

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

Raport Roczny

2011

M. Kardaś, L.Rosiak, A.Fulara, D. Podstawka, 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 2011

1. WSTĘP

1.1. CEL PRACY

Celem pracy jest oznaczenie 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 delegacji 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 2011 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 30 marca do 16 czerwca;
2. Termin jesienny - od 24 sierpnia do 21 października.

W ramach programu Państwowego Monitoringu Środowisk 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 2011.

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-Tyniec małopolskie	30.03	24.08	19° 49' 11'' ^{a)}	50° 01' 85''	19° 48' 10''	50° 01' 21''
	Annopol Lubelskie	30.03	24.08	21° 49' 87''	50° 53' 15''	21° 50' 11''	50° 53' 19''
	Warszawa mazowieckie	20.05	21.10	21° 00' 63''	52° 15' 66''	21° 00' 52''	19° 49' 11''
	Płock mazowieckie	19.05	14.09	19° 41' 48''	52° 32' 08''	19° 41' 96''	52° 32' 10''
	Kiezmark pomorskie	16.05	13.09	18° 56' 84''	54° 15' 41''	18° 56' 73''	54° 15' 46''
Narew	Pułtusk mazowieckie	19.05	06.10	21° 05' 79''	52° 42' 17''	21° 05' 74''	52° 42' 16''
Bug	Wyszków mazowieckie	19.05	06.10	21° 27' 22''	52° 36' 10''	21° 27' 22''	52° 36' 10''
Odra	Chałupki Śląskie	31.03	25.08	18° 19' 59''	49° 55' 21''	18° 19' 62''	49° 55' 34''
	Wrocław dolnośląskie	31.03	25.08	17° 02' 95''	51° 06' 71''	17° 02' 64''	51° 06' 73''
	Głogów dolnośląskie	01.06	25.08	16° 05' 52''	51° 40' 06''	16° 05' 46''	51° 40' 15''
	Krajnik zachodnio-pomorskie	01.06	26.08	14° 18' 72''	53° 02' 08''	14° 18' 77''	53° 02' 01''
Warta	Poznań wielkopolskie	02.06	26.08	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 2011.

Jezioro miejscowość 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	02.06	14.09	16° 11' 68'' ^{a)}	53° 36' 13''
Wadąg Myki warmińsko-mazurskie	15.06	07.10	20° 32' 93''	53° 49' 21''
Wielkie Partęczyny kujawsko-pomorskie	16.06	12.09	19° 25' 30''	53° 23' 19''
Rogóżno Rogóżno lubelskie	30.03	24.08	22° 58' 02''	51° 22' 67''
Niesłysz Niesulice lubuskie	01.06	25.08	15° 24' 10''	52° 12' 85''
Wigry Stary Folwark podlaskie	15.06	07.10	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 pobierano z trzech miejsc, oddalonych od siebie o ok. 50 m i sporządzano próbkę zbiorczą o masie ok. 1 kg. W laboratorium 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

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.

Ponadto 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.

^{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 życiowego izotopu ($T_{1/2}$ - 64,2 h) powstającego w wyniku rozpadu ^{90}Sr . Analizę prowadzono w obecności ^{85}Sr , co pozwoliło na określenie wydajności ^{90}Sr . Wydajność radiochemiczna oznaczeń stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr wynosiła od 75 do 98%.

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 za pomocą spektrometru α . 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 2011 roku oraz średnie roczne stężenia promieniotwórcze tego radionuklidu. Średnie wartości stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach rzek mieściły się w granicach od 1,25 mBq/l w Wiśle (Warszawa) do 3,85 mBq/l w Wiśle (Kraków, Tyniec). Najniższe wartości stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs odnotowano wiosną w Wiśle (Warszawa) - 1,07 mBq/l, najwyższe również wiosną w Wiśle (Kraków, Tyniec) - 5,00 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	5,00 ± 0,35 ^{a)}	2,69 ± 0,25	3,85 ± 1,62
2	Wisła Annopol	2,43 ± 0,24	2,27 ± 0,23	2,35 ± 0,11
3	Wisła Warszawa	1,07 ± 0,14	1,42 ± 0,17	1,25 ± 0,25
4	Wisła Płock	1,80 ± 0,20	1,71 ± 0,20	1,76 ± 0,06
5	Wisła Kieźmark	1,72 ± 0,20	1,62 ± 0,18	1,67 ± 0,07
6	Narew Pułtusk	1,75 ± 0,19	2,26 ± 0,22	2,01 ± 0,36
7	Bug Wyszków	1,74 ± 0,20	2,38 ± 0,24	2,06 ± 0,45
8	Odra Chałupki	4,59 ± 0,34	2,59 ± 0,24	3,59 ± 1,44
9	Odra Wrocław	2,66 ± 0,25	2,10 ± 0,21	2,38 ± 0,40
10	Odra Głogów	1,40 ± 0,17	2,46 ± 0,24	1,93 ± 0,75
11	Odra Krajnik	3,60 ± 0,30	2,61 ± 0,25	3,11 ± 0,70
12	Warta Poznań	1,95 ± 0,21	1,47 ± 0,17	1,71 ± 0,34

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

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach rzek (Tabela 4) wahało się od 3,84 mBq/l w wodzie z Warty (Poznań) do 5,61 mBq/l w wodzie pobranej z Wisły w Kieżmarku. Najniższe stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr odnotowano wiosną w Odrze (Chałupki) -3,37 mBq/l, najwyższe zaś jesienią w Wiśle (Kieżmark) – 6,48 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	5,81±0,41	4,28 ± 0,34	5,05 ± 1,08
2	Wisła Annopol	4.65±0,35	5,05 ± 0,39	4,85 ± 0,28
3	Wisła Warszawa	3,78±0,32	3,95 ± 0,32	3,87 ± 0,12
4	Wisła Płock	4,71±0,39	5,97 ± 0,45	5,34 ± 0,89
5	Wisła Kieżmark	4,74 ± 0,38	6,48 ± 0,43	5,61 ± 1,23
6	Narew Pułtusk	5,50±0,40	3,62 ± 0,26	4,56 ± 1,33
7	Bug Wyszków	4,40±0,37	3,87 ± 0,34	4,14 ± 0,37
8	Odra Chałupki	3,37±0,30	5,30 ± 0,40	4,34 ± 1,36
9	Odra Wrocław	5,68 ± 0,40	4,58 ± 0,35	5,13 ± 0,78
10	Odra Głogów	4.07 ± 0,32	3,87 ± 0,30	3,98 ± 0,14
11	Odra Krajnik	3,40±0,29	5,15 ± 0,39	4,28 ± 1,24
12	Warta Poznań	4,15 ± 0,32	3,52 ± 0,30	3,84 ± 0,45

^{a)}Wartość ± błąd pomiaru

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

W jeziorach zakres średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs (Tabela 5.) był szerszy niż w rzekach i wynosił od 0,71 mBq/l w wodzie pobranej w jeziorze Drawsko do 7,62 mBq/l w wodzie pobranej w Rogóźnie. Najmniej ^{137}Cs było wiosną w jeziorze Myki - 1,01 mBq/l najwięcej jesienią w jeziorze Rogóžno – 7,80 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	1,88 ± 0,21 ^{a)}	1,69 ± 0,19	1,79 ± 0,13
2	Wadąg Myki	1,01 ± 0,14	1,67 ± 0,19	1,34 ± 0,47
3	Wielkie Partęczyny	3,07 ± 0,28	2,43 ± 0,23	2,75 ± 0,45
4	Drawsko Stare Drawsko	1,32 ± 0,11	2,10 ± 0,21	0,71 ± 0,55
5	Niesłysz Niesulice	2,81 ± 0,25	4,06 ± 0,32	3,44 ± 0,88
6	Rogóžno Rogóžno	7,43 ± 0,59	7,80 ± 0,44	7,62 ± 0,26

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

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 2,23 mBq l⁻¹ w jeziorze Niesłysz do 11,10 mBq l⁻¹ w jeziorze Rogóžno.

Najwyższe wartości średnie stężenia promieniotwórczego zarówno ^{137}Cs jak i ^{90}Sr zanotowano w próbkach wody z jeziora Rogóžno. W przypadku tego jeziora na ogół obserwujemy podwyższone wartości stężeń promieniotwórczych badanych pierwiastków 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	$2,59 \pm 0,26^{\text{a}}$	$2,99 \pm 0,28^{\text{a}}$	$2,79 \pm 0,28$
2	Wadąg Myki	$2,79 \pm 0,25$	$3,55 \pm 0,31$	$3,17 \pm 0,54$
3	Wielkie Partęczyny	$3,44 \pm 0,30$	$3,12 \pm 0,28$	$3,28 \pm 0,23$
4	Drawsko Stare Drawsko	$2,82 \pm 0,27$	$3,93 \pm 0,33$	$3,38 \pm 0,78$
5	Niesłysz Niesulice	$2,23 \pm 0,29$	$2,32 \pm 0,24$	$2,28 \pm 0,06$
6	Rogóźno Rogóźno	$10,03 \pm 0,73$	$11,10 \pm 0,57$	$10,57 \pm 0,78$

^{a)}Wartość \pm błąd pomiaru

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 oraz wartości średnie dla wszystkich wód, pobieranych w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne i zakres przedstawiono w Tabeli 7. Średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w 2011 roku było najniższe w dorzeczu Wisły jesienią i wynosiło 2,05 mBq/l wody.

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)}	$2,22 \pm 1,29^{\text{b}}$	$2,05 \pm 0,47$	$2,13 \pm 0,94$ (14)	1,07 – 2,69
Dorzecze Odry (5)	$2,84 \pm 1,28$	$2,25 \pm 0,48$	$2,54 \pm 0,96$ (10)	1,40 – 4,59
Jeziora (6)	$2,92 \pm 2,35$	$3,29 \pm 2,38$	$3,11 \pm 2,26$ (12)	1,01 – 4,06

^{a)} Liczba próbek wody

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

Średnie stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w próbkach wody było bardzo wyrównane zarówno w okresie wiosenny jak i jesiennym. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w dorzeczu Wisły i Odry wynosiło odpowiednio 4,77 mBq/l i 4,31 mBq/l, a w jeziorach 4,24 mBq/l (Tabela 8).

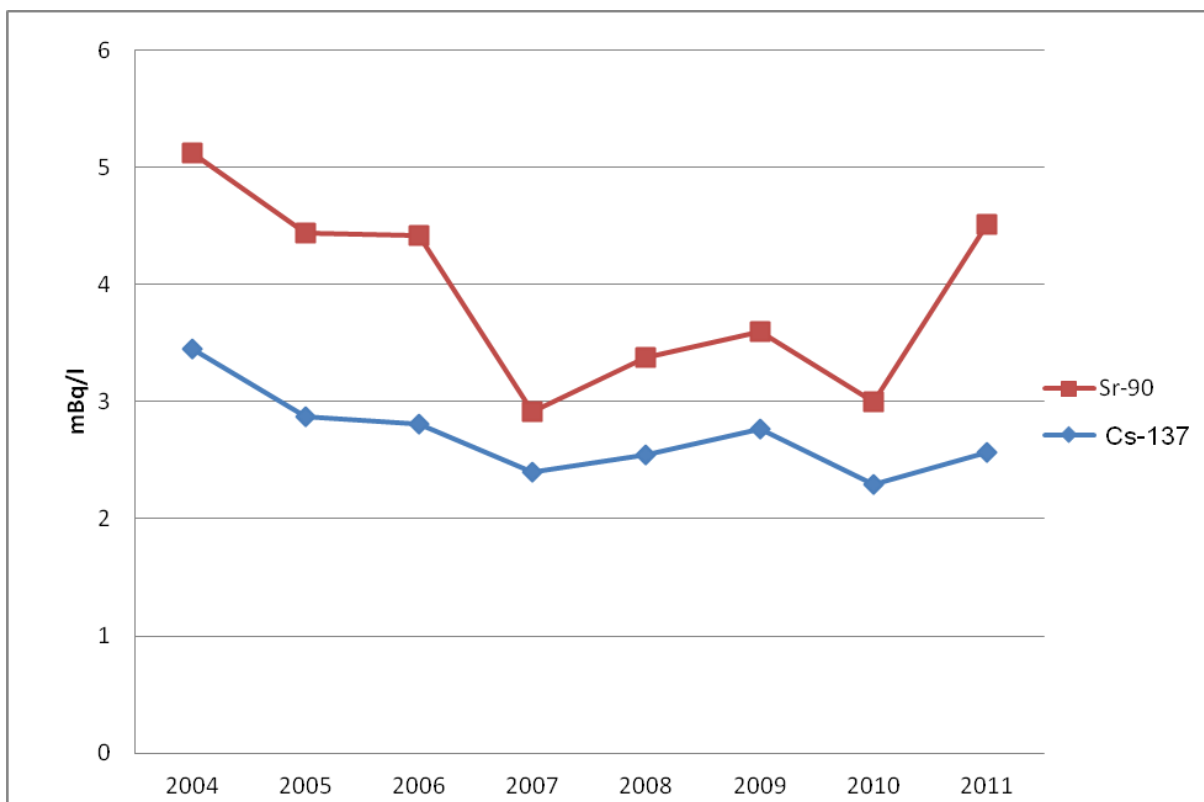
Tabela 8. Średnie stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w okresie wiosennym i jesiennym, średnie roczne stężenie tego izotopu oraz zakres.

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)}	4,80 ± 0,68 ^{b)}	4,75 ± 1,12	4,77 ± 0,89 (14)	3,62 – 6,48
Dorzecze Odry (5)	4,13 ± 0,94	4,48 ± 0,78	4,31 ± 0,83(10)	3,40 – 5,68
Jeziora (6)	3,98 ± 2,99	4,50 ± 3,28	4,24 ± 3,00(12)	2,23 – 3,93

^{a)} Liczba próbek wody

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

Rysunek 1. Przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach rzek i jezior w latach 2004 – 2011. Przedstawione wartości są średnimi arytmetycznymi z oznaczeń poszczególnych radionuklidów w próbkach wody i 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. 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 wyniki uzyskane w bieżącym roku, gdzie pobór prób odbywał się przy niskich i bardzo niskich poziomach wód.



Rys.1. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach rzek i jezior w Polsce w latach 2004 – 2011.

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

Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych Wisły, Odry i 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 0,49 Bq/kg w osadzie pobranym z Warty w Poznaniu do 58,43 Bq/kg w osadzie pobranym z Odry w Głogowie. Najmniej ^{137}Cs było zarówno wiosną (0,42 Bq/kg) jak i jesienią (0,56 Bq/kg) w osadzie z Warty w Poznaniu. Najwięcej ^{137}Cs odnotowano jesienią w osadzie z Odry pobranym w Głogowie - 94,59 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 Tynec	$2,73 \pm 0,06^{\text{a)}}$	$0,99 \pm 0,03$	$1,86 \pm 1,23$
2	Wisła Annopol	$3,47 \pm 0,05$	$1,66 \pm 0,04$	$2,57 \pm 1,28$
3	Wisła Warszawa	$9,05 \pm 0,18$	$1,34 \pm 0,05$	$5,20 \pm 5,45$
4	Wisła Płock	$1,36 \pm 0,05$	$0,88 \pm 0,04$	$1,50 \pm 0,20$
5	Wisła Kiezmark	$1,89 \pm 0,04$	$0,88 \pm 0,02$	$1,39 \pm 0,71$
6	Narew Pułtusk	$6,25 \pm 0,05$	$5,62 \pm 0,09$	$5,97 \pm 0,40$
7	Bug Wyszków	$7,29 \pm 0,12$	$0,96 \pm 0,04$	$4,13 \pm 4,48$
8	Odra Chałupki	$9,32 \pm 0,13$	$8,63 \pm 0,08$	$8,98 \pm 0,49$
9	Odra Wrocław	$4,10 \pm 0,09$	$1,37 \pm 0,04$	$2,74 \pm 1,93$
10	Odra Głogów	$22,30 \pm 0,11$	$94,59 \pm 0,8$	$58,43 \pm 51,10$
11	Odra Krajnik	$0,95 \pm 0,03$	$0,62 \pm 0,02$	$0,79 \pm 0,27$
12	Warta Poznań	$0,42 \pm 0,01$	$0,56 \pm 0,02$	$0,49 \pm 0,10$

^{a)}Wartość \pm 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 10,04 mBq/kg w Wiśle (Płock) do 118,91 mBq/kg w Odrze (Głogów).

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	$27,59 \pm 5,51^{\text{a})}$	$4,62 \pm 2,66$	$16,14 \pm 16,19$
2	Wisła Annopol	$61,25 \pm 11,40$	$37,29 \pm 13,87$	$49,27 \pm 16,94$
3	Wisła Warszawa	$77,68 \pm 11,53$	$18,72 \pm 7,12$	$48,20 \pm 41,69$
4	Wisła Płock	$10,10 \pm 2,47$	$9,98 \pm 4,11$	$10,04 \pm 0,08$
5	Wisła Kiezmark	$37,50 \pm 9,22$	< 2	-
6	Narew Pułtusk	$7,26 \pm 4,13$	$35,52 \pm 12,93$	$21,39 \pm 19,98$
7	Bug Wyszków	$52,84 \pm 9,25$	$21,96 \pm 7,93$	$37,40 \pm 21,84$
8	Odra Chałupki	$43,14 \pm 6,30$	$48,06 \pm 9,21$	$45,60 \pm 3,48$
9	Odra Wrocław	$30,27 \pm 6,90$	$8,31 \pm 3,66$	$19,29 \pm 15,53$
10	Odra Głogów	$243,21 \pm 20,80$	$146,56 \pm 22,99$	$118,91 \pm 39,10$
11	Odra Krajnik	$32,12 \pm 8,68$	$15,72 \pm 7,35$	$23,92 \pm 11,60$
12	Warta Poznań	$2,94 \pm 6,94$	$50,29 \pm 13,86$	$26,61 \pm 33,47$

^{a)}Wartość \pm 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 3,13 mBq/kg w Drawsku do 15,97 mBq/kg w Rogóźnie.

Najwyższe wartości średnie stężenia promieniotwórczego zarówno ^{137}Cs jak i ^{90}Sr zanotowano w jeziorze Rogóźnie.

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	$5,39 \pm 0,05^{\text{a)}}$	$4,42 \pm 0,09$	$4,91 \pm 0,69$
2	Wadąg Myki	$6,35 \pm 0,10$	$2,24 \pm 0,07$	$4,30 \pm 2,91$
3	Wielkie Partęczyny	$9,92 \pm 0,11$	$4,56 \pm 0,08$	$7,26 \pm 3,77$
4	Drawsko Stare Drawsko	$3,25 \pm 0,07$	$3,00 \pm 0,07$	$3,13 \pm 0,18$
5	Niesłysz Niesulice	$5,06 \pm 0,09$	$5,78 \pm 1,43$	$5,42 \pm 0,51$
6	Rogóżno Rogóżno	$13,22 \pm 0,13$	$18,72 \pm 0,14$	$15,97 \pm 3,89$

^{a)}Wartość \pm OS

Najniższe średnie roczne stężenia promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ obserwowano w jeziorze Wigry – 6,54 mBq/kg, a najwyższe w jeziorze Rogóżno – 87,19 mBq/kg (Tabela 12). Średni poziom $^{239,240}\text{Pu}$ w jeziorach był niski. Jedynie w osadzie dennym pobranym jesienią w Rogóżnie stężenie $^{239,240}\text{Pu}$ przekraczało dwa do czterech razy wartości średnie.

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 trzech próbkach osadów pochodzących z Odry – wiosną były to próbki pobrane w Chałupkach ($15,69 \pm 3,39$ mBq/ kg) i Głogowie ($11,72 \pm 4,18$ mBq/ kg), a jesienią w próbce osadu pobranego w Głogowie ($14,05 \pm 6,47$ 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	$8,55 \pm 4,53$	$4,52 \pm 1,89$	$6,54 \pm 2,85$
2	Wadąg Myki	$17,27 \pm 3,39$	$6,56 \pm 9,85$	$11,92 \pm 7,57$
3	Wielkie Partęczyny	$24,18 \pm 7,24$	$39,26 \pm 8,94$	$31,72 \pm 10,66$
4	Drawsko Stare Drawsko	$8,84 \pm 8,63$	$6,70 \pm 2,68$	$7,77 \pm 1,51$
5	Nieślysz Niesulice	$15,67 \pm 8,96$	$29,00 \pm 6,82$	$22,34 \pm 9,43$
6	Rogóżno Rogóżno	$20,17 \pm 17,11$	$154,51 \pm 20,60$	$87,19 \pm 94,78$

^{a)}Wartość \pm OS

Najwyższe wartości rocznych średnich stężenia promieniotwórczego zarówno ^{137}Cs jak i $^{239,240}\text{Pu}$ zanotowano w próbkach osadu z jeziora Rogóżno. Mamy tu taką samą sytuację jak w przypadku nuklidów oznaczanych w wodzie. W przypadku osadu dodatkowym czynnikiem mogącym mieć wpływ na podniesiony poziom badanych pierwiastków jest rodzaj osadu.

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, wartości średnie dla wszystkich osadów, pobieranych w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne i zakres przedstawiono w Tabeli 13. Średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w 2011 roku było najniższe jesienią w dorzeczu Wisły i wynosiło $1,88 \text{ Bq/kg}$, a najwyższe jesienią w dorzeczu Odry – $21,15 \text{ Bq/kg}$.

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)}	$4,58 \pm 2,95^{\text{b)}}$	$1,88 \pm 1,71$	$3,23 \pm 2,71$ (14)	0,88 – 9,05
Dorzecze Odry (5)	$7,42 \pm 9,04$	$21,15 \pm 41,18$	$14,28 \pm 26,51$ (10)	0,42 – 94,56
Jeziora (6)	$7,20 \pm 3,68$	$6,46 \pm 6,14$	$6,83 \pm 4,84$ (12)	2,24 – 18,78

^{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, a także średnie roczne stężenie tego izotopu i zakres przedstawia Tabela 14. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dorzeczy Wisły i Odry wynosiło odpowiednio 28,26 mBq/kg i 46,87 mBq/kg, a w jeziorach 27,91 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)}	$38,07 \pm 26,57^{\text{b)}}$	$18,45 \pm 14,28$	$28,26 \pm 22,88$	4,69 – 77,68
Dorzecze Odry (5)	$39,95 \pm 32,28$	$53,79 \pm 55,16$	$46,87 \pm 43,23$	2,94 – 146,56
Jeziora (6)	$15,78 \pm 6,20$	$40,04 \pm 57,71$	$27,91 \pm 41,13$	4,52 – 154,21

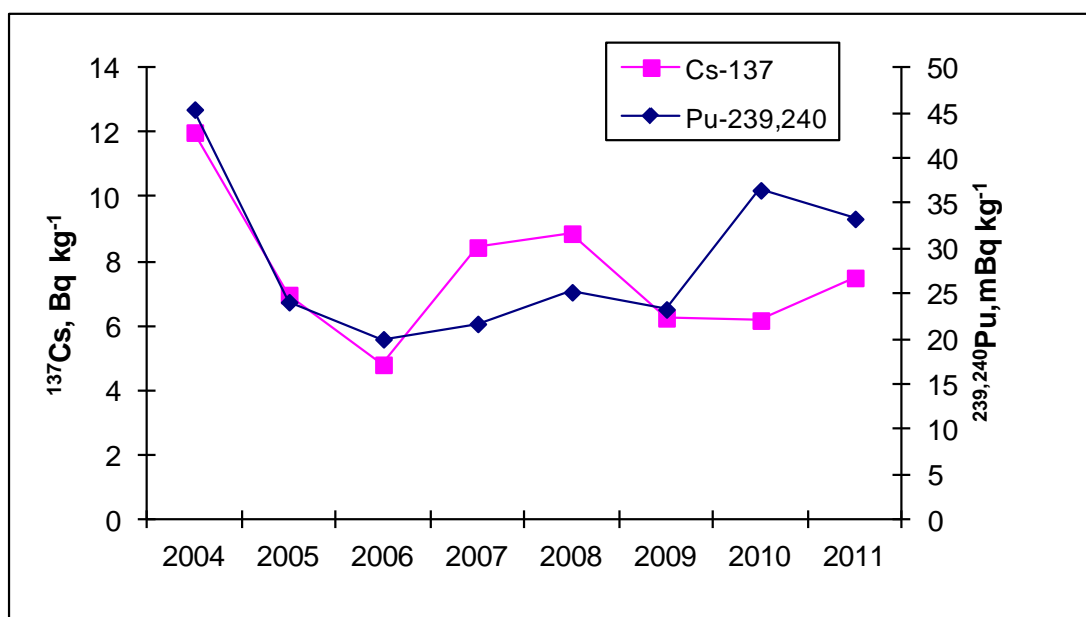
^{a)} Liczba próbek osadów dennych

^{b)} Średnia \pm OS

Rysunek 2. Przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs i $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach rzek i jezior w latach 2004 – 2011. 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 2010 roku stężenie wzrosło. Nie była to jednak tendencja wzrostowa dla wszystkich mierzonych próbek. Wpływ na zwiększenie wartości stężenia promieniotwórczego średniej rocznej miał jeden wynik znacznie odbiegający od pozostałych. Była to wartość $238,8 \text{ mBqkg}^{-1}$ otrzymana dla próbki osadu z Odry pobranej wiosną w Chałupkach. W bieżącym roku odnotowano spadek zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w stosunku do roku ubiegłego. Jednak jest to wartość wyższa niż w latach 2005-2009. Należy zaznaczyć, że wartości stężenia $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dla pojedynczych próbek były niskie. Jedynie w osadzie dennym pobranym wiosną i jesienią w Głogowie 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.2. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs i $^{239+240}\text{Pu}$ w osadach dennych rzek i jezior w Polsce w latach 2004 - 2011

4. PODSUMOWANIE

W ramach monitoringu skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych w 2011 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.

Jednoznaczne ocena i porównanie wyników uzyskanych dla poszczególnych pierwiastków wiosną i jesienią przysparza duże trudności. Wynikają one przede wszystkim z różnych warunków atmosferycznych w jakich dokonywany jest pobór prób. Dlatego do ogólnej oceny sytuacji radiologicznej porównywane są wartości średnie.

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior był na bardzo wyrównanym poziomie i zawierały się w granicach 2,13 mBq/l (dla dorzecza Wisły) do 3,11 mBq/l (dla jezior). Podobnie sytuacja wyglądała w przypadku średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr i zawierała się w granicach, 4,24 mBq/l dla jezior – 4,77 mBq/l dla dorzecza Wisły.

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych wynosiły odpowiednio: najmniej w dorzeczu Wisły 3,23 Bq/kg, a najwięcej w dorzeczu Odry 14,28 Bq/kg.

Najniższe średnie roczne stężenia promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ obserwowano w osadach dennych jezior 27,91 mBq/kg, a najwyższe w dorzeczu Odry – 46,87 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

Monitoring skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych pozwala na stwierdzenie, że skażenie wód powierzchniowych takimi nuklidami jak ^{137}Cs i ^{90}Sr jest niewielkie. Podobnie zawartość ^{137}Cs i $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych rzek i jezior pozostaje na niskim poziomie.

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

