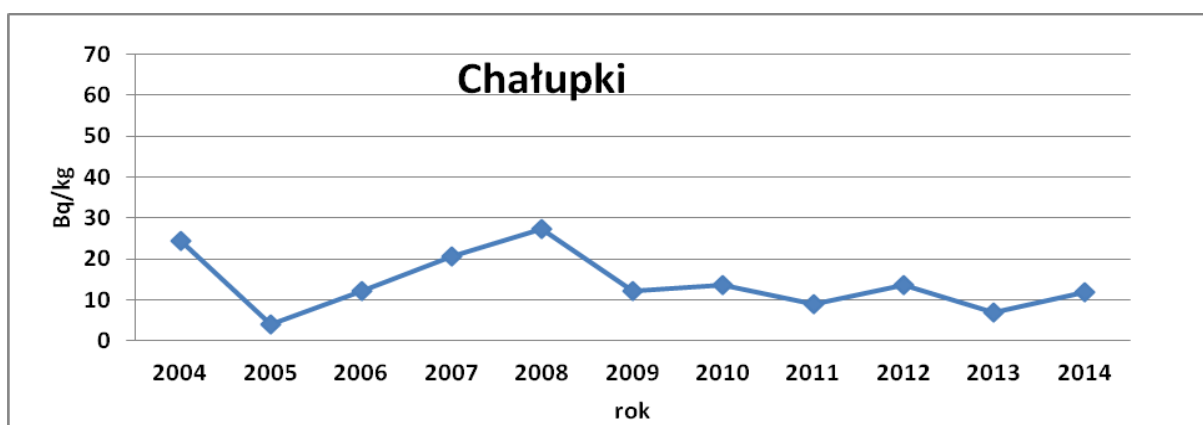


Rys. 14. Zawartość ^{90}Sr w wodach jeziora Drawsko w latach 2004-2014.

Od 2004 do 2007 roku obserwujemy dla obu punktów tendencję spadkową średnich stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr . W kolejnych latach zawartość ^{90}Sr zmieniała się nieznacznie przy nieco wyższym stężeniu tego izotopu w jeziorze Drawsko (Rys. 14.). Należy jednak podkreślić, że obserwowane fluktuacje mieszczą się w zakresie od 1,93 do 4,85 mBq/l.

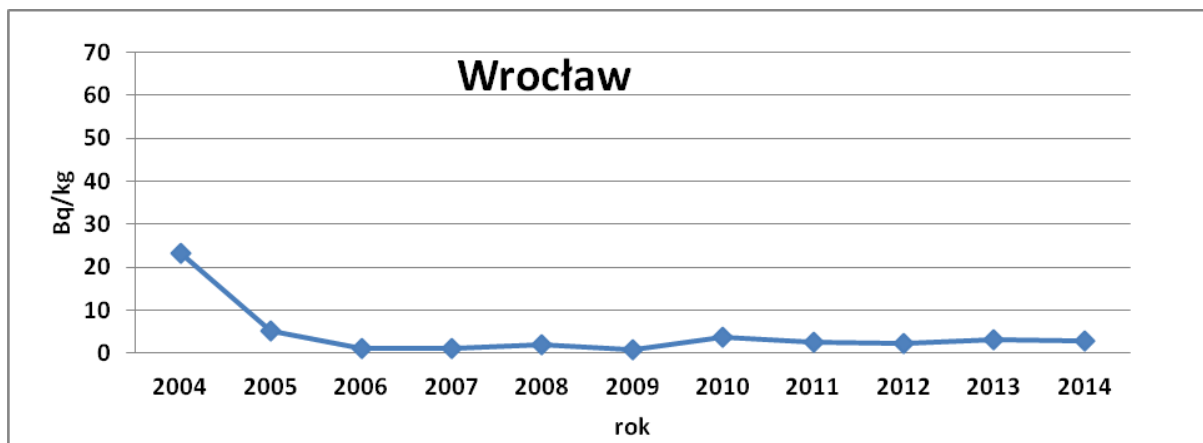
5.5. Analiza zawartości ^{137}Cs w osadach dennych dorzecza Odry dla wybranych punktów badawczych na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Rysunki: 15, 16, 17 i 18 przedstawiają przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w osadach dorzecza Odry dla czterech punktów pomiarowych w latach 2004 – 2014. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.



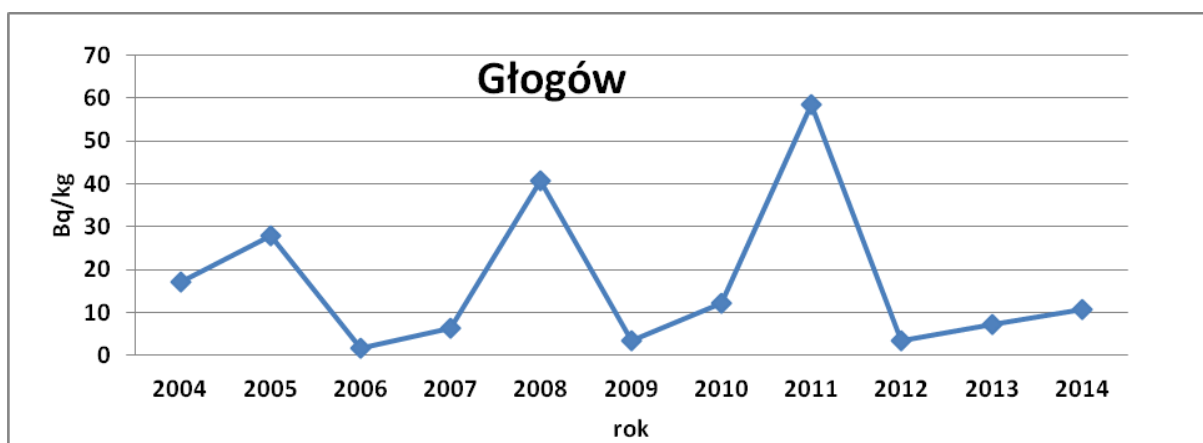
Rys. 15. Zawartość ^{137}Cs w osadach z Odry pobranych w Chałupkach w latach 2004-2014.

W przypadku punktu poboru w Chałupkach występują zmiany zawartości izotopów ^{137}Cs w poszczególnych latach obserwacji. Na te fluktuacje może 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 .



Rys. 16. Zawartość ^{137}Cs w osadach z Odry pobranych we Wrocławiu w latach 2004-2014.

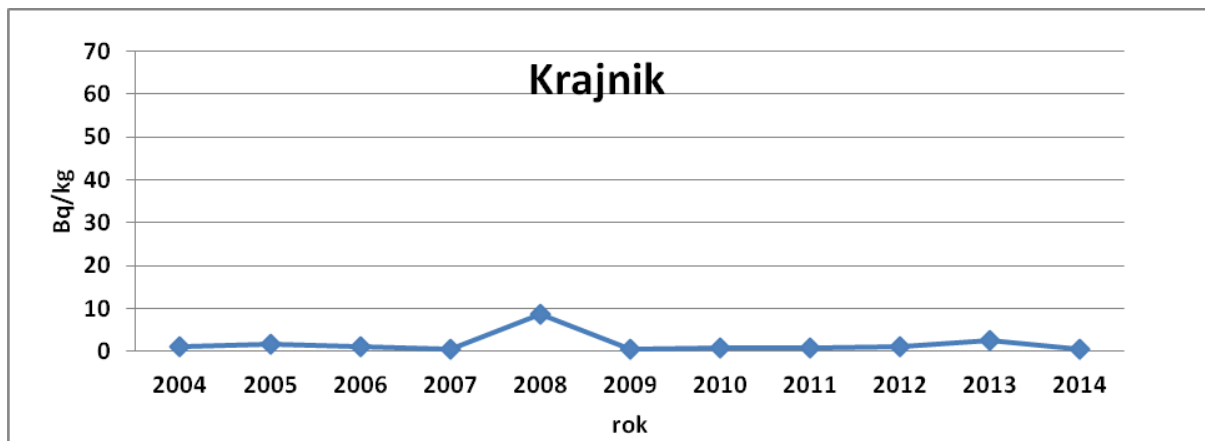
W punkcie poboru we Wrocławiu, nieco wyższe wartości średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs odnotowano w pierwszych latach obserwacji. W kolejnych latach zawartość ^{137}Cs w osadach była na niskim poziomie i jednocześnie była bardzo stabilna.



Rys. 17. Zawartość ^{137}Cs w osadach z Odry pobranych w Głogowie w latach 2004-2014.

W punkcie poboru w Głogowie występują jeszcze większe zmiany zawartości izotopów ^{137}Cs w poszczególnych latach obserwacji niż w Chałupkach. Tutaj podobnie jak w Chałupkach obserwowano dużą zmienność poziomu wód podczas poboru prób, zarówno

między poszczególnymi latami, jak nawet między poborem wiosennym i jesiennym. Wyższe poziomy wód wiążą się z większym przedostawianiem się różnego rodzaju gleb do rzeki. Mogą się one charakteryzować większą w stosunku do osadu zawartością ^{137}Cs .

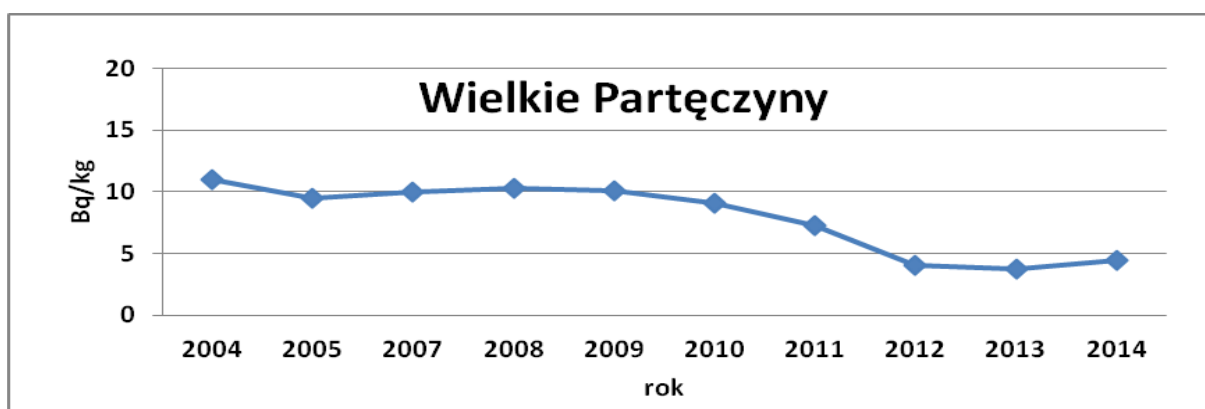


Rys. 18. Zawartość ^{137}Cs w osadach z Odry pobranych w Krajiniku w latach 2004-2014.

W przeciągu wszystkich lat badań bardzo wyrównany i najniższy poziom zawartości izotopu ^{137}Cs obserwowano w punkcie poboru usytuowanym w Krajiniku.

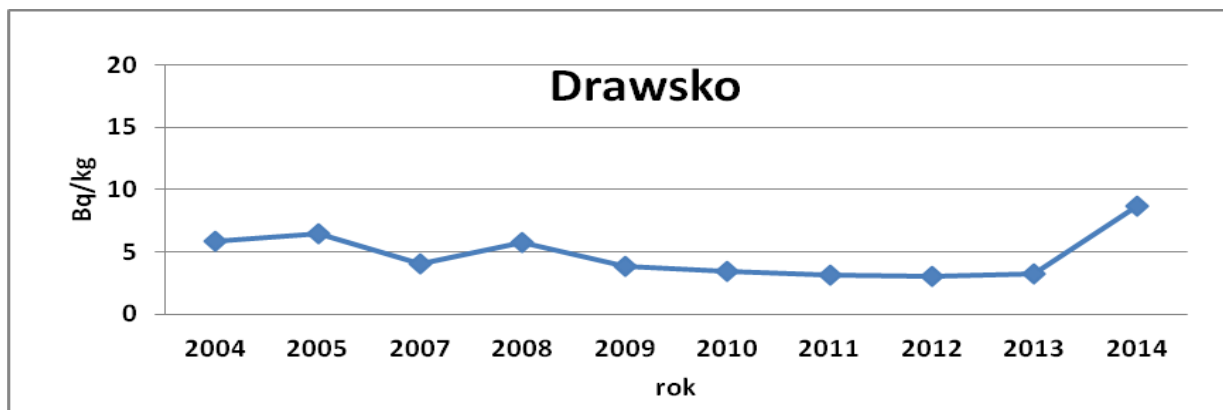
5.6. Analiza zawartości ^{137}Cs w osadach dennych dla dwóch wybranych lokalizacji na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Na Rysunkach 19 i 20 pokazano przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w osadach dwóch jezior w latach 2004 – 2014. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.



Rys. 19. Zawartość ^{137}Cs w osadach jeziora Wielkie Partęczyny pobranych w latach 2004-2014.

Od początku prowadzenia badań do roku 2010 obserwujemy dla jeziora Wielkie Partęczyny bardzo wyrównany poziom stężenia promieniotwórczego badanego izotopu. Przez kolejne dwa lata (2011 i 2012) obserwujemy spadek zawartość ^{137}Cs , a od roku 2012 stężenie promieniotwórcze utrzymuje się na takim samym poziomie.

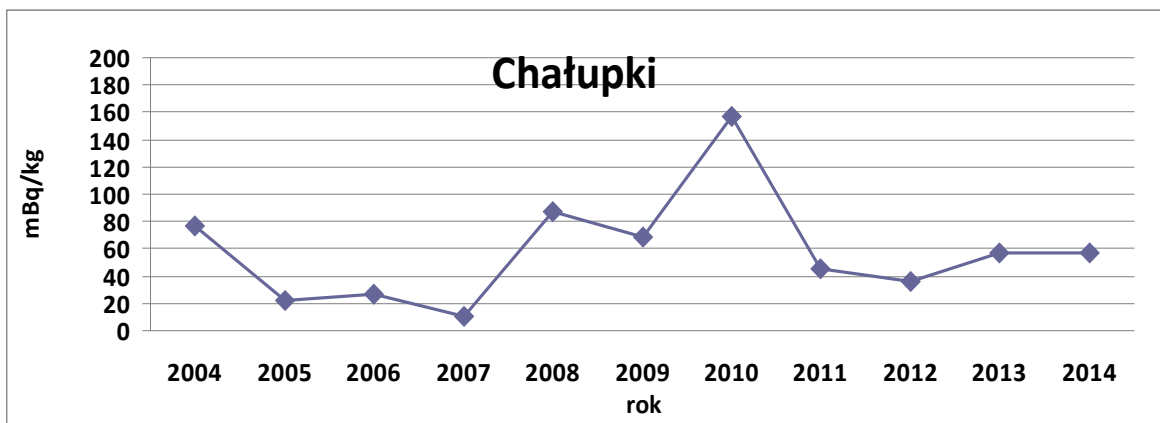


Rys. 20. Zawartość ^{137}Cs w osadach jeziora Drawsko pobranych w latach 2004-2014.

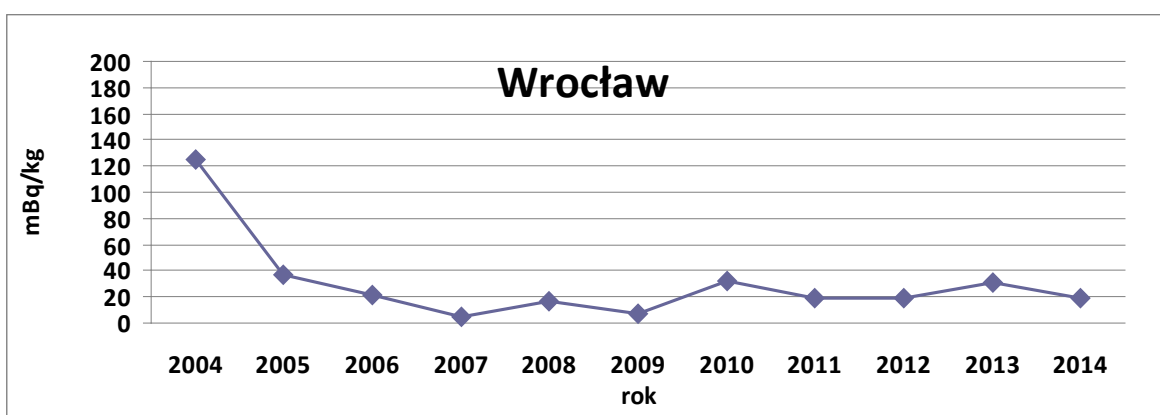
W przypadku jeziora Drawsko widzimy bardziej wyrównany poziom zawartość ^{137}Cs w poszczególnych latach badawczych. Mieści się on w zakresie od 3,06 do 8,7 Bq/kg. Jednocześnie zawartość ^{137}Cs w latach 2004-2013 była nieco wyższa w jeziorze Wielkie Partęczyny niż w jeziorze Drawsko.

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

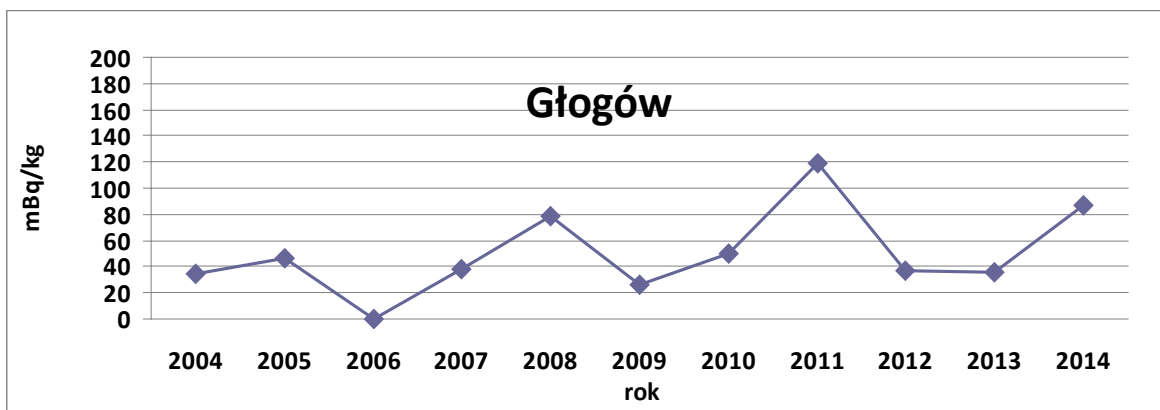
Rysunki 21-24 przedstawiają przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dorzecza Wisły dla czterech wybranych punktów pomiarowych w latach 2004 – 2014. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu. Zakres średnich stężeń określonych w latach 2004-2014 dla czterech omawianych punktów zawiera się od pojedynczych mBq/kg do ok. 160 mBq/kg.



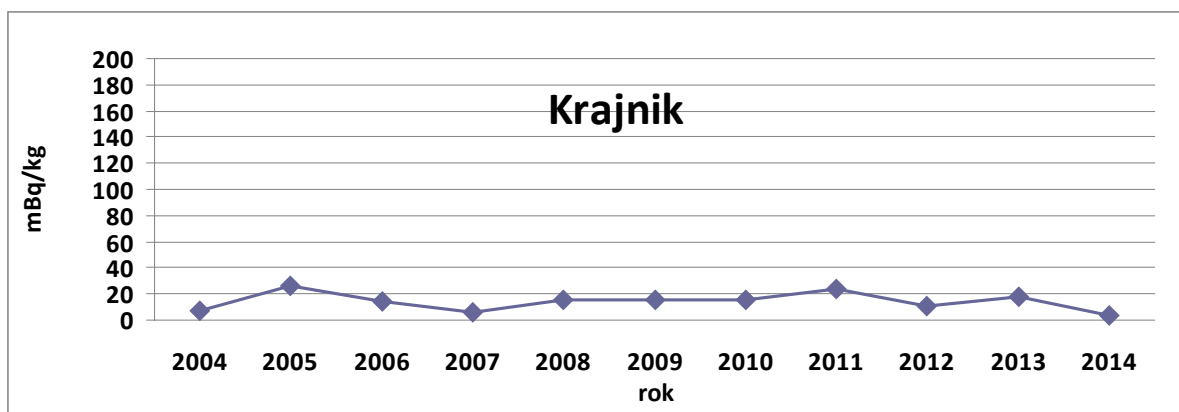
Rys. 21. Zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach Odry pobranych Chałupkach w latach 2004-2014.



Rys. 22. Zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach Odry pobranych we Wrocławiu w latach 2004-2014.



Rys. 23. Zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach Odry pobranych w Głogowie w latach 2004-2014.

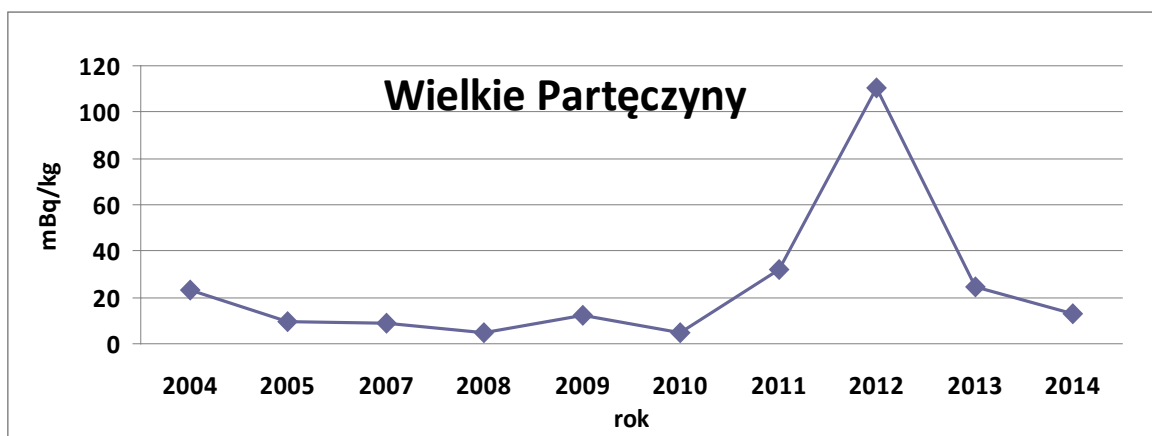


Rys. 24. Zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach Odry pobranych w Krajniku w latach 2004-2014.

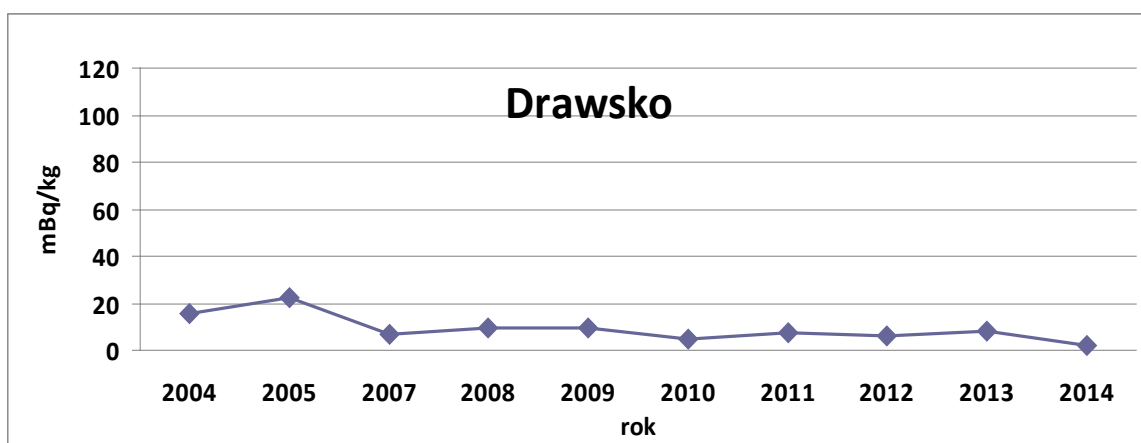
W przypadku zawartości izotopów $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych dorzecza Odry obserwujemy analogiczną sytuację jak w przypadku zawartości ^{137}Cs . Na przestrzeni wszystkich lat badań najbardziej wyrównany i najniższy poziom zawartości izotopów $^{239,240}\text{Pu}$ obserwowano w punkcie poboru usytuowanym w Krajniku (Rys. 24). Podobny przebieg ma krzywa dla punktu poboru we Wrocławiu (Rys. 22.), z tym, że tam nieco wyższe wartości średnich stężeń promieniotwórczych $^{239,240}\text{Pu}$ odnotowano w pierwszych latach monitoringu. W przypadku pozostałych dwóch punktów dorzecza Odry 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 ^{137}Cs w stosunku do osadu.

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

Na Rysunku 25 i 26 przedstawiono przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych $^{239, 240}\text{Pu}$ w osadach jezior Wielkie Partęczyny i Drawsko w latach 2004 – 2014. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.



Rys. 25. Zawartość $^{239, 240}\text{Pu}$ w osadach z jeziora Wielkie Partęczyny pobranych w latach 2004-2014.

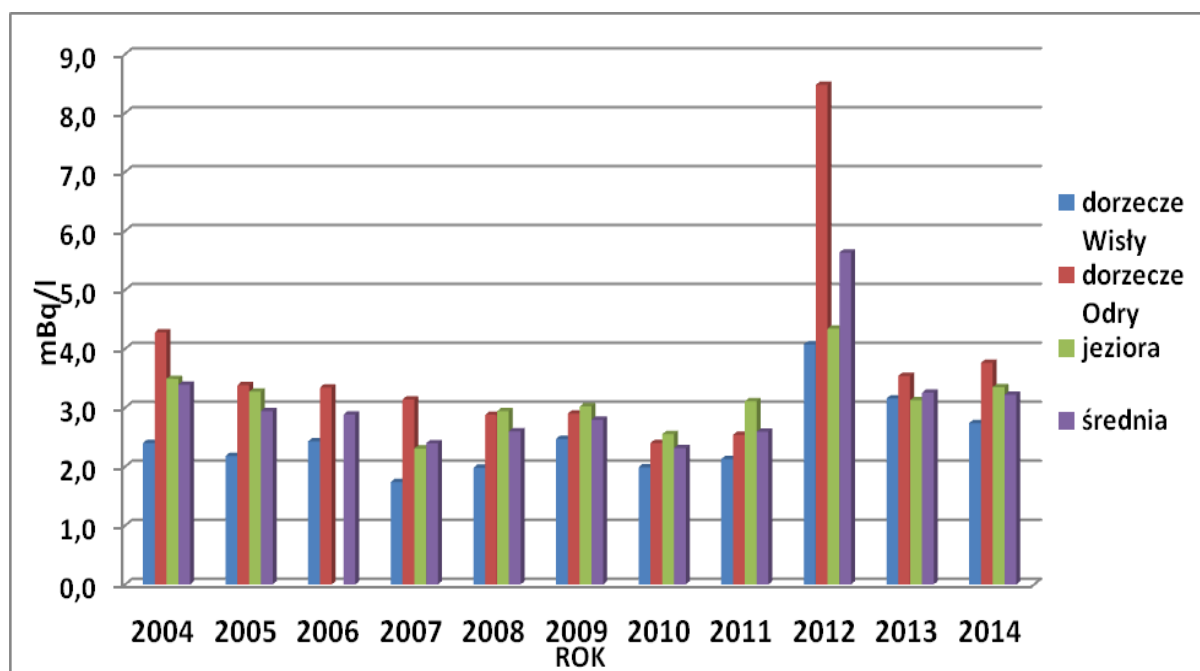


Rys. 26. Zawartość $^{239, 240}\text{Pu}$ w osadach z jeziora Drawsko pobranych w latach 2004-2014.

Z przedstawionej zależności wynika, że w przeciągu siedmiu lat dla obu lokalizacji zmiany zawartości $^{239, 240}\text{Pu}$ w osadach miały bardzo zbliżony przebieg, a średnie stężenie promieniotwórcze $^{239, 240}\text{Pu}$ w obu jeziorach było na niskim poziomie. Podwyższoną zawartość $^{239, 240}\text{Pu}$ odnotowano w osadzie z jeziora Wielkie Partęczyny w latach 2011-2014. Szczególnie odbiegającą wartość odnotowano w roku 2012, gdzie w próbce pobranej wiosną oznaczono stężenie promieniotwórcze izotopów plutonu na poziomie 179,44 mBq/kg. W próbce jesiennej nie odnotowano jednak już tak dużej wartości.

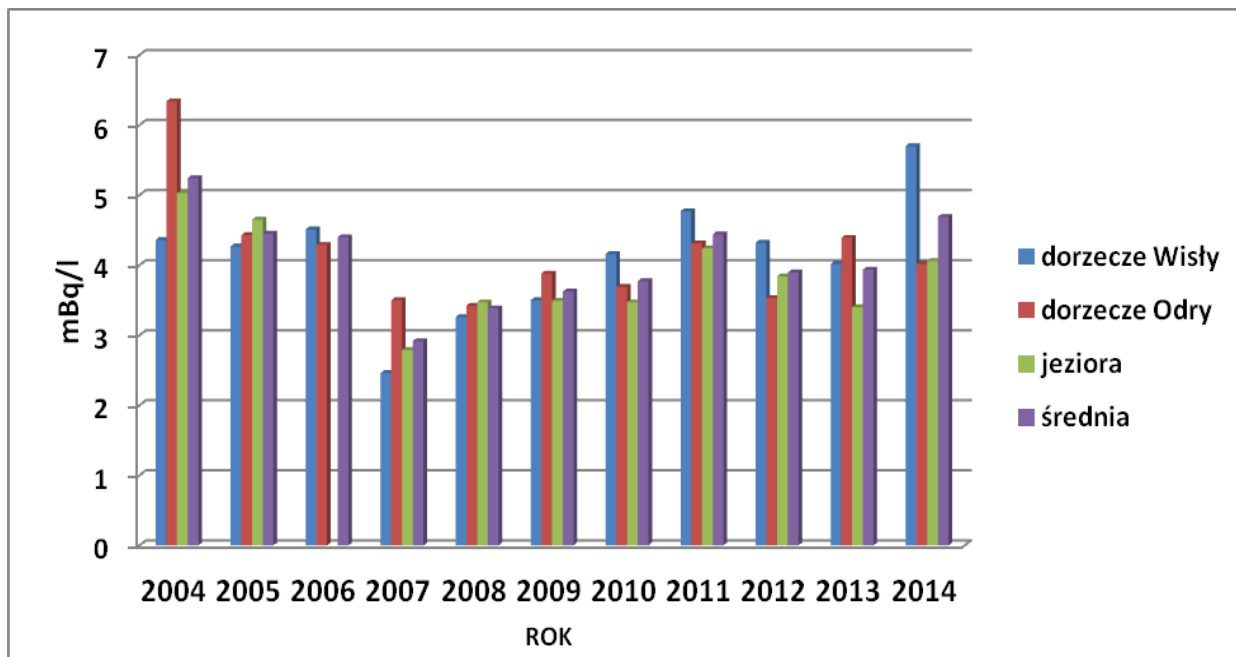
5.9. Analiza zawartości ^{137}Cs w wodach rzecznych w układzie dorzeczy oraz ich porównanie do wód jeziornych na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Rysunek 27 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 2004-2014. Najniższe wartość średniego rocznego stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs w każdym roku monitoringu obserwujemy dla dorzecza Wisły. 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 w dorzeczu Odry. Prawdopodobnie było to spowodowane niskim poziomem wód, jaki miał miejsce w tym roku, szczególnie był widoczny dla dorzecza Odry. W ostatnich dwóch latach obserwujemy bardzo wyrównany i powtarzalny poziom stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs .



Rys. 27. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2014.

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



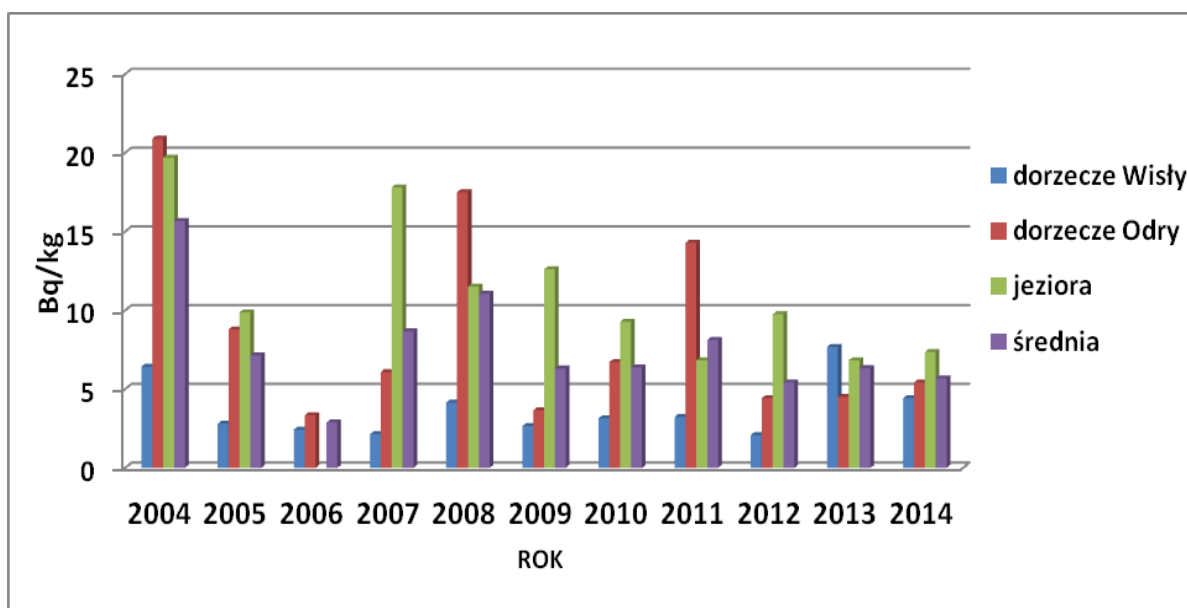
Rys. 28. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2014.

Na Rysunku 28 przedstawiono średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w wodzie dla dorzeczy Wisły, Odry i jezior w odniesieniu do ogólnej średniej rocznej w latach 2004-2014. W przypadku ^{90}Sr na przestrzeni jedenastu lat monitoringu nie widać wyraźnie powtarzających się zależności. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w poszczególnych latach zarówno dla dorzeczy Wisły i Odry jak i jezior są bardziej wyrównane niż w przypadku analogicznych średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs .

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

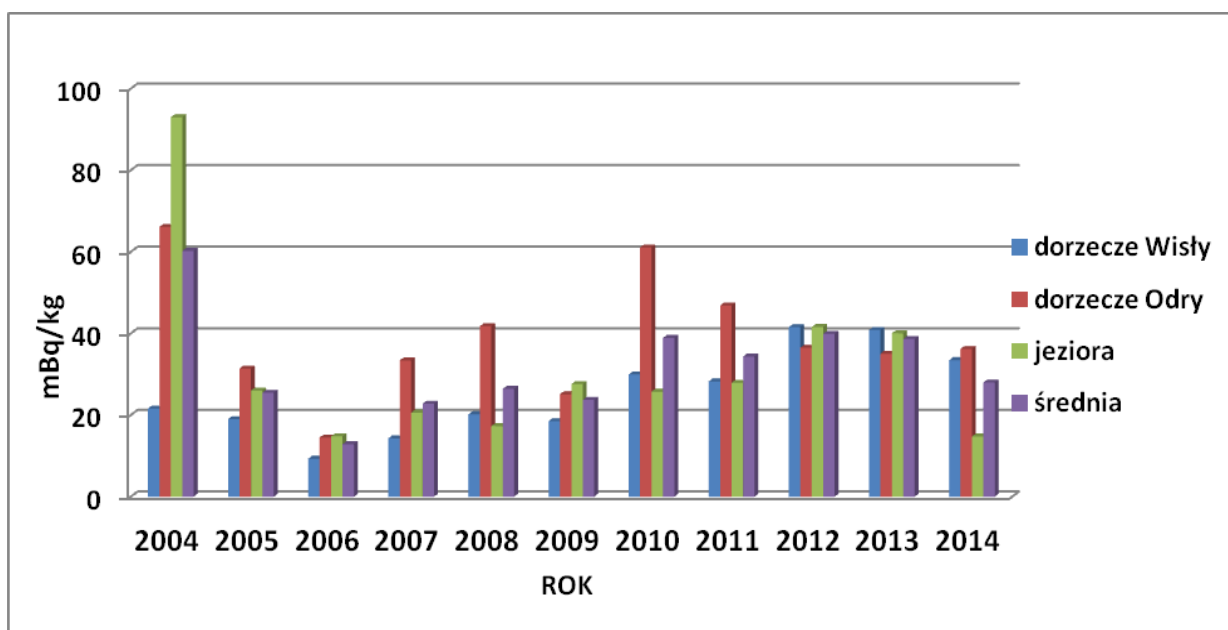
Rysunek 29 przedstawia wykres obrazujący średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych dla dorzeczy Wisły, Odry i jezior w odniesieniu do ogólnej średniej rocznej w latach 2004-2014. Największe zawartości ^{137}Cs zanotowano w roku 2004. Podobne średnie roczne stężenia promieniotwórcze zanotowano jeszcze dwukrotnie; dla jezior w roku 2007 i dla dorzecza Odry w roku 2008. We wszystkich latach monitoringu zawartość ^{137}Cs była znacznie niższa dla dorzecza Wisły niż dorzecza Odry i jezior. Jedynie w rok 2013 nie

obserwuje się tej zależności, a wszystkie wartości średnich rocznych stężeń ^{137}Cs są bardziej wyrównane, a w roku bieżącym zawartości ^{137}Cs są bardziej wyrównane.



Rys. 29. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2014.

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



Rys. 30. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2014.

Rysunek 30 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 2004-2014.

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 2004 najwyższe średnie stężenia $^{239,240}\text{Pu}$ obserwowano w osadach dennych jezior, natomiast w 2010 najwyższe średnie stężenia odnotowano w osadach dennych dorzecza Odry.

Z obserwacji średnich rocznych zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych wynika, że w latach 2012 i 2013 poziom jego stężeń w dorzeczach Wisły, Odry i w jeziorach jest zbliżony i wynosi ok. 40 mBq/kg. W roku bieżącym odnotowano spadek zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w obu dorzeczach, a szczególnie widoczny jest on w jeziorach.

6. PODSUMOWANIE.

W 2014 roku monitoring skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych obejmował dwukrotny pobór (wiosną i jesienią) próbek wody i osadów dennych w 18 punktach, zlokalizowanych w dorzeczu Wisły (7 punktów poboru), w dorzeczu Odry (5 punktów poboru) i w wybranych jeziorach (6 jezior). Miejsca poboru próbek były zgodne z ustaleniami z Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska.

Podobnie jak w latach ubiegłych przy ogólnej ocenie sytuacji radiologicznej wzięto pod uwagę wartości średnie roczne, ponieważ te odzwierciedlają najlepiej ogólny poziom skażeń badanego środowiska.

Ocena skażeń promieniotwórczych na podstawie wyników uzyskanych w poszczególnych lokalizacjach wiosną i jesienią przysparza trudności ze względu na różniące się warunki atmosferycznych zaistniałe w okresach pomiędzy poborem próbki. Szczególny wpływ mogą mieć ilości wód spływających do badanych rzek i jezior (np.: powódzie, wysokie stany wód). Duże masy wody mogą powodować jednocześnie spływ gleb do zbiorników. Czynniki te mają wpływ na zmiany zawartości badanych izotopów.

Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior były na bardzo wyrównanym poziomie i zawierały się w granicach 2,74 mBq/l (dla dorzecza Wisły) do 3,35 mBq/l (dla jezior). W przypadku średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr najwyższą wartość otrzymano dla dorzecza Wisły – 5,70 mBq/l, natomiast dla dorzecza Odry i jezior wartości były bardzo zbliżone i wynosiły odpowiednio: 4,02 mBq/l, i 4,06 mBq/l.

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych wynosiły odpowiednio: najmniej w dorzeczu Wisły 4,48 Bq/kg, a najwięcej w jeziorach 7,35 Bq/kg.

Zbliżone średnie roczne stężenia promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ obserwowano w osadach dennych dorzecza Odry – 36,20 mBq/kg i osadach dorzecza Wisły – 33,475 mBq/kg, a dwukrotnie niższe w osadach jeziornych 14,64 mBq/kg.

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 (2 mBq/kg).

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

Z analizy danych dla sześciu wybranych punktów pomiarowych wynika, że przebieg zmienności zawartości oznaczanych izotopów w próbkach jeziornych jest mniej zróżnicowany niż w przypadku próbek rzecznych. Jest to prawdopodobnie spowodowane bardziej stabilną sytuacją hydrologiczną w przypadku jezior.

7. WNIOSKI.

Wyniki uzyskane w roku 2014 są podstawą do stwierdzenia, że wszystkie oznaczane radionuklidy zarówno w wodzie jak i w osadach pozostają na niskim poziomie. Jednocześnie możemy stwierdzić, że nie wystąpiły nowe uwolnienia izotopów promieniotwórczych do środowiska.