

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

ETAP III

Raport roczny

Rok 2015

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



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 2015

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 2015 były następujące:

1. Termin wiosenny – od 11 kwietnia do 22 maja;
2. Termin jesienny - od 20 sierpnia do 16 września.

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 2015	Data poboru próbek jesień 2015	Długość geograficzna wschodnia DMS	Szerokość geograficzna północna DMS
Drawsko, Stare Drawsko	<i>zachodnio-pomorskie</i>	17.04	27.08	16°11'51"	53°36'08"
Wadąg, Myki	<i>warmińsko-mazurskie</i>	23.04	20.08	20°32'35"	53°49'10"
Wielkie, Wielkie Partęczyny	<i>kujawsko-pomorskie</i>	24.04	21.08	19°13'02"	53°28'13"
Rogóżno	<i>lubelskie</i>	14.04	24.08	22°59'25"	51°22'03"
Niesłysz, Niesulice	<i>lubuskie</i>	16.04	26.08	15°24'05"	52°12'41"
Wigry, Stary Folwark	<i>podlaskie</i>	23.04	20.08	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 2015	Data poboru próbek jesień 2015	Długość geograficzna wschodnia DMS	Szerokość geograficzna północna DMS
Wisła	Kraków Tyniec	14.04	24.08	20°10'48"	50°42'50"
	Annopol	14.04	24.08	21°51'33"	50°53'10"
	Warszawa	22.05	16.09	21°00'59"	52°14'07"
	Płock	24.04	21.08	19°41'52"	52°32'50"
	Kiezmark	24.04	21.08	18°55'51"	54°15'14"
Narew	Pułtusk	23.04	20.08	21°05'08"	52°42'18"
Bug	Wyszków	23.04	20.08	21°27'22"	52°36'10"
Odra	Chałupki	15.04	25.08	18°19'10"	49°55'22"
	Wrocław	15.04	25.08	17°02'12"	51°06'34"
	Głogów	15.04	25.08	16°04'55"	51°39'11"
	Krajnik	16.04	26.08	14°28'50"	53°11'44"
Warta	Poznań	17.04	27.08	16°55'21"	52°24'30"

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

Pobór próbek i wstępna preparatyka

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

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

Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs 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 fosfomolibdenianu amonu (AMP) i pomiarze aktywności β preparatu. Do oznaczenia stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr stosowano metodę polegającą na oznaczeniu ^{90}Y , krótko żyłowego 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.

W Tabeli 3. przedstawione są stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w próbkach wody z poszczególnych miejsc poboru próbek w rzekach w okresie wiosennym i jesiennym 2015 roku oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu. Średnie stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach rzek mieściły się w granicach od 1,36 mBq/l w Wiśle (Płock) do 3,78 mBq/l w Odrze (Wrocław). Zakres średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs dla dorzecza Wisły mieścił się w przedziale od 1,36 (Wisła, Płock) do 3,08 mBq/l (Bug, Wyszaków) a, dla dorzecza Odry od 2,09 (Warta, Poznań) do 3,78 mBq/l (Odra, Wrocław).

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 2015r.

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	1,49 ± 0,24 ^{a)}	3,74 ± 0,42 ^{a)}	2,62 ± 1,59 ^{b)}
2.	Wisła Annopol	1,75 ± 0,23	2,72 ± 0,32	2,24 ± 0,69
3.	Wisła Warszawa	1,49 ± 0,20	3,58±0,38	2,54 ± 1,48
4.	Wisła Płock	0,74 ± 0,13	1,98 ± 0,25	1,36 ± 0,88
5.	Wisła Kieźmark	2,75 ± 0,32	1,77 ± 0,23	2,26 ± 0,69
6.	Narew Pułtusk	3,58 ± 0,40	2,55 ± 0,30	3,07 ± 0,73
7.	Bug Wyszaków	2,20 ± 0,27	3,95 ± 0,44	3,08 ± 1,24
DORZECZE ODRY				
8.	Odra Chałupki	1,70 ± 0,22	3,01 ± 0,33	2,36 ± 0,93
9.	Odra Wrocław	3,45 ± 0,39	4,11 ± 0,46	3,78 ± 0,47
10.	Odra Głogów	2,64 ± 0,32	3,83 ± 0,43	3,24 ± 0,84
11.	Odra Krajnik	1,54 ± 0,20	3,07 ± 0,36	2,31 ± 1,08
12.	Warta Poznań	1,89 ± 0,25	2,28 ± 0,27	2,09 ± 0,28

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

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

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

Najniższą wartość stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr odnotowano w próbce wody pobranej jesienią z Bugu w Wyszku – 1,87 mBq/l, najwyższą zaś w próbce wody pobranej również jesienią z Wisły w Krakowie – 6,61 mBq/l. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach badanych rzek wahało się od 2,74 mBq/l w wodzie z Bugu (Wyszków) do 5,01 mBq/l w wodzie pobranej z Odry w Głogowie. Zakres średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr jest bardzo zbliżony dla obu dorzeczy i wynosi odpowiednio: dla dorzecza Wisły od 2,74 do 4,93 mBq/l, dla dorzecza Odry od 2,92 do 5,01 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 2015r.

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	3,24 ± 0,67	6,61 ± 1,36	4,93 ± 2,38 ^{b)}
2.	Wisła Annopol	3,25 ± 0,67	2,72 ± 0,56	2,99 ± 0,37
3.	Wisła Warszawa	3,04 ± 0,63	2,98 ± 0,09	2,98 ± 0,09
4.	Wisła Płock	3,03 ± 0,62	2,82 ± 0,58	2,93 ± 0,15
5.	Wisła Kieźmark	3,80 ± 0,78	3,26 ± 0,67	3,53 ± 0,38
6.	Narew Pultusk	3,49 ± 0,67	2,37 ± 0,49	2,93 ± 0,79
7.	Bug Wyszków	3,60 ± 0,74	1,87 ± 0,39	2,74 ± 1,22
DORZECZE ODRY				
8.	Odra Chalupki	3,49 ± 0,72	4,29 ± 0,88	3,89 ± 0,57
9.	Odra Wrocław	3,62 ± 0,75	3,94 ± 0,81	3,78 ± 0,23
10.	Odra Głogów	4,86 ± 1,00	5,15 ± 1,06	5,01 ± 0,21
11.	Odra Krajnik	3,04 ± 0,63	2,79 ± 0,57	2,92 ± 0,18
12.	Warta Poznań	3,71 ± 0,76	2,39 ± 0,49	3,05 ± 0,93

^{a)}Wartość ± CWN przy poziomie ufności 95% ^{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 2015 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 1,23 mBq/l jesienią w jeziorze Wigry do 4,87 mBq/l w jeziorze Rogóžno również jesienią. Zakres średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs wynosił od 1,87 mBq/l w jeziorze Drawsko do 4,32 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 tym bardziej, 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 2015r.

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	2,55 ± 0,30 ^{a)}	1,23 ± 0,18 ^{a)}	1,89 ± 0,93 ^{b)}
2	Wadąg Myki	1,53 ± 0,21	2,81 ± 0,33	2,17 ± 0,91
3	Wielkie Partęczyny	2,19 ± 0,26	3,21 ± 0,37	2,70 ± 0,72
4	Drawsko Stare Drawsko	2,23 ± 0,27	1,50 ± 0,20	1,87 ± 0,52
5	Niesłysz Niesulice	2,37 ± 0,29	1,65 ± 0,21	2,01 ± 0,51
6	Rogóžno Rogóžno	3,77 ± 0,43	4,87 ± 0,53	4,32 ± 0,78

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

^{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 2015r.

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	$2,21 \pm 0,46^{\text{a)}}$	$1,87 \pm 0,38$	$2,04 \pm 0,24^{\text{b)}}$
2	Wadąg Myki	$2,47 \pm 0,51$	$2,79 \pm 0,57$	$2,63 \pm 0,23$
3	Wielkie Partęcz. Partęczyny	$2,75 \pm 0,57$	$2,55 \pm 0,53$	$2,65 \pm 0,14$
4	Drawsko Stare Drawsko	$3,21 \pm 0,66$	$4,44 \pm 0,91$	$3,83 \pm 0,87$
5	Niesłysz Niesulice	$2,47 \pm 0,51$	$3,12 \pm 0,64$	$2,80 \pm 0,46$
6	Rogóżno Rogóżno	$7,34 \pm 1,51$	$9,01 \pm 1,86$	$8,18 \pm 1,18$

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

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

Stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach z poszczególnych miejsc poboru w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym 2015 roku oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu przedstawiono w Tabeli 6.

Najwyższą wartość stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr odnotowano w próbce wody pobranej jesienią z jeziora Rogóżno – 9,01 mBq/l, najniższą zaś w próbce wody pobranej również jesienią z jeziora Wigry – 1,87 mBq/l. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach badanych jezior wahało się od 2,04 mBq/l w wodzie z jeziora Wigry do 8,18 mBq/l w wodzie pobranej w Rogóżnie. Podobnie jak w przypadku ^{137}Cs , najwyższe wartości średnie stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr zanotowano w próbkach wody z jeziora Rogóżno.

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

Średnie stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs dla wód dorzecza Wisły, dorzecza Odry i jezior, 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 Wisły w okresie wiosennym i wynosiło 2,00 mBq/l, najwyższe zaś jesienią w dorzeczu Odry – 3,26 mBq/l.

Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach dorzeczy Wisły oraz Odry i jezior były na wyrównanym poziomie: 2,45; 2,75; 2,49 mBq/l. Najmniejsze różnice w stężeniach promieniotwórczych ^{137}Cs odnotowano dla wód dorzecza Odry, największe dla jezior.

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 2015r.

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)}	2,00 ± 0,94 ^{b)}	2,90 ± 0,87 ^{b)}	2,45 ± 0,99 ^{b)} (14)	0,74 – 3,95
Dorzecze Odry (5)	2,24 ± 0,80	3,26 ± 0,73	2,75 ± 0,90 (10)	1,70 – 4,11
Jeziora (6)	2,44 ± 0,74	2,55 ± 1,38	2,49 ± 1,06 (12)	1,23 – 4,87
Średnia ogólna (18)	2,21 ± 0,81	2,88 ± 1,02	2,55 ± 0,98 (36)	0,74 – 4,87

^{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 2015r.

Lokalizacja poboru próbek	^{90}Sr mBq l ⁻¹ wiosna	^{90}Sr mBq l ⁻¹ jesień	^{90}Sr mBq l ⁻¹ średnia roczna	^{90}Sr mBq l ⁻¹ zakres
Dorzecze Wisły (7) ^{a)}	3,35 ± 0,29 ^{b)}	3,22 ± 1,56 ^{b)}	3,29 ± 1,08 ^{b)} (14)	1,87 – 6,61
Dorzecze Odry (5)	3,74 ± 0,67	3,71 ± 1,12	3,73 ± 0,87 (10)	2,39 – 5,15
Jeziora (6)	3,41 ± 1,96	3,96 ± 2,61	3,69 ± 2,22 (12)	1,87 – 9,01
Średnia ogólna (18)	3,48 ± 1,14	3,61 ± 1,81	3,54 ± 1,49 (36)	1,51 – 16,15

^{a)} Liczba próbek wody

^{b)} Wartość średnia ± OS

Średnie stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w próbkach wody były na bardzo wyrównanym poziomie i zawierały się w przedziale od 3,22 (dorzecze Wisły, jesień) do 3,96 mBq/l (jeziora, jesień). Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w dorzeczu Wisły i Odry

wynosiło odpowiednio 3,29 mBq/l i 3,73 mBq/l, a w jeziorach 3,69 mBq/l (Tabela 8). Podobnie jak w roku ubiegłym (zakres 2,39 – 5,15 mBq/l) najmniejsze różnice w stężeniach ^{90}Sr , odnotowano dla wód dorzecza Odry, największe dla jezior (zakres 1,87 – 9,01 mBq/l).

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 (1,00-1,88), jedynie w dwóch próbkach był mniejszy od jedności (0,89 i 0,96). W wodach pobranych z jezior, w jednym przypadku 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 2015r.

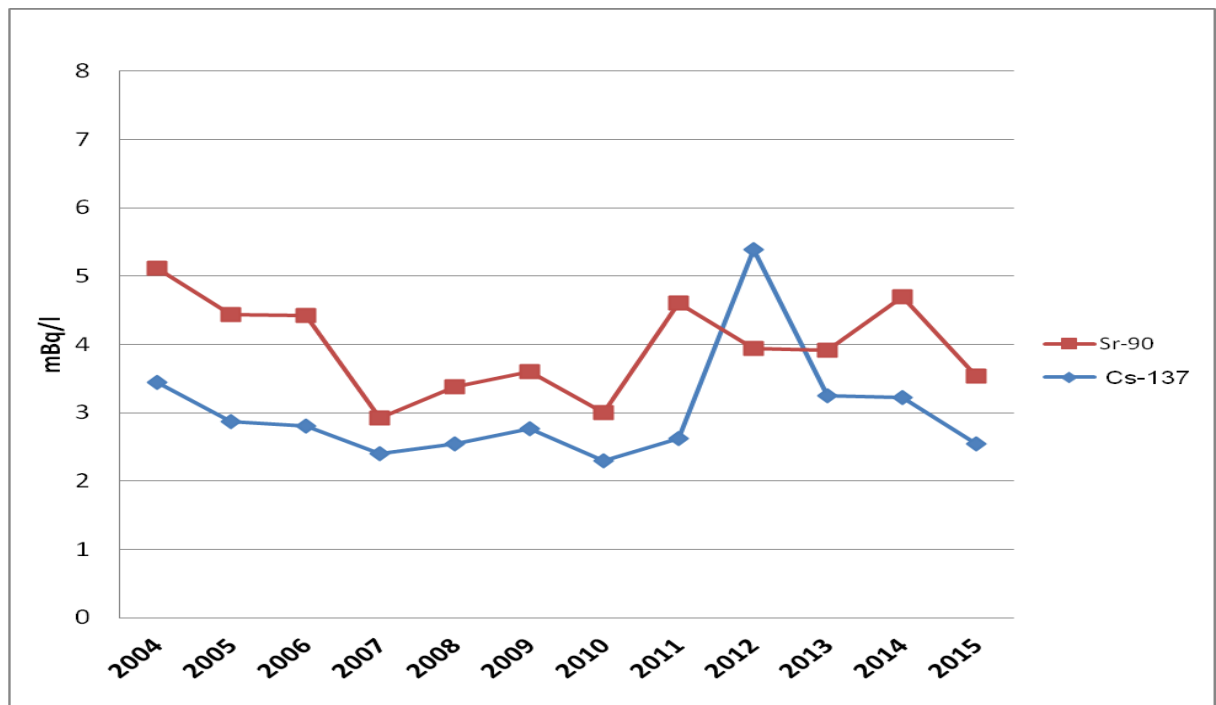
Lokalizacja poboru próbek	^{137}Cs mBq l ⁻¹ średnia roczna	^{90}Sr mBq l ⁻¹ średnia roczna	$\frac{^{90}\text{Sr}}{^{137}\text{Cs}}$
Dorzecze Wisły (7) ^{a)}	2,45 ± 0,99 ^{b)} (14)	3,29 ± 1,08 ^{b)} (14)	1,34
Dorzecze Odry (5)	2,75 ± 0,90 (10)	3,73 ± 0,87 (10)	1,36
Jeziora (6)	2,49 ± 1,06 (12)	3,69 ± 2,22 (12)	1,48
Średnia ogólna (18)	2,55 ± 0,98 (36)	3,54 ± 1,49 (36)	1,39

^{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 – 2015. 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 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. W stosunku do ubiegłego roku stężenie promieniotwórcze zarówno ^{137}Cs jak i ^{90}Sr utrzymuje się na tym samym poziomie biorąc pod uwagę błąd oznaczenia wynoszący ok.15%.



Rys.2. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach rzek i jezior w Polsce w latach 2004 – 2015.

4. ANALIZA WYNIKÓW OZNACZEŃ STĘŻEŃ ^{137}Cs , ^{238}Pu I $^{239,240}\text{Pu}$ W ODSADACH DENNYCH POBRANYCH W PUNKTACH BADAWCZYCH W 2015 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	$10,67 \pm 0,78^{\text{a}}$	$1,80 \pm 0,34^{\text{a}}$	$6,24 \pm 6,27^{\text{b}}$
2.	Wisła Annopol	$2,29 \pm 0,18$	$1,49 \pm 0,34$	$1,89 \pm 0,57$
3.	Wisła Warszawa	$7,84 \pm 1,88$	$0,64 \pm 0,22$	$4,24 \pm 5,09$
4.	Wisła Płock	$0,99 \pm 0,08$	$1,28 \pm 0,20$	$1,14 \pm 0,21$
5.	Wisła Kiezmark	$1,57 \pm 0,10$	$2,52 \pm 0,14$	$2,05 \pm 0,67$
6.	Narew Pułtusk	$14,14 \pm 0,96$	$4,68 \pm 0,50$	$9,41 \pm 6,69$
7.	Bug Wyszków	$2,05 \pm 0,12$	$0,59 \pm 0,12$	$1,32 \pm 1,03$
DORZECZE ODRY				
8.	Odra Chałupki	$9,63 \pm 1,02$	$3,57 \pm 0,60$	$6,60 \pm 4,29$
9.	Odra Wrocław	$2,31 \pm 0,12$	$1,01 \pm 0,26$	$1,66 \pm 0,92$
10.	Odra Głogów	$15,02 \pm 2,84$	$1,86 \pm 0,18$	$8,44 \pm 9,31$
11.	Odra Krajnik	$0,33 \pm 0,06$	$0,40 \pm 0,22$	$0,37 \pm 0,05$
12.	Warta Poznań	$1,71 \pm 0,14$	$0,67 \pm 0,06$	$1,19 \pm 0,74$

^{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. Najniższe stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs było

oznaczone wiosną w osadzie pobranym z Odry w Krajniku (0,33 Bq/kg). Najwyższe stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs było oznaczone również wiosną w osadzie pobranym z Odry w Głogowie (15,02 Bq/kg). Średnie roczne stężenia promieniotwórcze tego izotopu zawierały się w granicach od 0,37 Bq/kg do 9,41 Bq/kg i odnosiły się odpowiednio do osadów pobranych na Odrze w Krajniku i na Narwi w Pułtusk. Zawartości ^{137}Cs otrzymywane dla większości punktów wiosną są od 2 do 5 razy wyższe niż jesienią. Tendencja ta jest obserwowana od wielu lat, a w tym roku szczególnie widoczna.

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	14,95 ± 3,22 ^{a)}	9,52 ± 2,04 ^{a)}	12,24 ± 3,84 ^{b)}
2.	Wisła Annopol	36,53 ± 3,84	26,47 ± 4,76	31,50 ± 7,11
3.	Wisła Warszawa	66,26 ± 6,74	6,58 ± 2,68	36,42 ± 42,20
4.	Wisła Płock	9,32 ± 2,13	11,30 ± 3,26	10,31 ± 1,40
5.	Wisła Kiezmark	21,78 ± 2,27	8,87 ± 3,30	15,33 ± 9,13
6.	Narew Pułtusk	47,37 ± 4,75	4,93 ± 3,56	26,15 ± 30,01
7.	Bug Wyszaków	59,46 ± 4,17	6,34 ± 2,13	32,90 ± 37,56
DORZECZE ODRY				
8.	Odra Chałupki	5,52 ± 1,63	18,70 ± 3,45	12,11 ± 9,32
9.	Odra Wrocław	65,08 ± 6,01	14,79 ± 4,54	39,94 ± 35,56
10.	Odra Głogów	53,45 ± 3,95	9,42 ± 2,44	31,44 ± 31,13
11.	Odra Krainik	4,04 ± 1,91	3,87 ± 1,40	3,95 ± 0,12
12.	Warta Poznań	15,44 ± 3,18	15,33 ± 3,29	15,38 ± 0,08

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

^{b)}Wartość średnia ± OS

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 przedstawia Tabela 11.

Wartości średnich rocznych stężeń promieniotwórczych $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych zawierają się w granicach od 3,95 mBq/kg w osadzie z Odry (Krajnik) do 39,94 mBq/kg również w osadzie z Odry (Wrocław).

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 tylko w 1 z pośród 24 pobranych próbek osadów, a był to osad pobrany wiosną w Wyszku (3,73 ± 1,07 mBq/ kg).

Analogicznie jak w przypadku ^{137}Cs , wyniki stężenia promieniotwórczego izotopów $^{239,240}\text{Pu}$ uzyskane wiosną były wyższe niż otrzymane jesienią.

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	5,32 ± 0,46 ^{a)}	5,05 ± 0,46 ^{a)}	5,19 ± 0,19 ^{b)}
2.	Wadąg Myki	1,27 ± 0,12	1,26 ± 0,08	1,27 ± 0,01
3.	Wielkie Partęczyny	3,98 ± 0,36	7,60 ± 0,58	5,79 ± 2,56
4.	Drawsko Stare Drawsko	3,20 ± 0,28	3,36 ± 0,14	3,28 ± 0,11
5.	Niesłysz Niesulice	6,09 ± 0,44	6,31 ± 0,44	6,20 ± 0,16
6.	Rogóżno Rogóżno	42,73 ± 9,94	11,52 ± 0,78	27,13 ± 22,07

^{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 1,27 Bq/kg w osadzie pobranym z jeziora Wadąg do 27,13 Bq/kg w osadzie pobranym z Rogóżnia.

Najniższe stężenie ^{137}Cs (1,26 Bq/kg) było oznaczone jesienią w osadzie pobranym z jeziora Wadąg, a największe (42,73 Bq/kg) w osadzie wiosennym z jeziora Rogóžno. Z wieloletnich obserwacji wynika, że dla jeziora Rogóžno charakterystyczne są większe wartości stężenia promieniotwórczo ^{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 $^{239,240}\text{Pu}$ (3,85 mBq/kg) było oznaczone jesienią w osadzie pobranym z jeziora Drawsko a największe (179,17 mBq/kg) w osadzie z jeziora Rogóžno. Średnie roczne stężenie $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych zawiera się w granicach od 4,55 mBq/kg w jeziorze Myki do 109,38 mBq/kg w jeziorze Rogóžno.

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 próbek	$^{239,240}\text{Pu}$ 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	13,46 ± 4,20 ^{a)}	15,75 ± 4,07 ^{a)}	14,61 ± 1,62 ^{b)}
2.	Wadąg Myki	4,40 ± 1,53	4,70 ± 2,59	4,55 ± 0,21
3.	Wielkie Parteczyny Parteczyny	54,97 ± 7,99	26,21 ± 5,84	40,59 ± 20,34
4.	Drawsko Stare Drawsko	5,27 ± 1,95	3,85 ± 3,93	4,56 ± 1,00
5.	Niesłysz Niesulice	67,03 ± 5,94	89,98 ± 8,27	78,51 ± 16,23
6.	Rogóžno Rogóžno	179,17 ± 9,06	39,58 ± 4,16	109,38 ± 98,70

^{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 5 z pośród 12 próbek osadów pobranych z:

- jeziora Niesłysz – wiosną (2,38 ± 1,26 mBq/ kg) i jesienią (2,77 ± 1,57 mBq/ kg)

- jeziora Rogóźno – wiosną ($9,47 \pm 2,02$ mBq/ kg) i jesienią ($2,47 \pm 1,17$ mBq/ kg)
- jeziora Wielkie Partęczyny – wiosną ($2,44 \pm 2,02$ mBq/ kg).

4.5. Porównanie zawartości ^{137}Cs w osadach dennych 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 stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w 2015 roku było najniższe jesienią w dorzeczu Odry i wynosiło 1,50 Bq/kg, a najwyższe wiosną w jeziorach – 10,43 Bq/kg. Zarówno w dorzeczu Odry i Wisły jak i w jeziorach średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs jesienią było niższe niż wiosną. Duże różnice w stężeniach ^{137}Cs obserwowano zarówno w dorzeczu Wisły jak i Odry (odpowiednio 0,59-14,14 Bq/kg oraz 0,33-15,02 Bq/kg). Dla dorzecza Odry określono najniższe średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs – 3,65 Bq/kg, podczas gdy w jeziorach stężenie to wynosiło 8,14 Bq/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)}	$5,65 \pm 5,24$ ^{b)}	$1,86 \pm 1,44$	$3,75 \pm 4,18$ (14)	0,59 – 14,14
Dorzecze Odry (5)	$5,80 \pm 6,29$	$1,50 \pm 1,28$	$3,65 \pm 4,42$ (10)	0,33 – 15,02
Jeziora (6)	$10,43 \pm 15,91$	$5,85 \pm 3,56$	$8,14 \pm 11,25$ (12)	1,26 – 42,73
Średnia ogólna (18)	$7,29 \pm 9,94$	$3,09 \pm 2,98$	$5,19 \pm 6,13$ (36)	0,33 – 42,73

^{a)} Liczba próbek osadów dennych

^{b)} Wartość średnia \pm OS

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

Tabela 15. Średnie stężenie promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych dorzecza Wisły, Odry i jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie 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)}	36,52 ± 22,18 ^{b)}	10,57 ± 7,34	23,35 ± 20,81	4,93 – 66,26
Dorzecze Odry (5)	28,71 ± 28,58	12,42 ± 5,82	20,56 ± 21,23	3,87 – 65,08
Jeziora (6)	54,05 ± 66,81	30,01 ± 32,35	42,03 ± 51,59	3,85 – 179,17
Średnia ogólna (18)	40,19 ± 42,31	17,57 ± 20,43	28,88 ± 27,20	3,85 – 179,17

^{a)} Liczba próbek osadów dennych

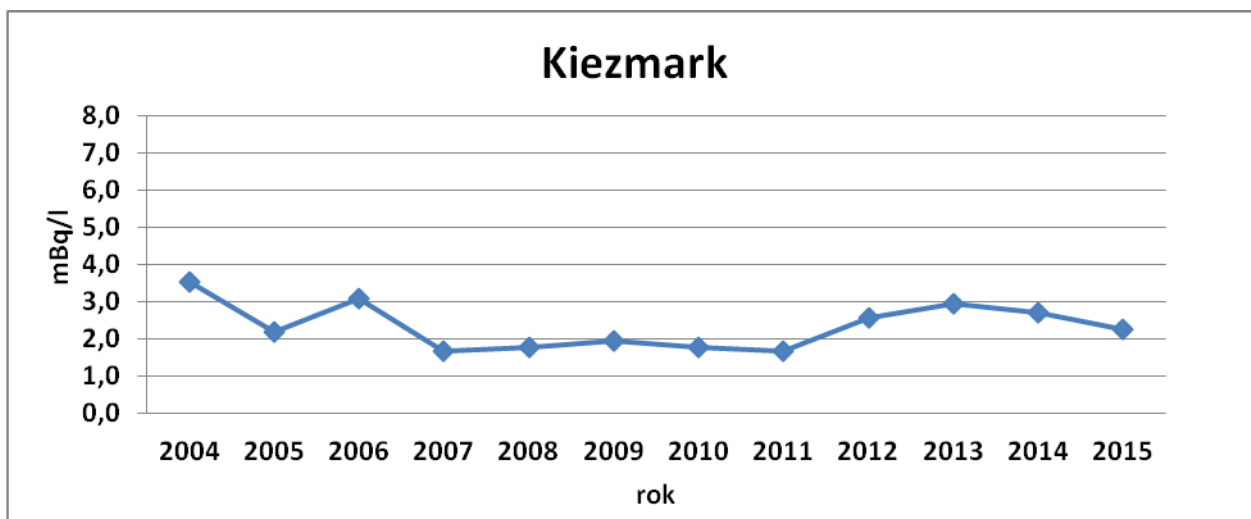
^{b)} Średnia ± OS

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 23,35 mBq/kg i 20,56 mBq/kg, Natomiast w jeziorach było dwukrotnie wyższe i wynosiło 42,21 mBq/kg. Największe różnice stężeń tego izotopu występowały w jeziorach.

5. ZMIANY WARUNKÓW RADIOLOGICZNYCH NA PRZESTRZENI LAT.

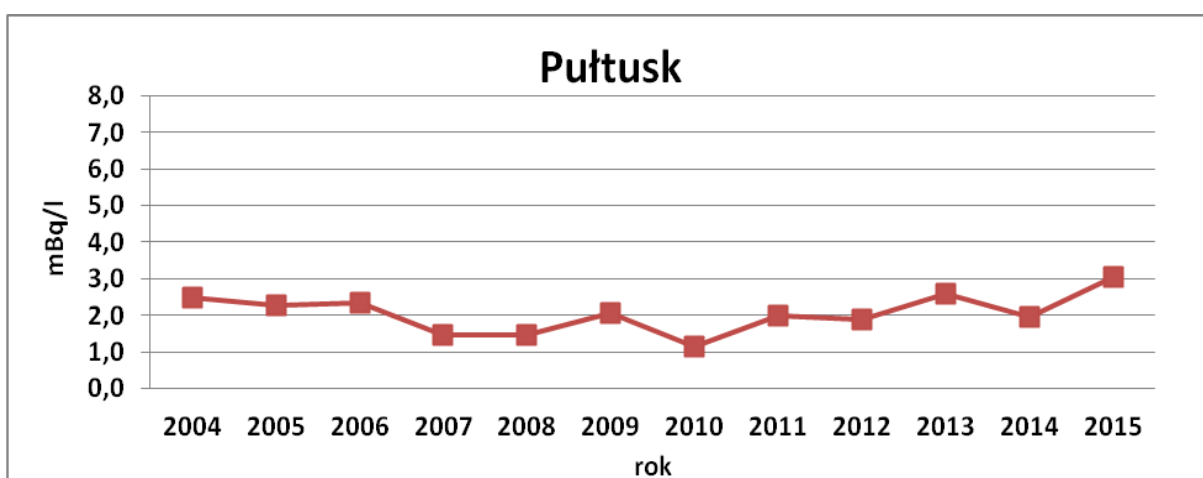
5.1. Analiza zawartości ^{137}Cs w wodach dorzecza Wisły i Odry dla wybranych punktów badawczych na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Rysunki 3- 6 przedstawiają przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w wodach dorzecza Odry dla wybranych czterech punktów pomiarowych w latach 2004 – 2015. 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 wykresach została zachowana ta sama skala.



Rys. 3. Zawartość ^{137}Cs w wodach Wisły pobranej w Kiezmarku w latach 2004-2015.

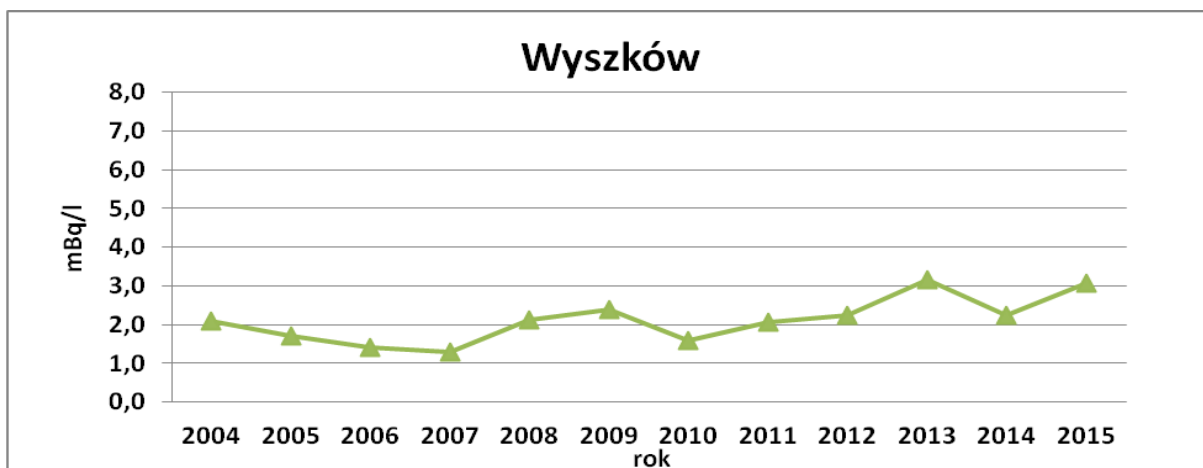
Średni poziom stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs w wodzie pobieranej w Kiezmarku przez wszystkie lata obserwacji był dosyć wyrównany. Jedynie w pierwszym roku badań 2004 zanotowano nieco wyższą zawartość ^{137}Cs . Zmiany średniej rocznej zawartości ^{137}Cs w wodzie na przestrzeni 12 lat mieszczą się w zakresie 2 mBq/l. Najniższą wartość odnotowano w roku 2007 i 2011 – 1,7 mBq/l, a najwyższą 3,6 mBq/l w roku 2004.



Rys. 4. Zawartość ^{137}Cs w wodach Narwi pobranej w Pułtusku 2004-2015.

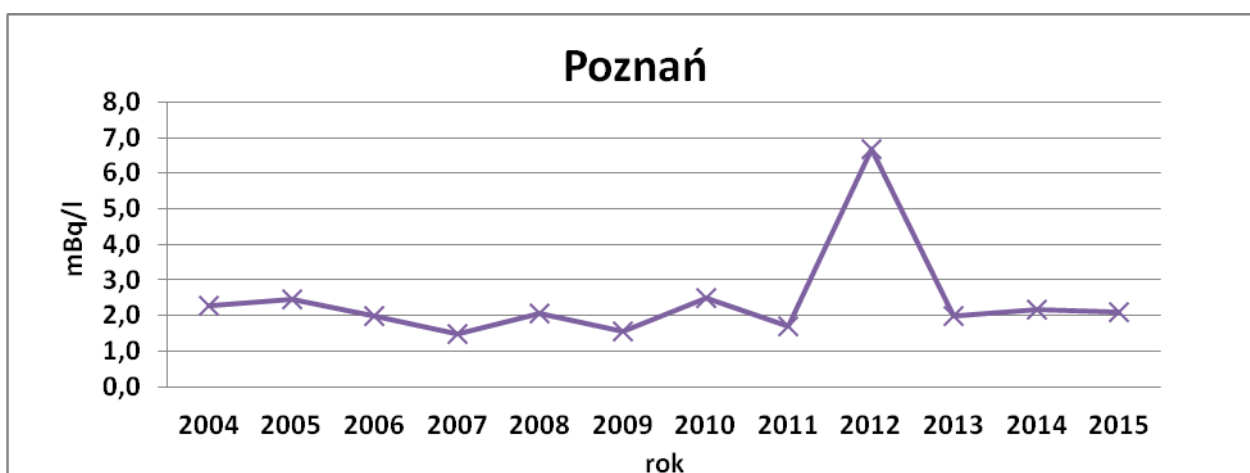
W przypadku wody pobieranej w Pułtusku średnia roczna zawartość ^{137}Cs w latach 2004-2015 mieści się w wąskim zakresie od 1,46 do 3,07 mBq/l, a maksymalną wartość stężenia promieniotwórczego cezu odnotowano w ostatnim roku badań.

Jednak w stosunku do pozostałych wartości nie jest to wynik znacznie odbiegający.



Rys. 5. Zawartość ^{137}Cs w wodach Bugu pobranej w Wyszkowie latach 2004-2015.

W wodzie pobieranej w Wyszkowie średnia roczna zawartość ^{137}Cs przez wszystkie lata obserwacji była na dosyć wyrównanym poziomie. Minimalną wartość odnotowano w roku 2007 i wynosiła ona 1,29 mBq/l, zaś maksymalną w roku 2013 - 3,15 mBq/l.

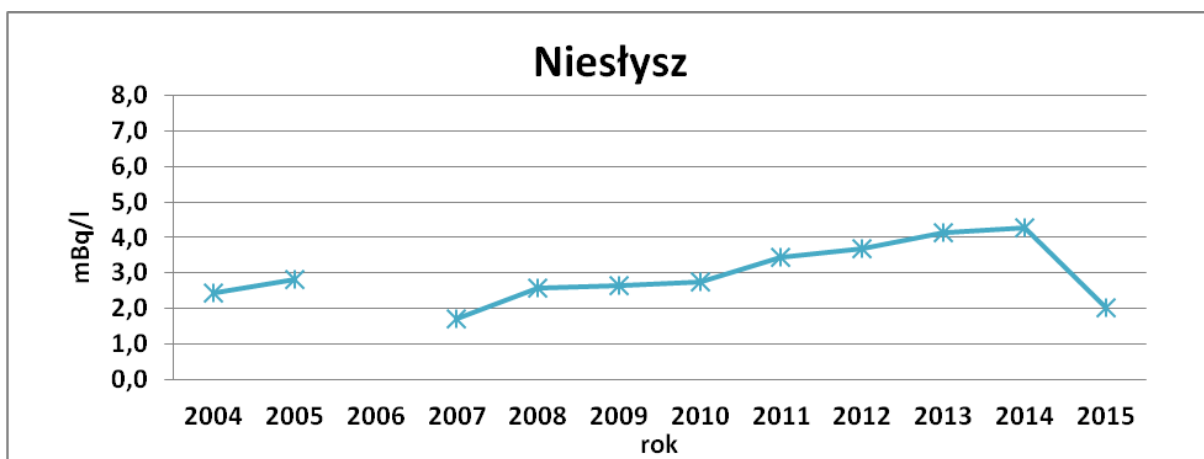


Rys. 6. Zawartość ^{137}Cs w wodach Warty pobranej w Poznaniu latach 2004-2015.

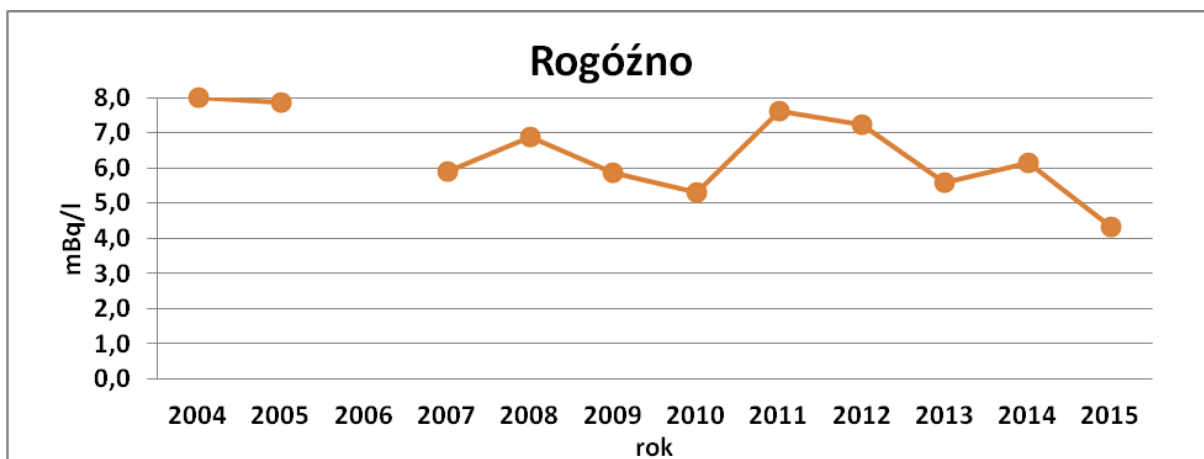
Średni poziom stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs w wodzie pobieranej w Poznaniu w lata 2004-2015 był wyrównany. Jedynie w roku 2012 zanotowano wzrost zawartości ^{137}Cs . Podwyższona wartość średniej rocznej ^{137}Cs w wodzie spowodowana została oznaczonym stężeniem promieniotwórczego tego izotopu w próbce wiosennej (10,96 mBq/l), które można tłumaczyć czasowym wpływem wód innego pochodzenia w to miejsce. Trwałości tej zmiany nie potwierdziły badania jesienne, w których oznaczone stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w wodzie wynosiło 2,41 mBq/kg.

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 – 2015 przedstawiono na Rys.7 i 8. Podane wartości są średnimi rocznymi w poszczególnych latach. W roku 2006 nie były prowadzone badania dla jezior stąd brak wyników na pokazanych wykresach. Podobnie jak w przypadku rzek na wykresach dla jezior została zachowana ta sama skala w celu łatwiejszego porównania pomiędzy poszczególnymi punktami.



Rys. 7. Zawartość ^{137}Cs w wodzie z jeziora Niestysz w latach 2004-2015.



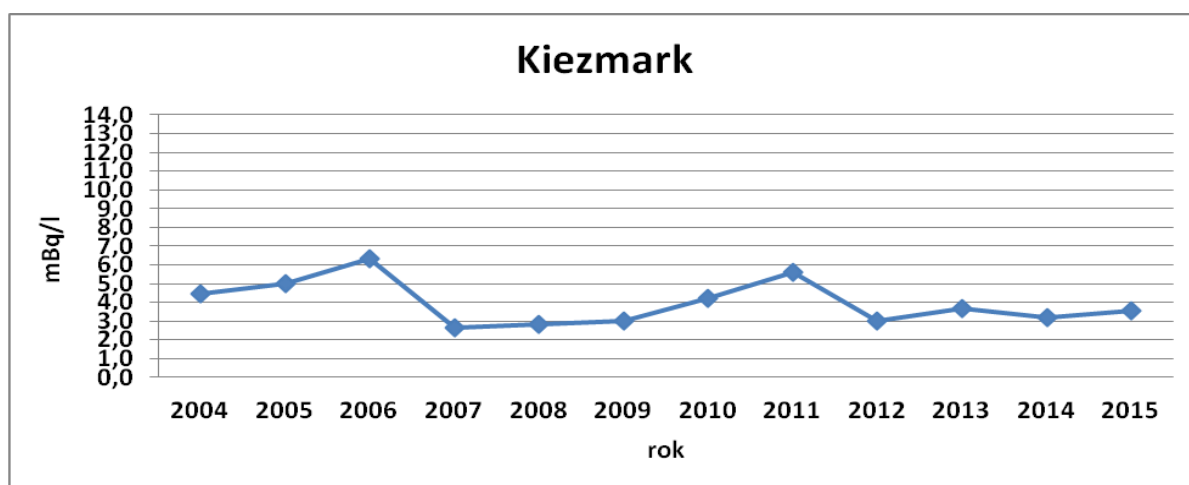
Rys. 8. Zawartość ^{137}Cs w wodzie z jeziora Rogóžno w latach 2004-2015.

Z przedstawionej zależności wynika, że w przeciągu 12 lat dla obu lokalizacji zmiany zawartości ^{137}Cs w wodach mieściły się w zakresie kilku mBq/l. Dla jeziora Niestysz zakres ten wynosi od 1,69 do 3,70 mBq/l, a dla jeziora Rogóžno od 4,32 do 7,99 mBq/l. Pomimo zbliżonego zakresu fluktuacji wyraźnie widać, że zawartość ^{137}Cs w wodach jeziora Rogóžno

na przestrzeni wszystkich lat monitoringu jest ok. 2,5 razy większa niż w jeziorze Niesłysz. Na ogół w jeziorze Rogóźno obserwowane są większe wartości stężenia promieniotwórczo¹³⁷Cs (jak i pozostałych badanych izotopów). Jak już wcześniej wspomiano wpływ na poziom badanych pierwiastków może mieć ilość i rodzaj cieków wodnych wpływających do jeziora, tym bardziej, że jezioro Rogóźno nie jest jeziorem przepływowym, a to może powodować kumulację badanych nuklidów.

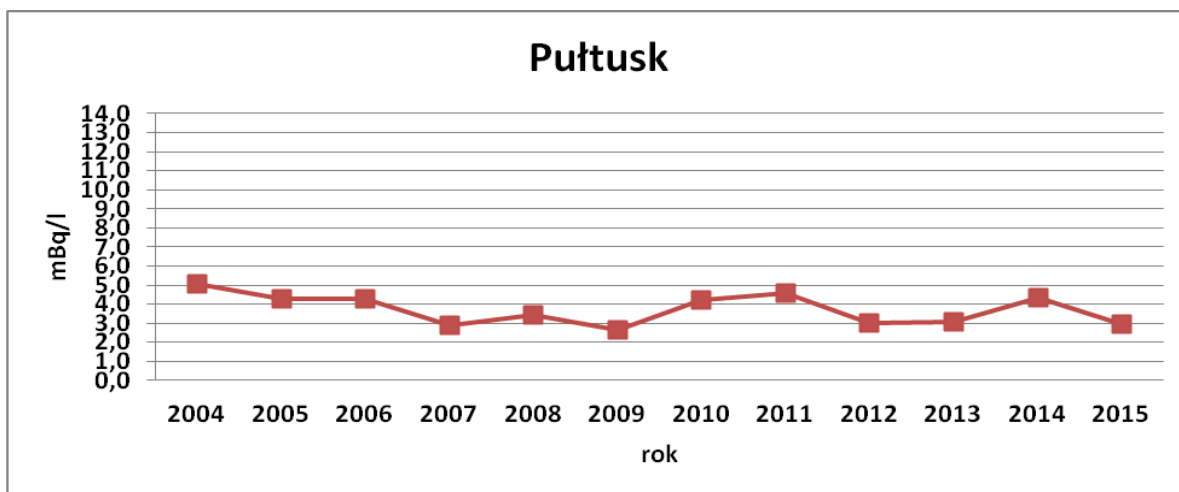
5.3. Analiza zawartości ⁹⁰Sr w wodach dorzecza Wisły i Odry dla wybranych punktów badawczych na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Rysunki: 9, 10, 11 i 12 przedstawiają przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ⁹⁰Sr w wodach dorzecza Wisły (rys.9, 10, 11) i Odry (rys.12) dla poszczególnych punktów pomiarowych w latach 2004 – 2015. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.



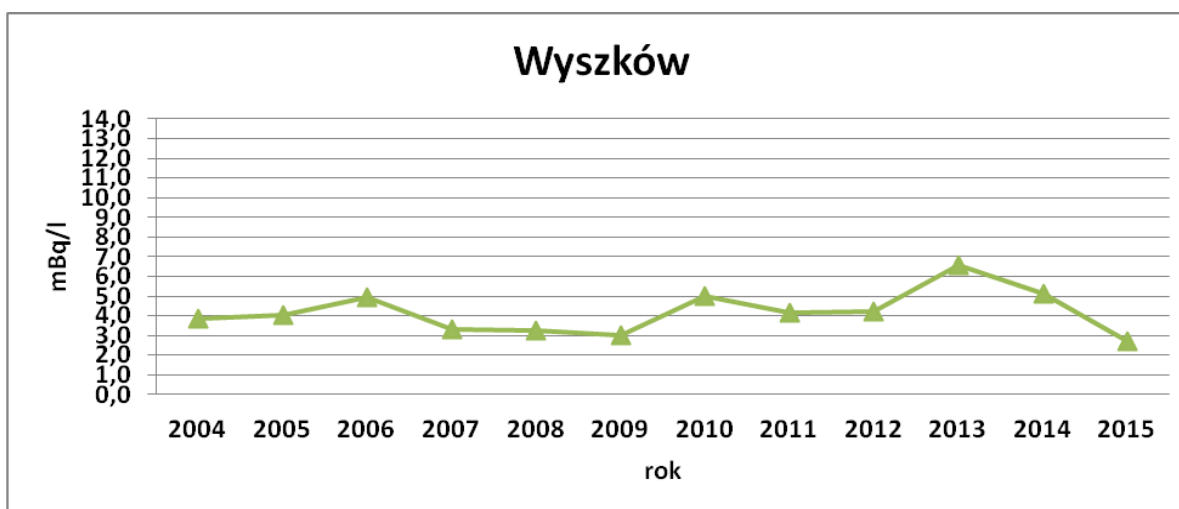
Rys. 9. Zawartość ⁹⁰Sr w wodach Wisły pobranej w Kiezmarku w latach 2004-2015.

Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ⁹⁰Sr w badanych wodach pobieranych w Kiezmarku były na wyrównanym poziomie i zawierały się w granicach od 2,62 mBq/l (2007 rok) do 6,30 mBq/l (2006 rok).



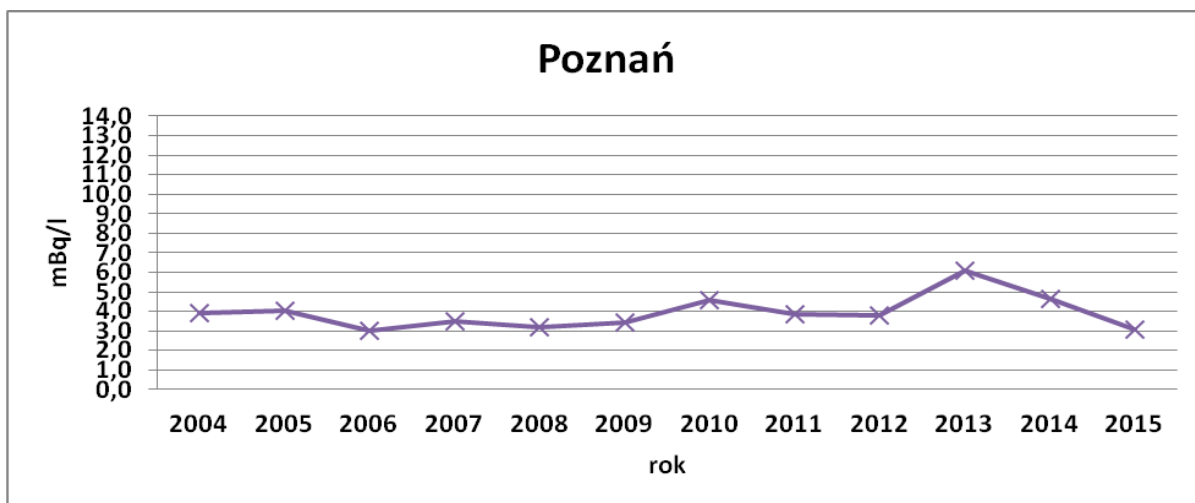
Rys. 10. Zawartość ^{90}Sr w wodach Narwi pobranej w Pułtusk w latach 2004-2015.

Najniższe wartości średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr i (podobnie jak dla cezu) odnotowano dla próbek wody pobieranej w Pułtusk (Rys. 10.), w tej lokalizacji odnotowano także najmniejsze różnice stężeń ^{90}Sr pomiędzy latami badań. Prawdopodobnie spowodowane jest to bardziej stabilną sytuacją hydrologiczną niż w przypadku pozostałych rzek.



Rys. 11. Zawartość ^{90}Sr w wodach Bugu pobranej w Wyszkowie w latach 2004-2015.

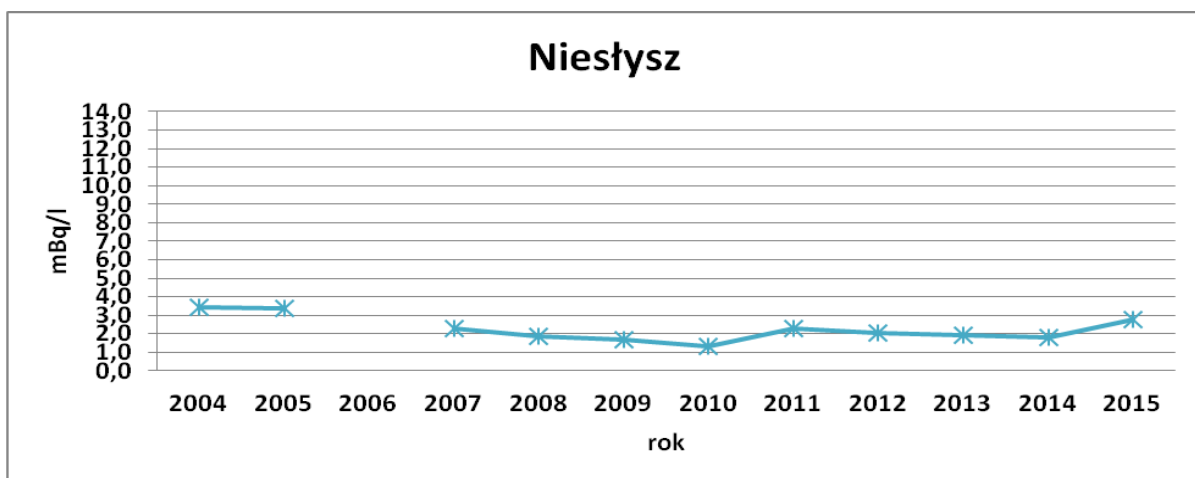
Bardzo podobny przebieg mają krzywe zawartości ^{90}Sr w wodach dla Wyszkowa (Rys. 11.) i Poznania (Rys. 12.). W obu przypadkach odnotowano niewielkie zmiany średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr na przestrzeni analizowanych lat, odnotowując jedynie nieznaczny wzrost w roku 2013.



Rys. 12. Zawartość ^{90}Sr w wodach Warty pobranej w Poznaniu w latach 2004-2015.

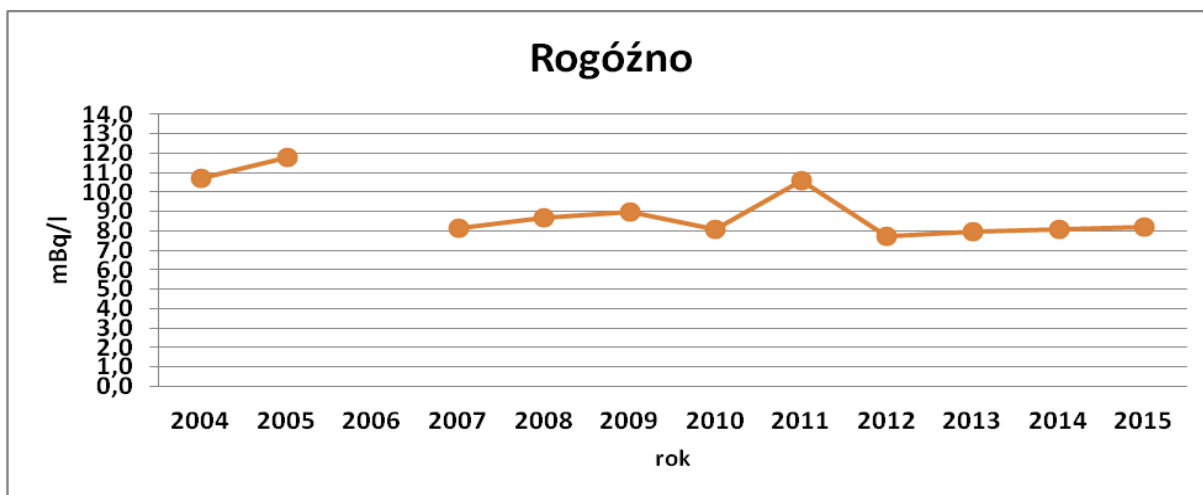
5.4. Analiza zawartości ^{90}Sr w wodach jeziornych dla dwóch wybranych lokalizacji na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr w wodach z dwóch jezior w latach 2004 – 2015 przedstawiono na Rys. 13 i 14. Podane wartości są średnimi rocznymi w poszczególnych latach.



Rys. 13. Zawartość ^{90}Sr w wodach jeziora Niesłysz w latach 2004-2015.

Jak widać na Rys. 13. w kolejnych latach badań dla punktu pomiarowego na jeziorze Niesłysz zawartość ^{90}Sr w wodzie zmieniała się bardzo nieznacznie.

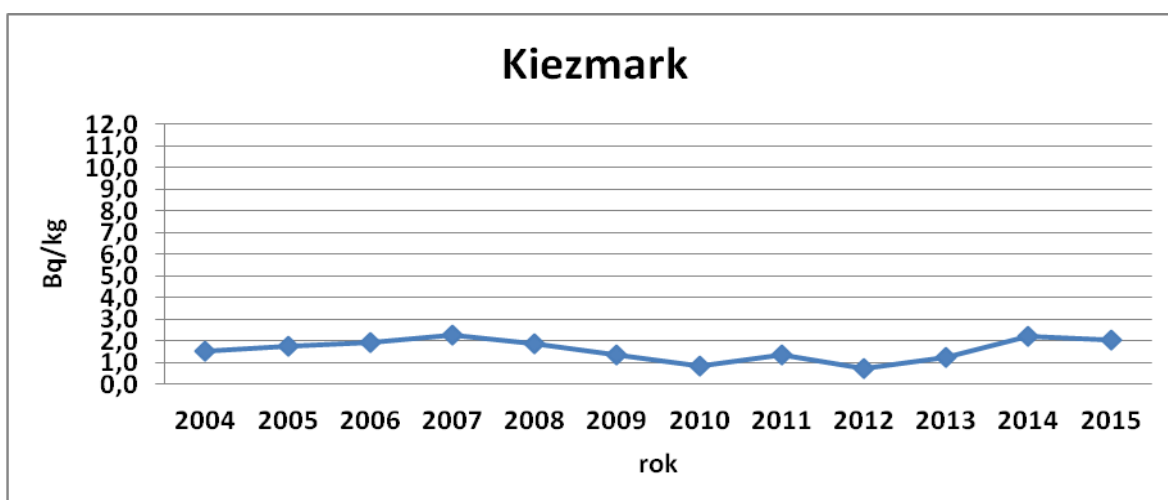


Rys. 14. Zawartość ^{90}Sr w wodach jeziora Rogóźno w latach 2004-2015.

Podobnie jak dla jeziora Niesłysz, wygląda sytuacja dla jeziora Rogóźno tzn. zmiany zawartości ^{90}Sr na przestrzeni lat mieszczą się w zakresie kilkunastu Bq/l. Należy jednak zauważyć, że stężenie tego izotopu w jeziorze Rogóźno (Rys.14.) jest kilkakrotnie wyższe niż w jeziorze Niesłysz (Rys. 13.), analogicznie jak w przypadku izotopu ^{137}Cs .

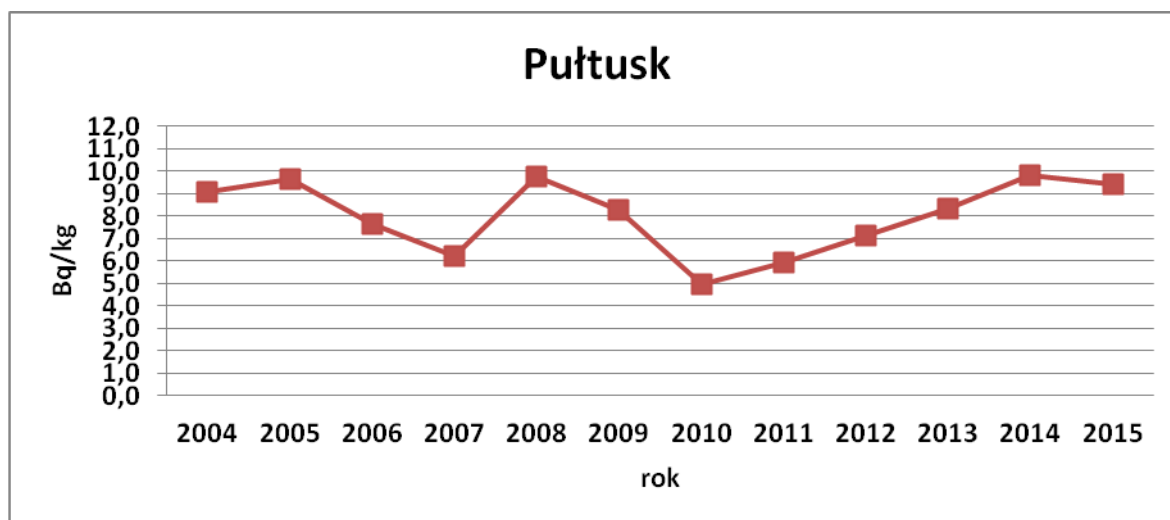
5.5. Analiza zawartości ^{137}Cs w osadach dennych dorzecza Wisły i Odry dla wybranych punktów badawczych na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Rysunki: 15, 16, 17 i 18 przedstawiają przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w osadach dorzecza Wisły i Odry dla czterech punktów pomiarowych w latach 2004 – 2015. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.



Rys. 15. Zawartość ^{137}Cs w osadach z Wisły pobranych w Kiezmark w latach 2004-2015.

W przeciągu wszystkich lat badań bardzo wyrównany poziom i najniższe zawartości izotopu ^{137}Cs obserwowano w punkcie poboru usytuowanym w Kiezmaku. Zakres zmian w przeciągu 12 lat obserwacji mieścił się od 0,86 Bq/kg w roku 2010 do 2,26 Bq/kg w roku 2014.



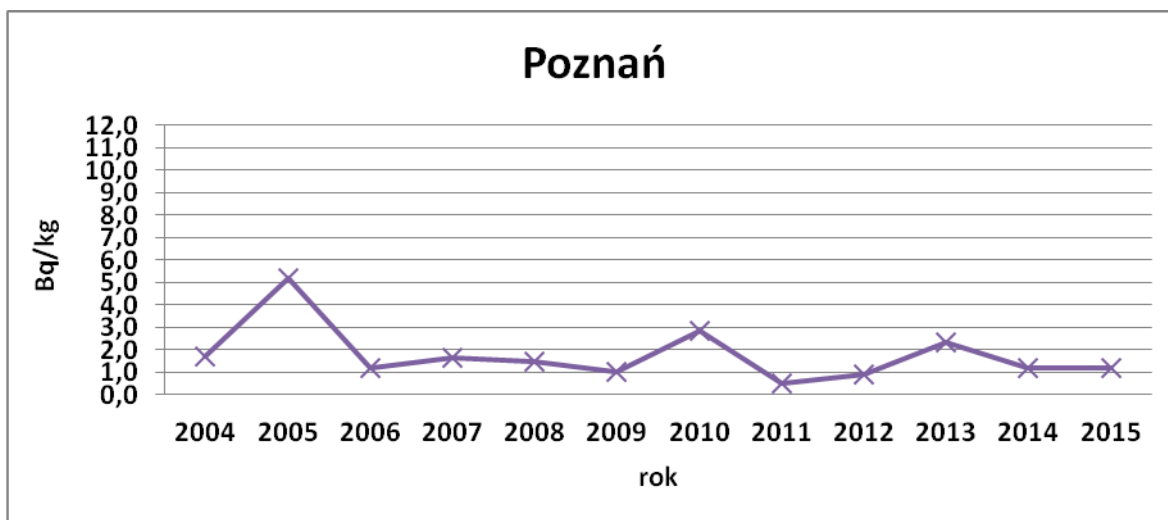
Rys. 16. Zawartość ^{137}Cs w osadach z Narwi pobranych w Pułtusk w latach 2004-2015.

W przypadku punktu poboru w Pułtusk występują znaczne zmiany zawartości izotopów ^{137}Cs w poszczególnych latach obserwacji. Ponadto w stosunku do pozostałych omawianych punktów charakteryzuje się on najwyższym poziomem zawartości izotopu ^{137}Cs . Na te fluktuacje może mieć wpływ zaobserwowana duża zmienność poziomu wód podczas poboru prób, zarówno pomiędzy poszczególnymi latami, jak i pomiędzy poborem wiosennym i jesiennym. Wyższe poziomy wód wiążą się z większym przedostawaniem się różnego rodzaju gleb do rzeki. Mogą się one charakteryzować różną w stosunku do osadu zawartością ^{137}Cs .



Rys. 17. Zawartość ^{137}Cs w osadach z Bugu pobranych w Wyszku w latach 2004-2015.

W punkcie poboru w Wyszku występują jeszcze większe zmiany zawartości izotopów ^{137}Cs w poszczególnych latach obserwacji niż w Pułtusk. Tutaj podobnie jak w Pułtusk obserwowano zmienność poziomu wód podczas poboru prób, zarówno pomiędzy poszczególnymi latami, jak również pomiędzy poborem wiosennym i jesiennym. Jak już wspomiano wyższe poziomy wód wiążą się z większym przedostawaniem się różnego rodzaju gleb do rzeki. Mogą się one charakteryzować różną w stosunku do osadu zawartością ^{137}Cs . Jednak poziom zawartości izotopu ^{137}Cs na przestrzeni lat 2004-2015 jest niższy niż w przypadku osadów pobieranych w Pułtusk.

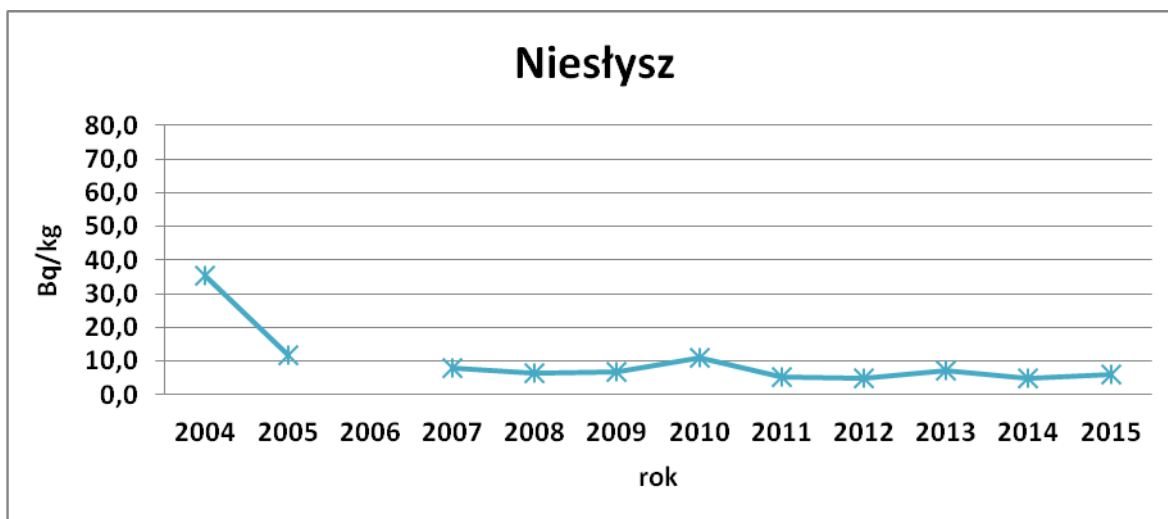


Rys. 18. Zawartość ^{137}Cs w osadach z Warty pobranych w Poznaniu w latach 2004-2015.

W wodach pobieranych w Poznaniu, 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 dosyć stabilna.

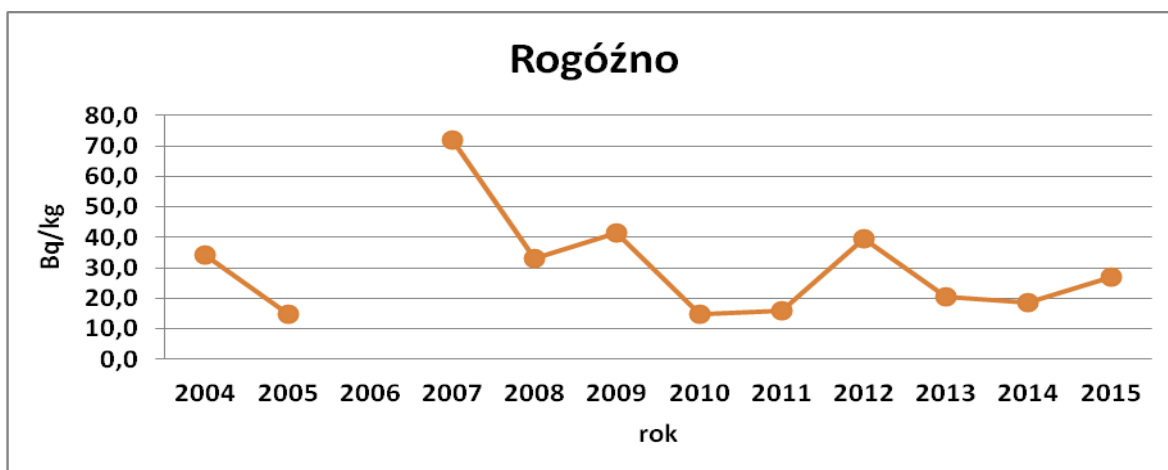
5.6. Analiza zawartości ^{137}Cs w osadach dennych jeziornych dla dwóch wybranych lokalizacji na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Na Rysunkach 19 i 20 pokazano przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w osadach dwóch jezior w latach 2004 – 2015. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.



Rys. 19. Zawartość ^{137}Cs w osadach jeziora Niesłysz pobranych w latach 2004-2015.

W przypadku jeziora Niesłysz widzimy bardzo wyrównany poziom zawartości ^{137}Cs w poszczególnych latach badawczych. Wyjątkiem jest rok 2004, w którym zawartość ^{137}Cs była około trzykrotnie większa niż obserwowana w kolejnych latach.



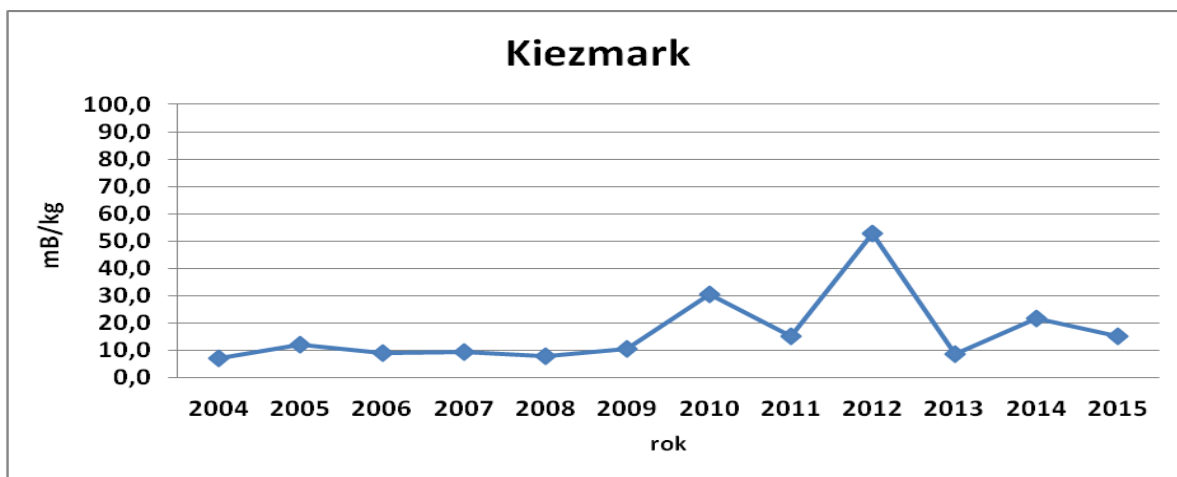
Rys. 20. Zawartość ^{137}Cs w osadach jeziora Rogóżno pobranych w latach 2004-2015.

W przypadku jeziora Rogóżno 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.

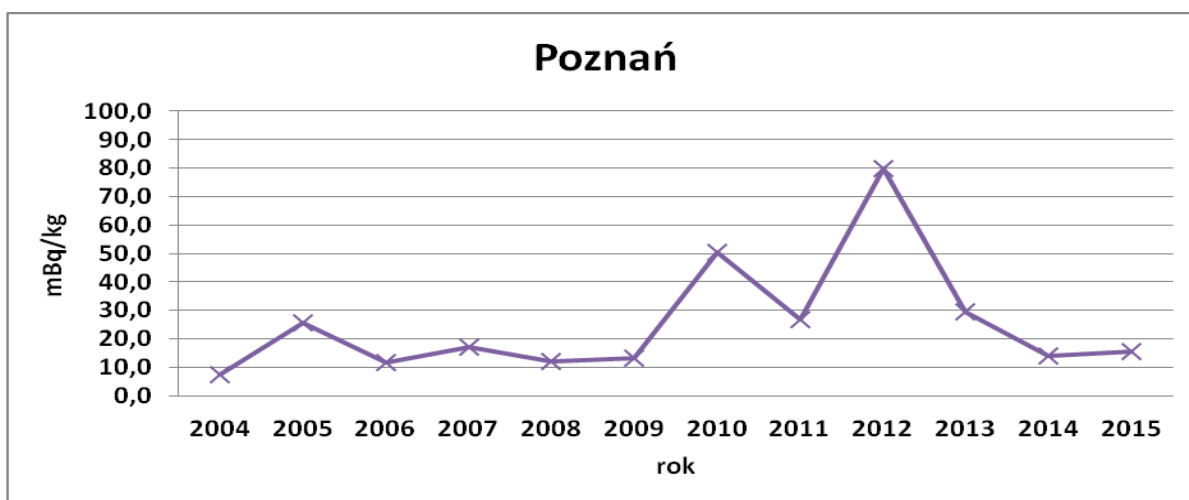
5.7. Analiza zawartości ^{238}Pu i $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych dorzecza Wisły i Odry dla wybranych punktów badawczych na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Rysunki 21-24 przedstawiają przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dorzecza Wisły i Odry dla czterech wybranych punktów pomiarowych

w latach 2004 – 2015. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu. Zakres średnich stężeń określonych w latach 2004-2015 dla czterech omawianych punktów zawiera się od pojedynczych mBq/kg do ok. 80 mBq/kg.

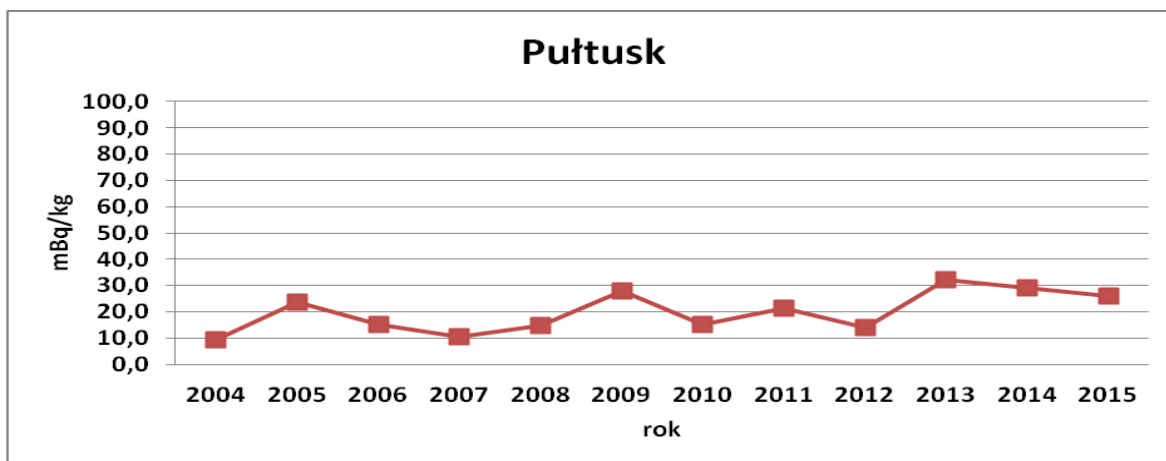


Rys. 21. Zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach Wisły pobranych Kiezmarku w latach 2004-2015.



Rys. 22. Zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach Warty pobranych w Poznaniu w latach 2004-2015.

Krzywe dla punktów poboru osadów usytuowanych w Kiezmarku (Rys. 21.) i Poznaniu (Rys. 22), mają najbardziej zbliżony przebieg. Dla obu punktów obserwujemy wyższe wartości średnich rocznych stężeń promieniotwórczych $^{239,240}\text{Pu}$ w roku 2010 i roku 2012.



Rys. 23. Zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach Narwi pobranych w Pułtusku w latach 2004-2015.

W przypadku zawartości izotopów $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych dorzecza Wisły i Odry dla omawianych punktów na przestrzeni wszystkich lat badań najbardziej wyrównany poziom zawartości izotopów $^{239,240}\text{Pu}$ obserwowano w punkcie poboru usytuowanym w Pułtusku (Rys. 23.). Zakres zmian mieścił się od 10,44 mBq/kg w roku 2007 do 32,15 mBq/kg w roku 2013.

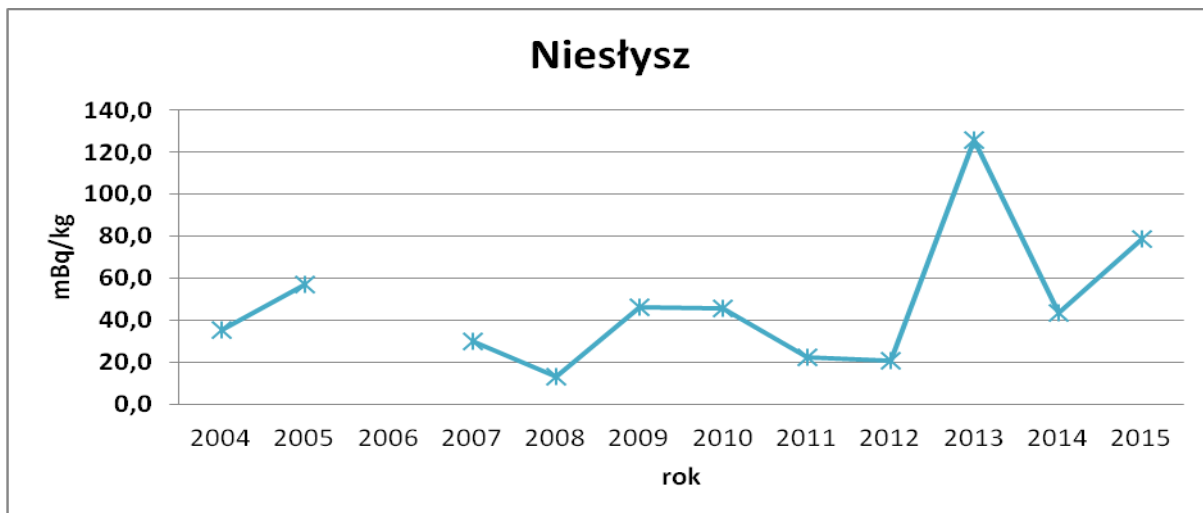


Rys. 24. Zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach Bugu pobranych w Wyszkowie w latach 2004-2015.

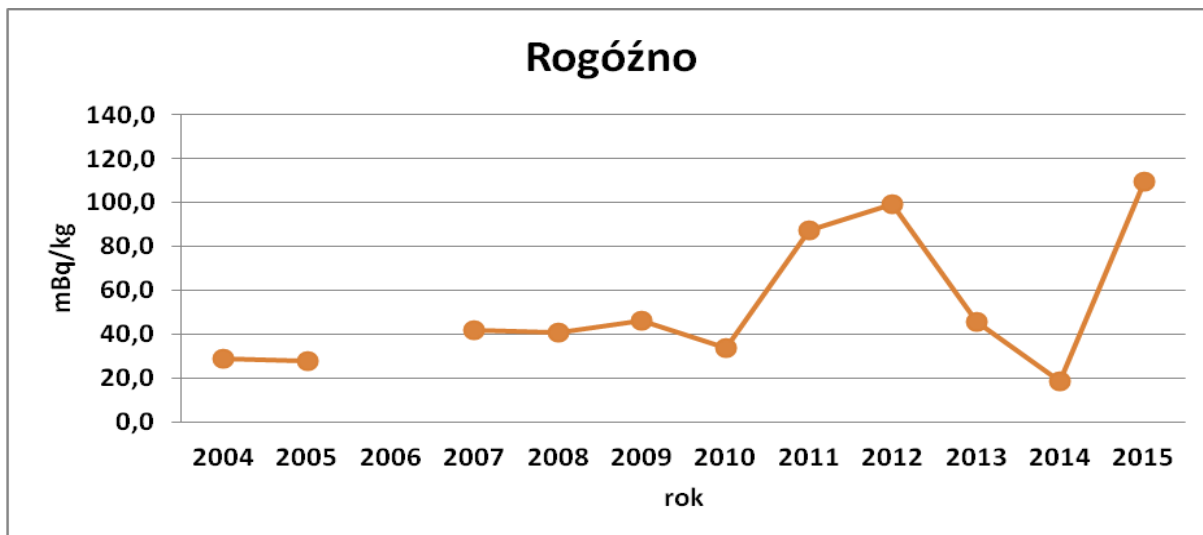
W przypadku Wyszkowa występują znaczne zmiany zawartości izotopów $^{239,240}\text{Pu}$ w szczególności po roku 2009 (Rys.24.). Po tym roku średnie roczne stężeń promieniotwórczych $^{239,240}\text{Pu}$ mają wyższe wartości, jednocześnie występują większe fluktuacje. Być może wyższe poziomy wód podczas powodzi w roku 2010 spowodowały przedostanie się różnego rodzaju gleb do rzeki, które mogły charakteryzować różną zawartością $^{239,240}\text{Pu}$ 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 Niesłysz i Rogóźno w latach 2004 – 2015. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.



Rys. 25. Zawartość $^{239, 240}\text{Pu}$ w osadach z jeziora Niesłysz pobranych w latach 2004-2015.



Rys. 26. Zawartość $^{239, 240}\text{Pu}$ w osadach z jeziora Rogóźno pobranych w latach 2004-2015.

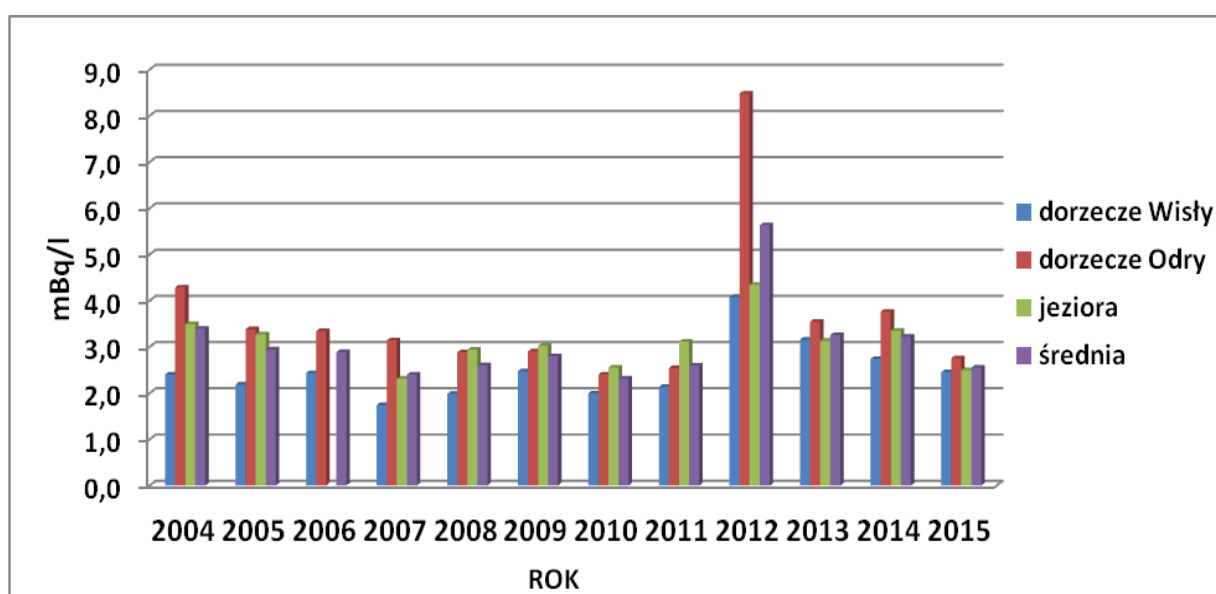
Z przedstawionej zależności wynika, że w przeciągu siedmiu lat dla obu lokalizacji zmiany zawartości $^{239, 240}\text{Pu}$ w osadach miały zbliżony przebieg, a średnie stężenie promieniotwórcze $^{239, 240}\text{Pu}$ w obu jeziorach było na zbliżonym poziomie i mieściło się w zakresie od około 20 do 60 mBq/kg. Podwyższoną zawartość $^{239, 240}\text{Pu}$ stwierdzono w osadzie

z jeziora Niesłysz jedynie w roku 2013. Odbiegającą wartość odnotowano w próbce pobranej wiosną, gdzie oznaczono stężenie promieniotwórcze izotopów plutonu na poziomie 192.73 mBq/kg. W próbce jesiennej nie odnotowano jednak już tak dużej wartości.

W przypadku jeziora Rogóźno wystąpiły większe zmiany zawartości izotopu $^{239, 240}\text{Pu}$ w latach 2011-2015. Szczególnie podwyższone wartości oznaczono w próbkach: wiosną 2011, jesienią 2012 i wiosną 2015. W pozostałych próbkach w tych latach nie stwierdzono podwyższonych wartości.

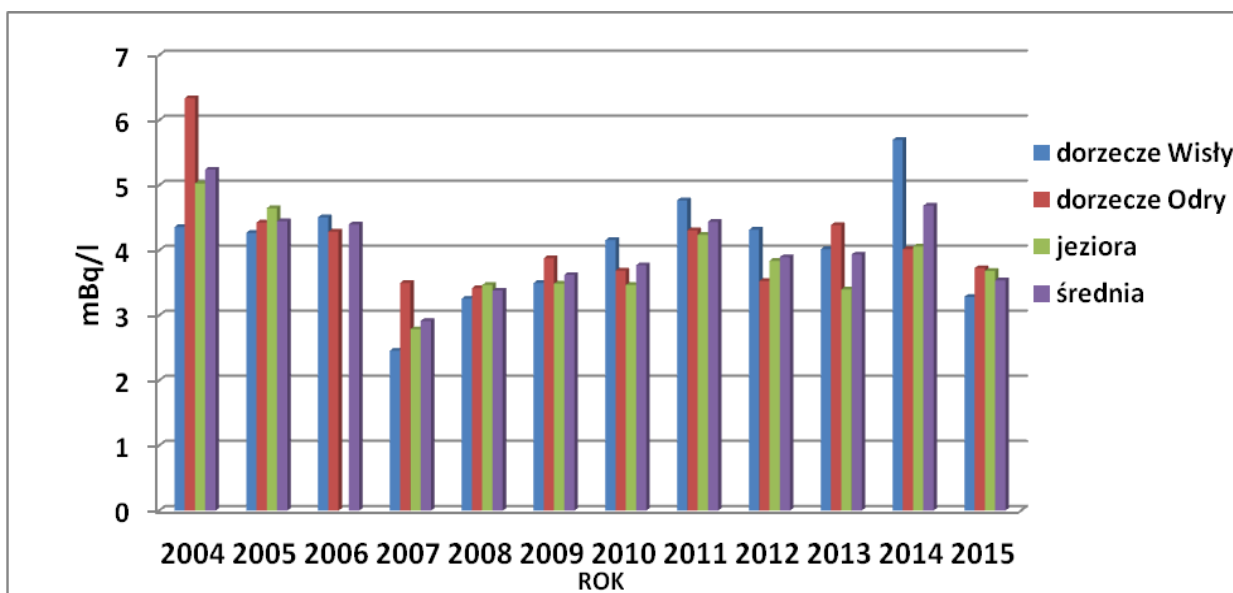
5.9. Analiza zawartości ^{137}Cs w wodach rzecznych w układzie dorzeczy oraz ich porównanie do wód jeziornych na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

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 2004-2015. 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 latach 2013, 2014 obserwujemy bardzo wyrównany i powtarzalny poziom stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs . W bieżącym roku zawartość izotopu cezu w wodzie dla dorzeczy Wisły, Odry i jezior była bardzo wyrównana i niższa niż w ostatnich latach.



Rys. 27. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2015.

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



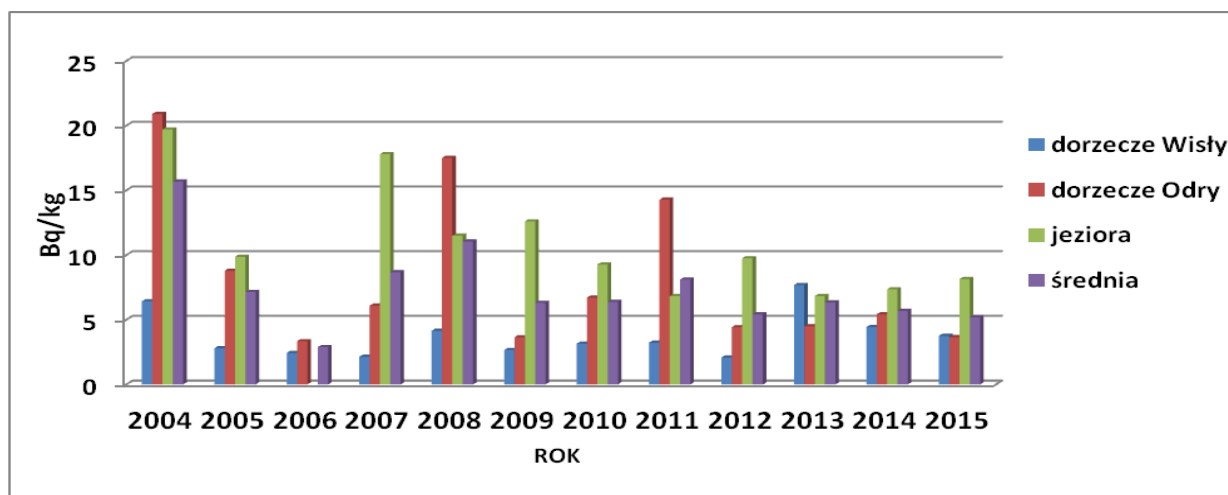
Rys. 28. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2015.

Na Rysunku 28 przedstawiono średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w wodzie dla dorzeczy Wisły, Odry i jezior w odniesieniu do ogólnej średniej rocznej z lat 2004-2015. 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 . W bieżącym roku, w porównaniu do ostatnich kilku lat, odnotowano szczególnie małe różnice i bardzo wyrównany poziom zawartości ^{90}Sr .

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

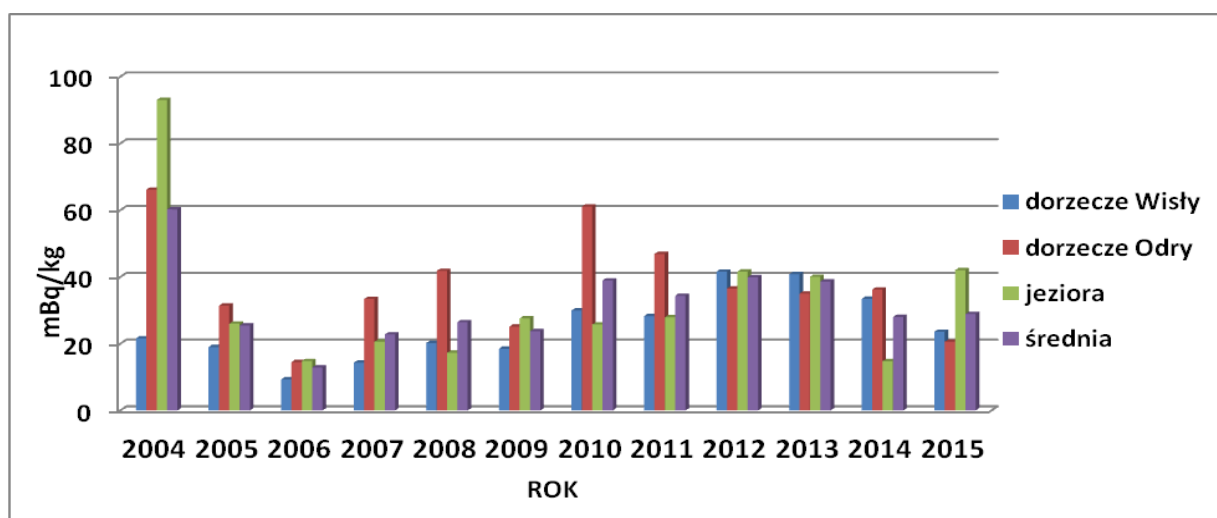
Rysunek 29 przedstawia wykres obrazujący średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych dla dorzeczy Wisły, Odry i jezior w odniesieniu do ogólnej średniej rocznej w latach 2004-2015. Największe zawartości ^{137}Cs zanotowano w roku 2004. Podobne średnie roczne stężenia promieniotwórcze 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. Wszystkie wartości średnich rocznych stężeń ^{137}Cs są bardziej wyrównane w roku 2014. Natomiast średnia roczna zawartości ^{137}Cs w osadach dennych w roku 2015 ma najniższą wartość (z pominięciem roku 2006, w którym nie były monitorowane jeziora).



Rys. 29. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2015.

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 2004-2015.

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 2004-2015.

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 2014 i 2015 odnotowano spadek zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w obu dorzeczach i pomimo podwyższonej zawartości w 2015 roku w jeziorach wartość średniej rocznej pozostała na tym samym poziomie.

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.

6. PODSUMOWANIE.

Monitoring skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych w 2015 roku obejmował jesienny i wiosenny pobór próbek wody i osadów dennych w 18 punktach: 7 punktów poboru zlokalizowanych w dorzeczu Wisły, 5 punktów poboru w dorzeczu Odry i 6 punktów na wybranych jeziorach. Miejsca poboru próbek były zgodne z umową (umowa nr 12/F/2013 z dnia 27.05.2013r.).

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 prób. 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 wyrównanym poziomie i zawierały się w bardzo wąskim zakresie od 2,45 mBq/l (dla dorzecza Wisły) do 2,75 mBq/l (dla dorzecza Odry). W przypadku średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr sytuacja wyglądała bardzo podobnie jak dla cezu. Zakres otrzymanych wartości mieścił się w granicach od 3,29 mBq/l (dla dorzecza Wisły) do 3,73 mBq/l (dla dorzecza Odry).

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych wynosiły odpowiednio: w dorzeczu Wisły 3,73 Bq/kg, najmniej w dorzeczu Odry 3,65 Bq/kg i najwięcej w jeziorach 8,14 Bq/kg.

Zbliżone średnie roczne stężenia promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ obserwowano w osadach dennych dorzecza Odry – 20,56 mBq/kg i osadach dorzecza Wisły – 23,35 mBq/kg, a dwukrotnie wyższe w osadach jeziornych 42,03 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).

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

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.

7. WNIOSKI.

Na podstawie wyników uzyskanych w 2015 roku można stwierdzić, że nie wystąpiły nowe uwolnienia izotopów promieniotwórczych do środowiska, a skażenie wód powierzchniowych takimi nuklidami jak ^{137}Cs i ^{90}Sr jest niewielkie. Podobnie zawartość ^{137}Cs i $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych rzek i jezior pozostaje na niskim poziomie.