

**MONITORING SKAŻEŃ PROMIENIOTWÓRCZYCH WÓD
POWIERZCHNIOWYCH I OSADÓW DENNYCH
W LATACH 2011-2012**

Raport Roczny

2012

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



Praca wykonana na podstawie Umowy z GIOŚ nr 59/2010/F finansowanej ze środków NFOŚiGW na podstawie umowy nr 511/2010/WN-7/MN-BD/D zawartej w dniu 30.09.2010 roku o dofinansowanie państwowej jednostki budżetowej w formie przekazania środków na cele nie inwestycyjne.

Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej

Listopad 2012

1. WSTĘP

1.1. CEL PRACY

Celem pracy jest oznaczenie i ocena skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych. W latach 2011-2012 monitoring prowadzony jest w oparciu o następujące akty prawne:

1. Ustawa – Prawo ochrony środowiska (Dz.U. 2008 nr 25 poz. 150 z późn. zm.) art. 26. W artykule tym zdefiniowane są cele i zadania Państwowego Monitoringu Środowiska, w tym monitoringu promieniowania jonizującego.
2. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 17 grudnia 2002 r. w sprawie stacji wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych i placówek prowadzących pomiary skażeń promieniotwórczych (Dz.U. Nr 239, poz. 2030), przygotowane na podstawie deklaracji zawartej w Prawie Atomowym (Dz.U. z 2001r. Nr 3, poz. 18. z późniejszymi zmianami).

Powyższe akty prawne stanowią podstawę zawartej Umowy nr 59/2010/F pomiędzy Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska z siedzibą w Warszawie, a Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej. Szczegółowy zakres monitoringu zawiera Załącznik nr 1 do powyższej Umowy.

Monitoring skażeń promieniotwórczych zaleca Komisja Europejska w Rekomendacji z 8 czerwca 2000 roku o stosowaniu Artykułu 36 Traktatu Euroatomu dotyczącego monitoringu poziomów radioaktywności w środowisku w celu oceny ekspozycji całej populacji.

W niniejszym Raporcie przedstawiono wyniki monitoringu prowadzonego w 2012 roku.

1.2. ZAKRES PRACY

Próbki wód i osadów dennych pobierano w 18 punktach, usytuowanych w dorzeczu Wisły (7 punktów), w dorzeczu Odry (5 punktów) i w sześciu jeziorach. Wykaz punktów poboru wody i osadów dennych oraz współrzędne geograficzne miejsc, w których pobierano próbki podano w Tabeli 1 i 2.

Terminy poboru próbek były następujące:

1. Termin wiosenny – od 8 maja do 16 czerwca;
2. Termin jesienny - od 30 sierpnia do 21 września.

W ramach programu Państwowego Monitoringu Środowiska oznaczono stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach oraz ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$ i ^{238}Pu w osadach dennych.

Tabela 1. Punkty i daty poboru próbek wody i osadów dennych z rzek w roku 2012.

Rzeka	Miejscowość województwo	Data poboru próbki		Współrzędne geograficzne			
		wiosna	jesień	woda		osad	
				Długość geograficzna wschodnia DMS ^{a)}	Szerokość geograficzna północna DMS	Długość geograficzna wschodnia DMS	Szerokość geograficzna północna DMS
Wisła	Kraków-Tynec małopolskie	08.05	18.09	19° 49' 11'' ^{a)}	50° 01' 85''	19° 48' 10''	50° 01' 21''
	Annopol Lubelskie	08.05	18.09	21° 49' 87''	50° 53' 15''	21° 50' 11''	50° 53' 19''
	Warszawa mazowieckie	06.06	30.08	21° 00' 63''	52° 15' 66''	21° 00' 52''	19° 49' 11''
	Płock mazowieckie	23.05	31.08	19° 41' 48''	52° 32' 08''	19° 41' 96''	52° 32' 10''
	Kiezmark pomorskie	22.05	07.09	18° 56' 84''	54° 15' 41''	18° 56' 73''	54° 15' 46''
Narew	Pułtusk mazowieckie	22.05	31.08	21° 05' 79''	52° 42' 17''	21° 05' 74''	52° 42' 16''
Bug	Wyszków mazowieckie	22.05	31.08	21° 27' 22''	52° 36' 10''	21° 27' 22''	52° 36' 10''
Odra	Chałupki Śląskie	08.05	19.09	18° 19' 59''	49° 55' 21''	18° 19' 62''	49° 55' 34''
	Wrocław dolnośląskie	09.05	19.09	17° 02' 95''	51° 06' 71''	17° 02' 64''	51° 06' 73''
	Głogów dolnośląskie	09.05	19.09	16° 05' 52''	51° 40' 06''	16° 05' 46''	51° 40' 15''
	Krajnik zachodnio-pomorskie	09.05	20.09	14° 18' 72''	53° 02' 08''	14° 18' 77''	53° 02' 01''
Warta	Poznań wielkopolskie	10.05	21.09	16° 55' 00''	52° 21' 16''	16° 55' 00''	52° 21' 16''

^{a)} stopnie, minuty, sekundy

Tabela 2. Punkty i daty poboru próbek wody i osadów dennych z jezior w roku 2012.

Jezioro miejsowość województwo	Data poboru próbek		Współrzędne geograficzne poboru wody i osadów	
	wiosna	jesień	Długość geograficzna wschodnia DMS	Długość geograficzna północna DMS
Drawsko Stare Drawsko zachodnio-pomorskie	22.05	20.09	16° 11' 68'' ^{a)}	53° 36' 13''
Wadąg Myki warmińsko-mazurskie	22.05	06.09	20° 32' 93''	53° 49' 21''
Wielkie Partęczyny Partęczyny kujawsko-pomorskie	09.05	07.09	19° 25' 30''	53° 23' 19''
Rogóżno Rogóżno lubelskie	23.05	18.09	22° 58' 02''	51° 22' 67''
Nieślysz Niesulice lubuskie	10.05	20.09	15° 24' 10''	52° 12' 85''
Wigry Stary Folwark podlaskie	08.05	06.09	23° 04' 94''	54° 04' 63''

^{a)} stopnie, minuty, sekundy

2. METODYKA MONITORINGU

2.1. 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. Woda była zakwaszana, a po przywiezieniu do laboratorium odparowywana do objętości 450 ml. Osady denne pobierano z trzech miejsc, oddalonych od siebie o ok. 50 m i sporządzano próbkę zbiorczą o masie ok. 1 kg. W laboratorium próbki osadu, po usunięciu kamyków i części roślin, suszono w temp. 105°C do stałej wagi i przesiewano przez sito o średnicy oczek 2 mm.

2.2. Metody analityczne i pomiarowe

Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs , w osadach dennych oznaczano zgodnie z metodą akredytowaną. Natomiast procedury oznaczania stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach i ^{238}Pu i $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych są w trakcie procesu akredytacyjnego, który będzie zakończony w tym roku.

Poniżej opisane metody są od lat stosowane w CLOR, które ma wdrożony System Zarządzania Laboratorium wg normy PN-EN ISO/IEC 17025:2005. 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 75 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 ekstrahowano z próbki mieszaniną kwasów, wydzielano z roztworu 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. WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

3.1. ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach rzek

W Tabeli 3 przedstawiono stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w próbkach wody pobranej w rzekach w okresie wiosennym i jesiennym 2012 roku oraz średnie roczne stężenia promieniotwórcze tego radionuklidu. Średnie wartości stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w wodach rzek mieściły się w granicach od 1,89 mBq/l w Narwi (Pułtusk) do 8,00 mBq/l w Wiśle (Annopol). Najniższe wartości stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs odnotowano jesienią w Wiśle (Warszawa) - 1,25 mBq/l, najwyższe wiosną w Odrze (Chałupki) - 40,72 mBq/l.

Tabela 3. Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach rzek w okresie wiosennym, jesiennym oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu.

Lp.	Miejsce poboru próbki	^{137}Cs , wiosna mBq l ⁻¹	^{137}Cs , jesień, mBq l ⁻¹	^{137}Cs , średnia roczna mBq l ⁻¹
1	Wisła Kraków Tyniec	7,05 ± 0,43 ^{a)}	3,40 ± 0,29	5,23 ± 2,58 ^{b)}
2	Wisła Annopol	12,33 ± 0,58	3,67 ± 0,30	8,00 ± 6,12
3	Wisła Warszawa	9,71 ± 0,49	1,25 ± 0,18	5,48 ± 5,98
4	Wisła Płock	2,64 ± 0,24	3,68 ± 0,29	3,16 ± 0,74
5	Wisła Kieźmark	3,04 ± 0,27	2,07 ± 0,21	2,56 ± 0,69
6	Narew Pułtusk	2,48 ± 0,24	1,29 ± 0,23	1,89 ± 0,84
7	Bug Wyszków	2,13 ± 0,22	2,33 ± 0,34	2,23 ± 0,14
8	Odra Chałupki	40,72 ± 1,04	4,95 ± 0,35	22,84 ± 25,29
9	Odra Wrocław	6,49 ± 0,41	6,00 ± 0,40	6,25 ± 0,35
10	Odra Głogów	3,30 ± 0,28	4,23 ± 0,32	3,77 ± 0,66
11	Odra Krajnik	3,73 ± 0,31	1,98 ± 0,22	2,81 ± 1,24
12	Warta Poznań	10,96 ± 0,54	2,41 ± 0,17	6,69 ± 6,05

^{a)}Wartość ± Całkowita Względna Niepewność (CWN) przy poziomie ufności 95%.

^{b)}Wartość ± Odchylenie standardowe (OS)

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach rzek (Tabela 4) wahało się od 2,44 mBq/l w wodzie z Odry (Krajnik) do 5,90 mBq/l w wodzie pobranej z Wisły w Warszawie. Najniższe stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr odnotowano jesienią w Narwi (Pułtusk) -1,59 mBq/l, najwyższe zaś wiosną w Wiśle (Warszawa) – 9,61 mBq/l.

Tabela 4. Stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach rzek w okresie wiosennym, jesiennym oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu.

Lp.	Miejsce poboru próbki	^{90}Sr , wiosna mBq l ⁻¹	^{90}Sr , jesień, mBq l ⁻¹	^{90}Sr , średnia roczna mBq l ⁻¹
1	Wisła Kraków Tynec	4,29 ± 0,33 ^{a)}	7,24±0,33	5,77 ± 2,09 ^{b)}
2	Wisła Annopol	5,32 ± 0,36	4,18±0,23	4,75 ± 0,81
3	Wisła Warszawa	9,61 ± 0,51	2,18±0,16	5,90 ± 5,25
4	Wisła Płock	4,00 ± 0,32	3,26±0,27	3,63 ± 0,52
5	Wisła Kieźmark	3,34 ± 0,27	2,71 ± 0,17	3,03 ± 0,45
6	Narew Pułtusk	4,39 ± 0,38	1,59±0,13	2,99 ± 1,98
7	Bug Wyszków	5,08 ± 0,37	3,32±0,19	4,20 ± 1,24
8	Odra Chałupki	3,26 ± 0,28	4,86±0,27	4,04 ± 1,10
9	Odra Wrocław	3,72 ± 0,30	4,03 ± 0,22	3,88 ± 0,22
10	Odra Głogów	2,15 ± 0,25	4,90 ± 0,24	3,53 ± 1,94
11	Odra Krajnik	2,65 ± 0,24	2,22±0,16	2,44 ± 0,30
12	Warta Poznań	4,39 ± 0,35	3,18 ± 0,19	3,79 ± 0,86

^{a)}Wartość ± Całkowita Względna Niepewność (CWN) przy poziomie ufności 95%.

^{b)}Wartość ± Odchylenie standardowe (OS)

3.2. ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach jezior

W jeziorach zakres średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs (Tabela 5.) był nieco węższy niż w rzekach i wynosił od 2,07 mBq/l w wodzie pobranej w jeziorze Wadąg do 7,23 mBq/l w wodzie pobranej w Rogóźnie. Najniższe stężenie ^{137}Cs było jesienią w jeziorze Wadąg - 1,59 mBq/l, najwyższe wiosną w jeziorze Rogóžno – 9,07 mBq/l

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

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	2,86 ± 0,26 ^{a)}	1,97 ± 0,21 ^{a)}	2,42 ± 0,68 ^{b)}
2	Wadąg Myki	2,54 ± 0,24	1,59 ± 0,18	2,07 ± 0,67
3	Wielkie Partęczyny Partęczyny	4,89 ± 0,34	4,34 ± 0,32	4,62 ± 0,39
4	Drawsko Stare Drawsko	4,78 ± 0,34	7,25 ± 0,43	6,02 ± 1,75
5	Niesłysz Niesulice	3,60 ± 0,29	3,80 ± 0,31	3,70 ± 0,14
6	Rogóžno Rogožno	9,07 ± 0,50	5,38 ± 0,26	7,23 ± 2,61

^{a)}Wartość ± Całkowita Względna Niepewność (CWN) przy poziomie ufności 95%.

^{b)}Wartość ± Odchylenie standardowe (OS)

Wartości stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr w próbkach wody z jezior (Tabela 6.) były bardzo zbliżone w okresie wiosenny i jesiennym. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr wahały się w zakresie od 2,05 mBq l⁻¹ w jeziorze Niesłysz do 7,70 mBq l⁻¹ w jeziorze Rogóžno.

Najwyższe wartości średnie stężenia promieniotwórczego zarówno ^{137}Cs jak i ^{90}Sr odnotowano w próbkach wody z jeziora Rogóžno. W tym jeziorze na ogół obserwowano podwyższone wartości stężeń promieniotwórczych badanych izotopów w stosunku do pozostałych jezior. Jezioro Rogóžno nie jest jeziorem przepływowym, co może powodować kumulację badanych nuklidów. Wpływ na poziom badanych pierwiastków może mieć również ilość i rodzaj cieków wodnych wpływających do jeziora.

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

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	2,76 ± 0,26 ^{a)}	2,86 ± 0,28 ^{a)}	2,81 ± 0,07 ^{b)}
2	Wadąg Myki	2,79 ± 0,27	3,12 ± 0,19	2,96 ± 0,23
3	Wielkie Partęczyny Partęczyny	2,20 ± 0,23	3,18 ± 0,30	2,69 ± 0,69
4	Drawsko Stare Drawsko	5,36 ± 0,39	4,34 ± 0,21	4,85 ± 0,72
5	Niestysz Niesulice	2,49 ± 0,25	1,60 ± 0,13	2,05 ± 0,63
6	Rogóźno Rogóźno	6,19 ± 0,41	9,20 ± 0,36	7,70 ± 2,13

^{a)}Wartość ± Całkowita Względna Niepewność (CWN) przy poziomie ufności 95%.

^{b)}Wartość ± Odchylenie standardowe (OS)

3.3. Średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach rzek i jezior.

Średnie stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach dorzecza Wisły, dorzecza Odry i w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne i zakres stężeń przedstawiono w Tabeli 7. Najmniejszą średnią roczną wartość stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs w wodzie w 2012 roku odnotowano w dorzeczu Wisły i wynosiła ona 4,08 mBq/l. Tendencja ta utrzymuje się od wielu lat, co widać porównując średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2007-2012 (Rys.2)

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

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)}	5,63 ± 4,11 ^{b)}	2,53 ± 1,07	4,08 ± 3,30 (14)	1,25 – 12,33
Dorzecze Odry (5)	13,04 ± 15,77	3,91 ± 1,70	8,48 ± 11,68 (10)	1,98 – 40,72
Jeziora (6)	4,62 ± 2,38	4,06 ± 2,12	4,34 ± 2,17 (12)	1,59 – 9,07

^{a)} Liczba próbek wody

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

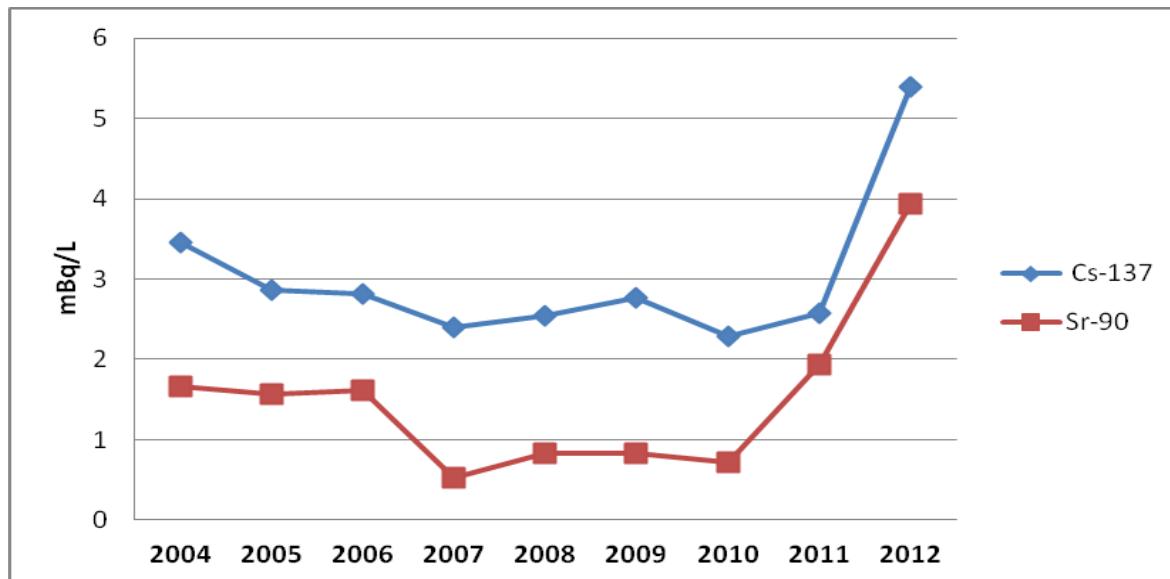
Średnie stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w próbkach wody było dosyć wyrównane szczególnie w okresie jesiennym. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w dorzeczu Wisły i Odry wynosiły odpowiednio 4,32 mBq/l i 3,53 mBq/l, a w jeziorach 3,84 mBq/l (Tabela 8).

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

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)}	5,15 ± 2,08 ^{b)}	3,50 ± 1,85	4,32 ± 2,07 (14)	1,59 – 9,61
Dorzecze Odry (5)	2,32 ± 0,88	3,83 ± 1,14	3,53 ± 1,01(10)	2,15 – 4,81
Jeziora (6)	3,63 ± 1,69	4,05 ± 2,67	3,84 ± 2,14(12)	1,60 – 6,19

^{a)} Liczba próbek wody

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

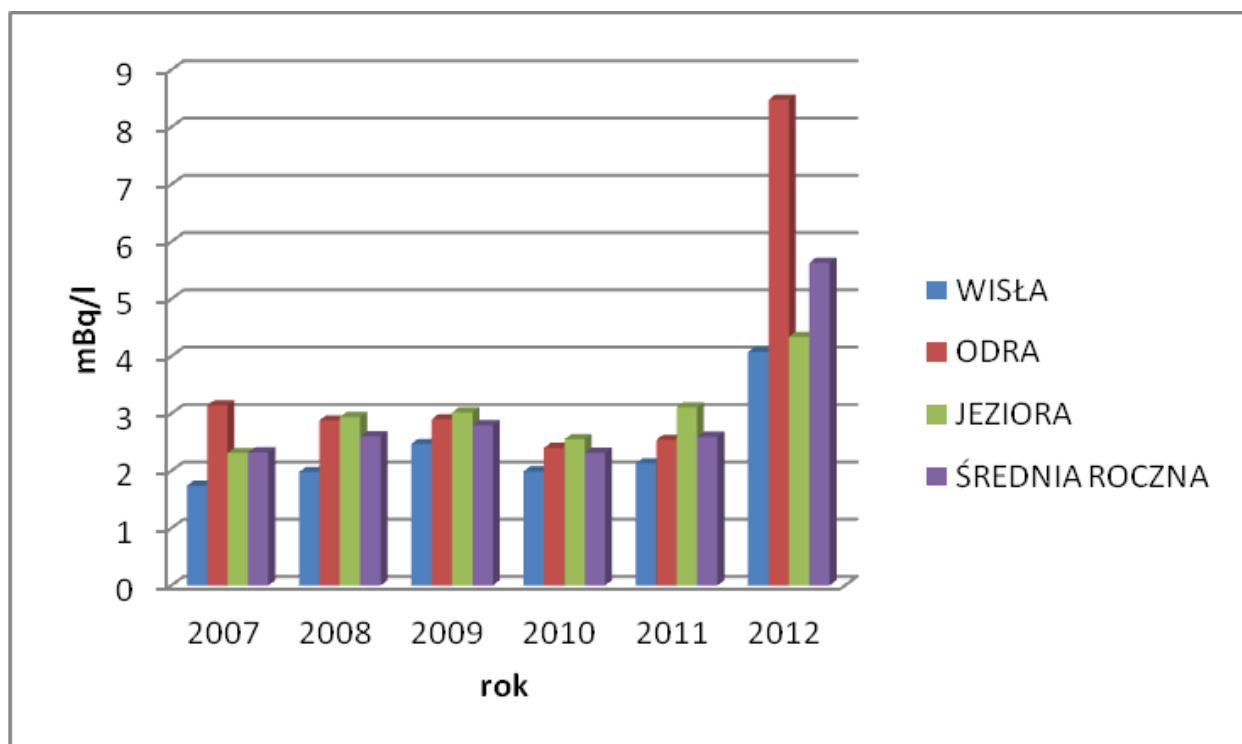


Rys.1. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach rzek i jezior w Polsce w latach 2004 – 2012.

Rysunek 1. Przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach rzek i jezior w latach 2004 – 2012. Przedstawione wartości są średnimi arytmetycznymi z oznaczeń poszczególnych radionuklidów w próbkach wody pobranych w

okresach wiosennych i jesiennych, w kolejnych latach monitoringu. Każda wartość przedstawiona na wykresach jest wartością średnią z 36 próbek, z wyjątkiem 2006 roku, w którym nie monitorowano jezior. W początkowych latach najwyższy średni poziom stężeń 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. 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 pierwiastków. To przypuszczenie potwierdzają również wyższe wyniki uzyskane w latach 2011 i 2012 – latach suszy. W roku 2011 pobór prób odbywał się przy niskich stanach wód, natomiast w 2012 roku przy niskich i bardzo niskich stanach wód.

W bieżącym roku szczególnie niskie poziomy wód występowały w dorzeczu Odry, tam też zanotowano najwyższe średnie stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs . Widać to bardzo wyraźnie na wykresie obrazującym średnie roczne stężenia promieniotwórcze Cs-137 w dorzeczach Wisły, Odry i jezior w latach 2007-2012 – Rys.2.



Rys.2. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze Cs-137 w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2007-2012.

Pomimo zanotowanego wzrostu stężeń ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach śródlądowych, stężenia te pozostają na bardzo niskim poziomie. Dla porównania obserwowane stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach południowego Bałtyku są na ogół kilkakrotnie wyższe od wartości dla wód śródlądowych i wynoszą odpowiednio: dla ^{137}Cs od 18,3 do 37,1 mBq/l, a dla ^{90}Sr od 4,6 do 15,4 mBq/l (HELCOM MORS EG 2/12, IMGW, *Tamara Zalewska*, dokument 3/4).

3.4. ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$ i ^{238}Pu w osadach dennych rzek

Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych Wisły, Odry ich dopływów w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu przedstawiono w Tabeli 9. Średnie roczne stężenia tego izotopu zawierały się w granicach od 0,72 Bq/kg w osadzie pobranym z Wisły w Kiezmarku do 13,58 Bq/kg w osadzie pobranym z Odry w Chałupkach. Najmniejsze stężenie ^{137}Cs było jesienią w osadzie wiślany (Warszawa) - 0,44 Bq/kg), a najwyższe wiosną w osadzie z Odry (Chałupki) – 14,94 Bq/kg.

Tabela 9. Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych rzek w okresie wiosennym, jesiennym oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze 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	Wisła Kraków Tyniec	1,25 ± 0,08 ^{a)}	0,84 ± 0,04 ^{a)}	1,05 ± 0,29
2	Wisła Annopol	1,84 ± 0,16	1,60 ± 0,08	1,72 ± 0,17
3	Wisła Warszawa	2,06 ± 0,18	0,44 ± 0,06	1,25 ± 1,15
4	Wisła Płock	1,22 ± 0,16	0,49 ± 0,07	0,86 ± 0,52
5	Wisła Kiezmark	0,85 ± 0,14	0,58 ± 0,06	0,72 ± 0,19
6	Narew Pułtusk	7,45 ± 0,35	6,78 ± 0,22	7,12 ± 0,47
7	Bug Wyszków	2,06 ± 0,25	1,68 ± 0,06	1,87 ± 0,27
8	Odra Chałupki	14,94 ± 0,72	12,22 ± 0,36	13,58 ± 1,92
9	Odra Wrocław	2,03 ± 0,20	2,61 ± 0,15	2,32 ± 0,14
10	Odra Głogów	4,15 ± 0,27	2,56 ± 0,15	3,36 ± 1,12
11	Odra Krajnik	1,54 ± 0,31	0,54 ± 0,04	1,04 ± 0,71
12	Warta Poznań	1,25 ± 0,25	0,59 ± 0,03	0,91 ± 0,47

^{a)}Wartość ± OS

Stężenie $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych pobranych w okresie wiosennym i jesiennym w dorzeczu Wisły i Odry przedstawiono w Tabeli 10. W tabeli podano również średnie roczne stężenie powyższych izotopów.

Średnie roczne stężenie $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych rzek zawiera się w granicach od 7,48 mBq/kg w Wiśle (Kraków, Tyniec) do 100,59 mBq/kg również w Wiśle (Płock).

Tabela 10. Stężenie promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych rzek w okresie wiosennym, jesiennym oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze 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	Wisła Kraków Tyniec	8,19 ± 1,68 ^{a)}	6,77 ± 1,94	7,48 ± 1,00
2	Wisła Annopol	36,96 ± 3,91	25,96 ± 3,66	31,46 ± 7,78
3	Wisła Warszawa	69,20 ± 6,50	4,55 ± 1,66	36,88 ± 45,71
4	Wisła Płock	187,58 ± 19,39	13,6 ± 3,64	100,59 ± 123,02
5	Wisła Kiezmark	96,74 ± 10,12	8,66 ± 3,05	52,70 ± 62,28
6	Narew Pułtusk	18,08 ± 2,69	9,64 ± 2,78	13,86 ± 5,97
7	Bug Wyszków	69,20 ± 6,50	26,79 ± 4,79	48,00 ± 29,99
8	Odra Chałupki	26,38 ± 2,93	45,46 ± 3,66	35,92 ± 13,49
9	Odra Wrocław	26,16 ± 3,38	11,58 ± 2,68	18,87 ± 10,31
10	Odra Głogów	60,87 ± 4,29	13,60 ± 2,53	37,24 ± 33,42
11	Odra Krajnik	17,96 ± 6,37	3,41 ± 1,61	10,69 ± 10,29
12	Warta Poznań	151,2 ± 9,31	8,52 ± 2,30	79,86 ± 100,89

^{a)}Wartość ± OS

3.5. ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$ i ^{238}Pu w osadach dennych jezior

W Tabeli 11. przedstawiono stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu. W osadach jezior zakres średnich rocznych stężeń promieniotwórczych jest mniejszy niż w osadach rzek i wynosi od 2,03 mBq/kg w Wadąg do 39,71 mBq/kg w Rogóżnie.

Najwyższą wartości rocznego średniego stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs odnotowano w próbkach osadu z jeziora Rogóżno, analogicznie do oznaczeń tego radionuklidu w wodzie. W przypadku osadu dodatkowym czynnikiem mogącym mieć wpływ na podniesiony poziom badanych pierwiastków jest rodzaj osadu.

Tabela 11. Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych jezior w okresie wiosennym, jesiennym oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze 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	4,26 ± 0,23 ^{a)}	4,83 ± 0,26	4,55 ± 0,40
2	Wadąg Myki	2,69 ± 0,18	1,36 ± 0,07	2,03 ± 0,94
3	Wielkie Partęczyny Partęczyny	4,64 ± 0,33	3,53 ± 0,15	4,10 ± 0,77
4	Drawsko Stare Drawsko	2,95 ± 0,23	3,17 ± 0,09	3,06 ± 0,16
5	Niesłysz Niesulice	4,01 ± 0,25	6,08 ± 0,20	5,05 ± 1,46
6	Rogóżno Rogóżno	8,11 ± 0,39	71,31 ± 1,80	39,71 ± 44,69

^{a)}Wartość ± OS

Najniższe średnie roczne stężenia promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ obserwowano w jeziorze Wadąg – 4,30 mBq/kg, a najwyższe w jeziorze Wielkie Partęczyny – 110,59 mBq/kg (Tabela 12). Średni poziom $^{239,240}\text{Pu}$ w jeziorach był niski. Jedynie w osadzie dennym pobranym wiosną w Partęczynach stężenie $^{239,240}\text{Pu}$ przekraczało około czterech razy wartość średniej rocznej. Pojawianie się pojedynczych wyników znacznie różniących się od wcześniej uzyskanych wartości może wynikać z braku homogenności osadów.

W osadach, równoległe z $^{239,240}\text{Pu}$ oznaczano ^{238}Pu . Stężenie tego ostatniego izotopu było w większości przypadków mniejsze od granicy detekcji (2 mBq/kg).

^{238}Pu został oznaczony tylko w czterech próbkach osadów pobranych z :

- Odry – wiosną w Głogowie ($3,87 \pm 1,66$ mBq/ kg),
- Warty – wiosną w Poznaniu ($5,16 \pm 2,70$ mBq/ kg),
- Odry – jesienią w Chałupkach ($4,91 \pm 1,90$ mBq/ kg),
- jeziora Rogóźno – jesienią ($8,53 \pm 3,69$ mBq/ kg).

Tabela 12. Stężenie promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych jezior w okresie wiosennym, jesiennym oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze 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	$5,83 \pm 1,94$	$10,98 \pm 1,67$	$8,41 \pm 3,64$
2	Wadąg Myki	$4,22 \pm 1,56$	$4,38 \pm 1,66$	$4,30 \pm 0,11$
3	Wielkie Partęczyny Partęczyny	$179,47 \pm 17,56$	$41,70 \pm 4,93$	$110,59 \pm 97,42$
4	Drawsko Stare Drawsko	$8,29 \pm 6,73$	$4,32 \pm 1,75$	$6,31 \pm 2,81$
5	Niesłysz Niesulice	$28,43 \pm 4,37$	$13,14 \pm 2,76$	$20,79 \pm 10,81$
6	Rogóźno Rogóźno	$6,97 \pm 2,31$	$191,36 \pm 12,34$	$99,17 \pm 130,38$

^{a)}Wartość \pm OS

3.6. Średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$ i ^{238}Pu w osadach dennych rzek i jezior

Średnie stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dorzecza Wisły, dorzecza Odry i w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne i zakres stężeń przedstawiono w Tabeli 13. Średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w 2012 roku było najniższe jesienią w dorzeczu Wisły i wynosiło 1,77 Bq/kg, a najwyższe jesienią w jeziorach – 15,05 Bq/kg.

Tabela 13. Średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych rzek i jezior w okresie wiosennym i jesiennym, średnie roczne stężenie tego izotopu oraz zakres.

Lokalizacja poboru próbek	^{137}Cs Bq kg^{-1} wiosna	^{137}Cs Bq kg^{-1} jesień	^{137}Cs Bq kg^{-1} średnia roczna	^{137}Cs Bq kg^{-1} zakres
Dorzecze Wisły (7) ^{a)}	$2,39 \pm 2,28$ ^{a)}	$1,77 \pm 2,77$ ^{a)}	$2,08 \pm 2,21$ (14)	0,44 – 7,45
Dorzecze Odry (5)	$4,78 \pm 5,79$	$3,70 \pm 4,82$	$4,24 \pm 4,59$ (10)	0,54 – 14,94
Jeziora (6)	$4,44 \pm 1,95$	$15,05 \pm 27,61$	$9,75 \pm 19,46$ (12)	1,36 – 71,31

^{a)} Liczba próbek osadów dennych

^{b)} Wartość średnia \pm OS

Średnie stężenia promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ dla dorzeczy Wisły i Odry oraz jezior zarówno w okresie wiosenny jak i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego izotopu i zakres przedstawia Tabela 14. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dorzeczy Wisły i Odry wynosiło, odpowiednio 41,57 mBq/kg i 36,51 mBq/kg, a w jeziorach 41,59 mBq/kg.

Tabela 14. Średnie stężenie promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych rzek i jezior w okresie wiosennym, jesiennym, średnie roczne stężenie tego izotopu oraz zakres.

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)}	$69,42 \pm 60,75$	$13,71 \pm 9,09$	$41,57 \pm 50,77$	4,55 – 187,58
Dorzecze Odry (5)	$56,51 \pm 55,45$	$16,51 \pm 16,66$	$36,51 \pm 43,98$	3,41 – 151,2
Jeziora (6)	$38,87 \pm 69,46$	$44,31 \pm 73,36$	$41,59 \pm 68,17$	4,22 – 191,36

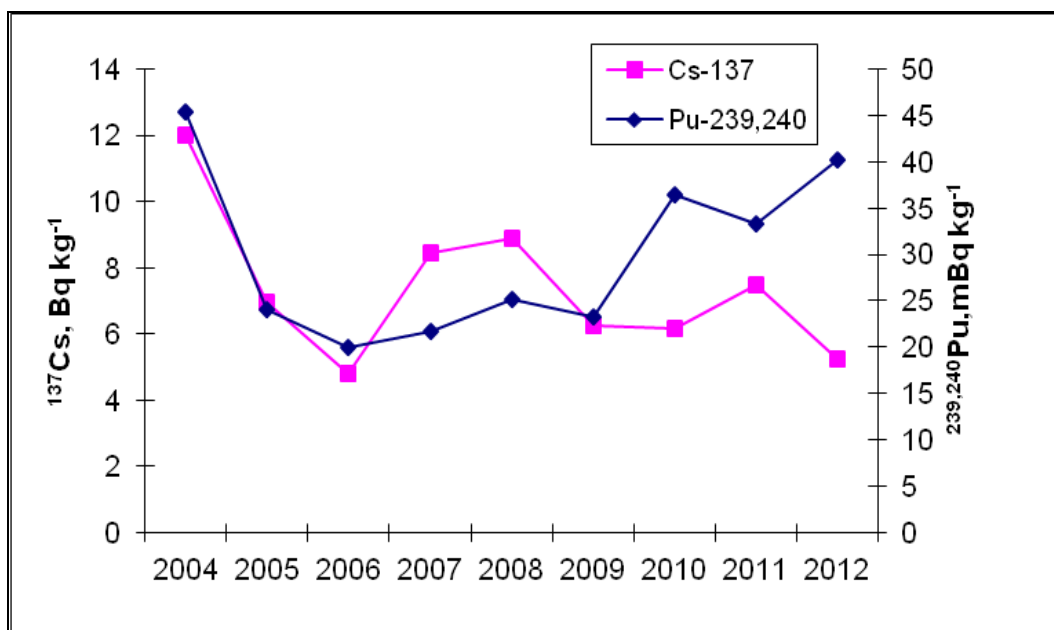
^{a)} Liczba próbek osadów dennych

^{b)} Średnia \pm OS

Rysunek 3. Przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs i $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach rzek i jezior w latach 2004 – 2012. Podobnie jak w przypadku wód przedstawione wartości są średnimi arytmetycznymi z oznaczeń poszczególnych radionuklidów w próbkach osadów dennych pobranych w okresach wiosennych i jesiennych,

w kolejnych latach monitoringu. Każda wartość przedstawiona na wykresach jest wartością średnią z 36 próbek, z wyjątkiem 2006 roku, w którym nie monitorowano jezior.

W ciągu całego okresu obserwacji stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych podlegały wahaniom, natomiast stężenia plutonu w latach 2007 – 2009 pozostawały na zbliżonym poziomie, a w latach 2010 – 2012 podlegały nieco większemu zróżnicowaniu. Nie była to jednak tendencja wzrostowa dla wszystkich mierzonych próbek. Wpływ na zwiększenie wartości stężenia promieniotwórczego średniej rocznej miały pojedyncze wyniki znacznie odbiegające od pozostałych. Na przykład w roku 2011 była to wartość $238,8 \text{ mBqkg}^{-1}$ otrzymana dla próbki osadu z Odry pobranej wiosną w Chałupkach, a w roku 2012 wartość $187,58 \text{ mBqkg}^{-1}$ otrzymana dla próbki osadu z Wisły pobranej wiosną w Płocku. W bieżącym roku odnotowano wzrost zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w stosunku do roku ubiegłego. Należy zaznaczyć, że wartości stężenia $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dla pojedynczych próbek były niskie. Jedynie w osadzie dennym pobranym wiosną w Poznaniu i Płocku stężenie $^{239,240}\text{Pu}$ przekraczało dwa do czterech razy pozostałe wartości, co miało znaczący wpływ na wielkość średniej rocznej. Być może miało miejsce w tych okolicach wymycie gleb i osadzenie ich na dnie rzeki.



Rys.3. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs i $^{239+240}\text{Pu}$ w osadach dennych rzek i jezior w Polsce w latach 2004 - 2012

4. PODSUMOWANIE

W ramach monitoringu skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych w 2012 roku pobrano dwukrotnie (wiosną i jesienią) próbki 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.

Ocena skażeń promieniotwórczych na podstawie wyników uzyskanych w poszczególnych lokalizacjach dla analizowanych izotopów wiosną i jesienią przysparza trudności. Obserwowane różnice wynikają przede wszystkim z różnych warunków atmosferycznych zaistniałych w okresach pomiędzy poborem prób. Dlatego do ogólnej oceny sytuacji radiologicznej wskazane jest porównywanie wartości średnich.

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior był na zbliżonym poziomie i zawierały się w granicach 4,08 mBq/l (dla dorzecza Wisły) do 8,48 mBq/l (dla dorzecza Odry). Podobnie sytuacja wyglądała w przypadku średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr i zawierała się w granicach, 3,53 mBq/l dla dorzecza Odry – 4,32 mBq/l dla dorzecza Wisły.

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych wynosiły odpowiednio: najmniej w dorzeczu Wisły 2,08 Bq/kg, a najwięcej w jeziorach 9,75 Bq/kg.

Zbliżone średnie roczne stężenia promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ obserwowano w osadach dennych jezior - 41,59 mBq/kg i osadach dorzecza Wisły – 41,57 mBq/kg, a nieco niższe w dorzeczu Odry – 36,51 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.

5. WNIOSKI

Uzyskane w 2012 roku wyniki mówią, że w nie wystąpiły nowe uwolnienia izotopów promieniotwórczych do środowiska.

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.