

**MONITORING SKAŻEŃ PROMIENIOTWÓRCZYCH WÓD
POWIERZCHNIOWYCH I OSADÓW DENNYCH
W LATACH 2009-2010**

**Etap IV
Raport Roczny
2010**

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



Opracowanie wykonano na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (umowa nr 14/2009/F) finansowane ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej na podstawie umowy dotacji nr 168/2009/Wn50/MN-PO-BD/D z dnia 14.05.2009 r.

Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej
Listopad 2010

WSTĘP

Monitoring skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych w latach 2009-2010 prowadzony jest w oparciu o następujące akty prawne:

1. Ustawa – Prawo ochrony środowiska (Dz.U. Nr 62, poz. 627 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 14/2009/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 2010 roku.

ZAKRES PRACY

Próbki wody 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. W Tabeli 1 podano zarówno miejsce poboru próbek wody jak i osadów dennych

Terminy poboru próbek były następujące:

1. Termin wiosenny – od 11 czerwca do 31 lipca;
2. Termin jesienny - od 23 września do 28 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 poboru próbek wody i osadów dennych z rzek

Rzeka	Miejscowość województwo	Współrzędne geograficzne			
		woda		Osad	
		Długość geograficzna wschodnia DMS ^{a)}	Szerokość geograficzna północna DMS	Długość geograficzna wschodnia DMS	Szerokość geograficzna północna DMS
Wisła	Kraków-Tyniec małopolskie	19° 49' 11'' ^{a)}	50° 01' 85''	19° 48' 10''	50° 01' 21''
	Annopol Lubelskie	21° 49' 87''	50° 53' 15''	21° 50' 11''	50° 53' 19''
	Warszawa mazowieckie	21° 00' 63''	52° 15' 66''	21° 00' 52''	19° 49' 11''
	Płock mazowieckie	19° 41' 48''	52° 32' 08''	19° 41' 96''	52° 32' 10''
	Kieźmark pomorskie	18° 56' 84''	54° 15' 41''	18° 56' 73''	54° 15' 46''
Narew	Pułtusk mazowieckie	21° 05' 79''	52° 42' 17''	21° 05' 74''	52° 42' 16''
Bug	Wyszaków mazowieckie	21° 27' 22''	52° 36' 10''	21° 27' 22''	52° 36' 10''
Odra	Chałupki Śląskie	18° 19' 59''	49° 55' 21''	18° 19' 62''	49° 55' 34''
	Wrocław dolnośląskie	17° 02' 95''	51° 06' 71''	17° 02' 64''	51° 06' 73''
	Głogów dolnośląskie	16° 05' 52''	51° 40' 06''	16° 05' 46''	51° 40' 15''
	Krajnik zachodnio-pomorskie	14° 18' 72''	53° 02' 08''	14° 18' 77''	53° 02' 01''
Warta	Poznań wielkopolskie	16° 55' 00''	52° 21' 16''	16° 55' 00''	52° 21' 16''

^{a)} stopnie, minuty, sekundy

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

Jezioro miejscowość województwo	Współrzędne geograficzne	
	Długość geograficzna wschodnia DMS	Długość geograficzna północna DMS
Drawsko Stare Drawsko zachodnio-pomorskie	16° 11' 68'' ^{a)}	53° 36' 13''
Wadąg Myki warmińsko-mazurskie	20° 32' 93''	53° 49' 21''
Wielkie Partęczyny kujawsko-pomorskie	19° 25' 30''	53° 23' 19''
Rogóżno Rogóżno Lubelskie	22° 58' 02''	51° 22' 67''
Niesłysz Niesulice Lubuskie	15° 24' 10''	52° 12' 85''
Wigry Stary Folwark Podlaskie	23° 04' 94''	54° 04' 63''

^{a)} stopnie, minuty, sekundy

METODYKA MONITORINGU

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 każdej próbki wynosiła 20 litrów. Osady pobierano z trzech miejsc, oddalonych od siebie o ok. 50 m i sporządzano próbkę zbiorczą o masie ok. 1 g. Do pobierania osadów służyło metalowe naczynie o objętości ok. 0,5 litra, zamocowane na teleskopowym wyciągniku.

Po przywiezieniu próbek do laboratorium wodę odparowywano z dodatkiem kwasu azotowego; osady denne po usunięciu kamyków i części roślin, suszono w temp. 105°C do stałej masy i przesiewano przez sito o średnicy oczek 2 mm.

Metody analityczne i pomiarowe

^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach oraz ^{137}Cs , ^{238}Pu i $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych oznaczano zgodnie z zatwierdzoną przez Prezesa PAA „Techniką pomiarową do ilościowego oznaczania ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach powierzchniowych” i „Techniką pomiarową do ilościowego oznaczania ^{137}Cs , ^{238}Pu i $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych”.

^{137}Cs i ^{90}Sr w wodzie

^{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 ^{90}Sr stosowano metodę polegającą na oznaczeniu ^{90}Y , krótkożyciowego 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 ^{90}Sr wynosiła od 79 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 ^{90}Sr dla czasu pomiaru 120 min wynosi 0,45 mBq/l.

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

^{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 osłonowym 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 $^{239,240}\text{Pu}$ 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. Wydajność radiochemiczna plutonu mieściła się w zakresie od 25% do 73% (Tabela 10).

WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach

W Tabeli 3 przedstawiono stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w próbkach wody pobranej w rzekach i w jeziorach, w okresie wiosennym i jesiennym 2010 roku, średnie roczne stężenia promieniotwórcze tego radionuklidu oraz podano daty poboru próbek wody i osadów dennych. Średnie stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach rzek mieściły się w granicach od 1,15 mBq/l w Narwie (Pułtusk) do 4,09 mBq/l w Wiśle (Kraków, Tyniec), natomiast w jeziorach wynosiły od 0,78 mBq/l w jeziorze Drawsko do 5,32 mBq/l w jeziorze Rogóźno.

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

Lp.	Miejsce poboru próbki	Data poboru próbki	^{137}Cs , wiosna mBq l ⁻¹	Data poboru próbki	^{137}Cs , jesień, mBq l ⁻¹	^{137}Cs , średnia roczna mBq l ⁻¹
1.	Wisła Kraków Tyniec	17.07.10	2,49 ± 0,22 ^{a)}	08.10.10	5,66±0,49	4,08 ± 2,24
2.	Wisła Anopol	17.07.10	0,96 ± 0,11	30.09.10	1,57±0,17	1,27 ± 0,43
3.	Wisła Warszawa	21.07.10	2,99 ± 0,22	23.09.10	2,34±0,23	2,67 ± 0,46
4.	Wisła Płock	19.07.10	0,90 ± 0,12	24.09.10	1,97±0,20	1,44 ± 0,76
5.	Wisła Kieźmark	29.05.10	0,85 ± 0,12	20.10.10	2,72±0,25	1,79 ± 1,32
6.	Narew Pułtusk	19.07.10	0,71 ± 0,10	24.09.10	1,59±0,18	1,15 ± 0,62
7.	Bug Wyszaków	19.07.10	1,56 ± 0,17	24.09.10	1,61±0,17	1,59 ± 0,04
8.	Odra Chałupki	16.07.10	2,49 ± 0,20	08.10.10	3,21±0,27	2,85 ± 0,51
9.	Odra Wrocław	14.07.10	2,46 ± 0,23	09.10.10	2,69±0,24	2,58 ± 0,16
10.	Odra Głogów	14.07.10	1,79 ± 0,18	18.10.10	2,97±0,32	2,38 ± 0,83
11.	Odra Krajnik	13.07.10	1,27 ± 0,15	21.10.10	3,04±0,23	2,16 ± 1,25
12.	Warta Poznań	13.07.10	1,59 ± 0,17	19.10.10	2,51±0,23	2,05 ± 0,65
13.	Wigry Stary Folwark	28.05.10	4,08 ± 0,26	27.10.10	0,90±0,13	2,49 ± 2,25
14.	Wadąg Myki	28.05.10	1,34 ± 0,14	28.10.10	2,27±0,22	1,81 ± 0,66
15.	Wielkie Partęczyny	29.05.10	1,57 ± 0,16	20.10.10	2,70±0,15	2,14 ± 0,80
16.	Drawsko Stare Drawsko	17.06.10	0,76 ± 0,11	19.10.10	0,80±0,07	0,78 ± 0,03
17.	Niesłysz Niesulice	18.06.10	2,09± 0,18	10.10.10	3,40±0,27	2,75 ± 0,93
18.	Rogóżno Rogóżno	02.06.10	5,30± 0,30	30.09.10	5,33±0,35	5,32 ± 0,02

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

Tabela 4. Stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach rzek i 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.	Wisła Kraków Tyniec	2,93±0,25 ^{a)}	4,52±0,32	3,73 ± 1,12
2.	Wisła Annapol	2,99±0,23	3,57±0,28	3,28 ± 0,41
3.	Wisła Warszawa	3,53±0,28	5,70±0,36	4,62 ± 1,53
4.	Wisła Płock	3,94±0,32	5,31±0,22	4,63 ± 0,0,97
5.	Wisła Kieźmark	3,18 ± 0,25	4,62±0,34	4,19 ± 1,12
6.	Narew Pułtusk	3,39±0,27	4,98±0,19	4,19 ± 1,12
7.	Bug Wyszków	3,34±0,26	6,67±0,42	5,01 ± 2,35
8.	Odra Chałupki	2,44±0,22	3,72±0,29	3,08 ± 0,91
9.	Odra Wrocław	2,92 ± 0,24	4,72±0,31	3,82 ± 1,27
10.	Odra Głogów	3,37 ± 0,27	2,05±0,21	2,71 ± 0,93
11.	Odra Krajnik	3,36±0,28	4,51±0,31	3,94 ± 0,81
12.	Warta Poznań	4,46 ± 0,33	4 69±0 48	4,58 ± 0,16
13.	Wigry Stary Folwark	2,29 ± 0,22	2,15±0,27	2,22 ± 0,10
14.	Wadąg Myki	3,03 ± 0,24	2,27±0,22	2,65 ± 0,54
15.	Wielkie Partęczyny	1,78 ± 0,18	2,22±0,22	2,00 ± 0,31
16.	Drawsko Stare Drawsko	2,34 ± 0,21	3,06±0,26	2,70 ± 0,51
17.	Niesłysz Niesulice	1,21 ± 0,14	1,39±0,16	1,30 ± 0,13
18.	Rogóżno Rogóżno	7,94 ± 0,44	8,20±0,45	8,07 ± 0,18

^{a)}Wartość ± błąd pomiaru

Stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach rzek i jezior (Tabela 4) było wyższe niż stężenie ^{137}Cs (Tabela 3). Średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu w wodach rzek wahało się od 2,71 mBq/l w wodzie z Odry (Głogów) do 5,01 mBq/l w wodzie pobranej z Bugu w Wyszku. W jeziorach zakres stężeń był szerszy i wynosił od 1,30 mBq/l w wodzie pobranej w jeziorze Niestysz do 8,07 mBq/l w wodzie pobranej w Rogoźnie.

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 przedstawiono w Tabeli 5. Średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w 2010 roku było najniższe w dorzeczu Wisły wiosną i wynosiło 1,49 mBq/l wody.

Tabela 5. Średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego izotopu

Lokalizacja poboru próbek	^{137}Cs mBq l ⁻¹ wiosna	^{137}Cs mBq l ⁻¹ jesień	^{137}Cs mBq l ⁻¹ średnia roczna
Dorzecze Wisły (7) ^{a)}	1,49 ± 0,90 ^{b)}	2,49 ± 1,46	1,99 ± 1,28 (14)
Dorzecze Odry (5)	1,92 ± 0,54	2,88 ± 0,28	2,40 ± 0,65 (10)
Jeziora (6)	2,52 ± 1,77	2,57 ± 1,69	2,55 ± 1,65 (12)

^{a)} Liczba próbek wody

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

Średnie stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w próbkach wody było bardziej wyrównane w okresie wiosenny niż jesiennym i jednocześnie miało niższe wartości. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w dorzeczu Wisły i Odry wynosiło odpowiednio 4,19 mBq/l i 3,62 mBq/l, a w jeziorach 3,10 mBq/l (Tabela 6).

Średnie wartości stosunku stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr do ^{137}Cs w wodach dorzecza Wisły, dorzecza Odry i jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne wartości przedstawiono w Tabeli 7.

Stosunek średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr do ^{137}Cs w próbkach wody pobranej z rzek było większy od jedności.

Tabela 6. Średnie stężenie ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego izotopu

Lokalizacja poboru próbek	^{90}Sr mBq l ⁻¹ wiosna	^{90}Sr mBq l ⁻¹ jesień	^{90}Sr mBq l ⁻¹ średnia roczna
Dorzecze Wisły (7) ^{a)}	3,33 ± 0,34 ^{b)}	5,05 ± 0,98	4,19 ± 1,14
Dorzecze Odry (5)	3,31 ± 0,75	3,94 ± 1,13	3,62 ± 0,96
Jeziora (6)	3,10 ± 2,45	3,22 ± 2,50	3,16 ± 2,36

^{a)} Liczba próbek wody

^{b)} Wartość średnia ± OS

Tabela 7. Średni stosunek stężeń aktywności Sr-90 do Cs-137 w dorzeczu Wisły, Odry i w wodach jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne

Lokalizacja poboru próbek	$\frac{^{90}\text{Sr}}{^{137}\text{Cs}}$ wiosna	$\frac{^{90}\text{Sr}}{^{137}\text{Cs}}$ jesień	$\frac{^{90}\text{Sr}}{^{137}\text{Cs}}$ średnia roczna
Dorzecze Wisły (7) ^{a)}	2,93 ± 1,47	2,45 ± 1,06	2,49 ± 1,13
Dorzecze Odry (5)	1,90 ± 0,83	1,39 ± 0,48	1,55 ± 0,48
Jeziora (6)	1,52 ± 0,99	1,54 ± 1,35	1,44 ± 1,07

^{a)} Liczba próbek

Średni roczny stosunek stężeń promieniotwórczych Sr-90 do Cs-137 w wodach dorzecza Wisły i Odry wynosił odpowiednio 2,49 i 1,55. W wodach jezior był niższy i wynosił 1,46. W Tabeli 7 podane zostały również wartości odchylenia standardowego $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$. Wartości te w stosunku do średnich są dosyć duże, a zatem rozrzut wyników mieści się w szerokich granicach, co może wynikać z różnego stopnia wymywania obu izotopów z gleby do zbiorników wodnych oraz wielkości zlewni. Szczególny wpływ na uzyskane w tym roku wyniki mogła mieć sytuacja powodziowa zarówno w naszym kraju jak i krajach sąsiednich.

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

Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych Wisły, Odry ich dopływów i w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu w 2010 roku przedstawiono w Tabeli 8. Średnie roczne stężenia tego izotopu zawierały się w granicach od 0,86 Bq/kg w próbce pobranej w Wiśle w Kieżmarku do 14,75 Bq/kg w osadzie dennym pobranym w jeziorze Rogóžno. W wielu przypadkach wystąpiły wyraźne różnice w stężeniu ^{137}Cs w osadach dennych pobranych w okresie wiosennym i jesiennym w tym samym punkcie poboru. Różnice te mogą być wynikiem wiosennej powodzi. Duże ilości wody prznosiły ze sobą wymywane z różnych obszarów gleby.

Średnie stężenia ^{137}Cs w osadach dennych dorzecza Wisły, dorzecza Odry oraz jezior pobranych w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenia promieniotwórcze przedstawiono w Tabeli 9. Najniższe stężenia ^{137}Cs , podobnie jak w przypadku wody, obserwowano w dorzeczu Wisły (średnia roczna wynosiła 3,15 Bq/kg), w dorzeczu Odry było ono ok. 100% wyższe (6,71 Bq/kg), a w jeziorach prawie trzykrotnie wyższe (9,27 Bq/kg).

Tabela 8. Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych rzek i 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.	Wisła Kraków Tynec	$0,81 \pm 0,06^{\text{a}}$	$5,10 \pm 0,14^{\text{a}}$	$2,96 \pm 3,03$
2.	Wisła Annopol	$1,14 \pm 0,17$	$1,21 \pm 0,06$	$1,18 \pm 0,05$
3.	Wisła Warszawa	$3,44 \pm 0,52$	$5,49 \pm 0,82$	$4,47 \pm 1,15$
4.	Wisła Płock	$1,03 \pm 0,16$	$1,64 \pm 0,05$	$1,34 \pm 0,43$
5.	Wisła Kiezmark	$0,66 \pm 0,04$	$1,06 \pm 0,04$	$0,86 \pm 0,28$
6.	Narew Pułtusk	$3,46 \pm 0,52$	$6,41 \pm 0,16$	$4,94 \pm 1,09$
7.	Bug Wyszków	$3,12 \pm 0,11$	$9,56 \pm 0,11$	$6,34 \pm 4,55$
8.	Odra Chałupki	$17,57 \pm 0,56$	$9,63 \pm 0,63$	$13,6 \pm 5,61$
9.	Odra Wrocław	$1,42 \pm 0,21$	$6,26 \pm 0,22$	$3,84 \pm 3,42$
10.	Odra Głogów	$6,88 \pm 1,03$	$17,76 \pm 0,45$	$12,32 \pm 7,69$
11.	Odra Krajnik	$0,31 \pm 0,03$	$1,65 \pm 0,08$	$0,98 \pm 0,95$
12.	Warta Poznań	$2,26 \pm 0,02$	$3,40 \pm 0,18$	$2,83 \pm 0,81$
13.	Wigry Stary Folwark	$2,45 \pm 0,31$	$3,43 \pm 0,41$	$2,94 \pm 0,69$
14.	Wadąg Myki	$8,03 \pm 1,20$	$20,68 \pm 3,10$	$14,36 \pm 8,94$
15.	Wielkie Partęczyny	$10,12 \pm 1,20$	$8,14 \pm 0,20$	$9,13 \pm 1,40$
16.	Drawsko Stare Drawsko	$3,49 \pm 0,47$	$3,50 \pm 0,42$	$3,50 \pm 0,01$
17.	Niesłysz Niesulice	$8,20 \pm 1,23$	$13,69 \pm 0,37$	$10,95 \pm 3,88$
18.	Rogóżno Rogóżno	$20,16 \pm 2,03$	$9,33 \pm 0,25$	$14,75 \pm 7,66$

^{a)}Wartość \pm OS

Tabela 9. Średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych rzek i jezior w okresie wiosennym, jesiennym oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu.

Lokalizacja poboru próbek	^{137}Cs Bq kg ⁻¹ wiosna	^{137}Cs Bq kg ⁻¹ jesień	^{137}Cs Bq kg ⁻¹ średnia roczna
Dorzecze Wisły (7) ^{a)}	1,95 ± 1,31 ^{b)}	4,35 ± 3,20	3,15 ± 2,66 (14)
Dorzecze Odry (5)	5,69 ± 7,10	7,74 ± 6,37	6,71 ± 6,02 (10)
Jeziora (6)	8,74 ± 6,33	9,80 ± 6,58	9,27 ± 6,18 (12)

a) Liczba próbek osadów dennych

b) Wartość średnia ±OS

Stężenie $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych pobranych w okresie wiosennym i jesiennym w dorzeczu Wisły, Odry i w jeziorach 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 11,90 mBq/kg w Wiśle (Płock) do 156,83 mBq/kg w Odrze (Chałupki). W jeziorach zakres ten jest mniejszy i wynosi od 4,81 mBq/kg w Drawsku do 58,20 mBq/kg w Wadągu. Najniższe średnie roczne stężenia promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ obserwowano w jeziorach, następnie w dorzeczu Wisły i Odry (Tabela 11). Średni poziom $^{239,240}\text{Pu}$ w rzekach i jeziorach był niski. Jedynie w osadzie dennym w Chałupkach (Odra) oraz w jeziorze Wadąg 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 niskie w kilku próbkach mniejsze od granicy detekcji (2 mBq/kg).

Tabela 10. Stężenie promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych rzek i 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.	Wisła Kraków Tyniec	$36,40 \pm 9,26^{\text{a)}}$	$28,42 \pm 6,17$	$32,41 \pm 5,64$
2.	Wisła Annopol	$34,83 \pm 5,25$	$21,37 \pm 5,19$	$28,10 \pm 9,52$
3.	Wisła Warszawa	$21,04 \pm 3,77$	$53,32 \pm 5,89$	$37,18 \pm 22,83$
4.	Wisła Płock	$10,40 \pm 6,42$	$13,39 \pm 4,54$	$11,90 \pm 2,11$
5.	Wisła Kiezmark	$46,77 \pm 10,70$	$14,36 \pm 5,20$	$30,57 \pm 22,94$
6.	Narew Pułtusk	$20,35 \pm 3,79$	$10,24 \pm 2,37$	$15,30 \pm 7,15$
7.	Bug Wyszków	$23,4 \pm 3,13$	$84,87 \pm 13,01$	$54,14 \pm 43,47$
8.	Odra Chałupki	$238,80 \pm 6,77$	$74,86 \pm 13,56$	$156,8 \pm 115,92$
9.	Odra Wrocław	$22,32 \pm 4,43$	$42,83 \pm 9,93$	$32,58 \pm 14,50$
10.	Odra Głogów	$35,74 \pm 6,69$	$65,46 \pm 9,65$	$50,45 \pm 21,23$
11.	Odra Krajnik	$10,56 \pm 4,66$	$19,90 \pm 9,33$	$15,23 \pm 6,60$
12.	Warta Poznań	$61,81 \pm 19,20$	$38,73 \pm 8,10$	$50,27 \pm 16,32$
13.	Wigry Stary Folwark	$3,84 \pm 2,87$	$21,28 \pm 10,60$	$12,56 \pm 12,33$
14.	Wadąg Myki	$80,40 \pm 16,90$	$36,00 \pm 13,03$	$58,20 \pm 31,40$
15.	Wielkie Partęczyny	<2	$8,43 \pm 2,87$	$47,20 \pm 5,25$
16.	Drawsko Stare Drawsko	$6,54 \pm 4,42$	$3,08 \pm 2,24$	$4,81 \pm 2,45$
17.	Niesłysz Niesulice	$74,27 \pm 12,70$	$17,20 \pm 11,66$	$45,74 \pm 40,35$
18.	Rogóźno Rogóźno	$13,34 \pm 4,88$	$53,8 \pm 5,75$	$33,57 \pm 28,61$

^{a)}Wartość \pm OS

Tabela 11. Średnie stężenie promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych rzek i jezior w okresie wiosennym, jesiennym oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu.

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
Dorzecze Wisły (7) ^{a)}	27,60 ± 12,29 ^{b)}	32,28 ± 27,40	29,94 ± 20,55
Dorzecze Odry (5)	73,79 ± 94,19	48,36 ± 17,3	61,07 ± 14,0
Jeziora (6)	29,90 ± 37,02	20,76 ± 19,81	25,74 ± 29,41

a) Liczba próbek osadów dennych

b) Średnia ± OS

Stężenie aktywności ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach oraz ^{137}Cs i $^{239+240}\text{Pu}$ w osadach dennych rzek i jezior w Polsce w latach 2004 – 2010

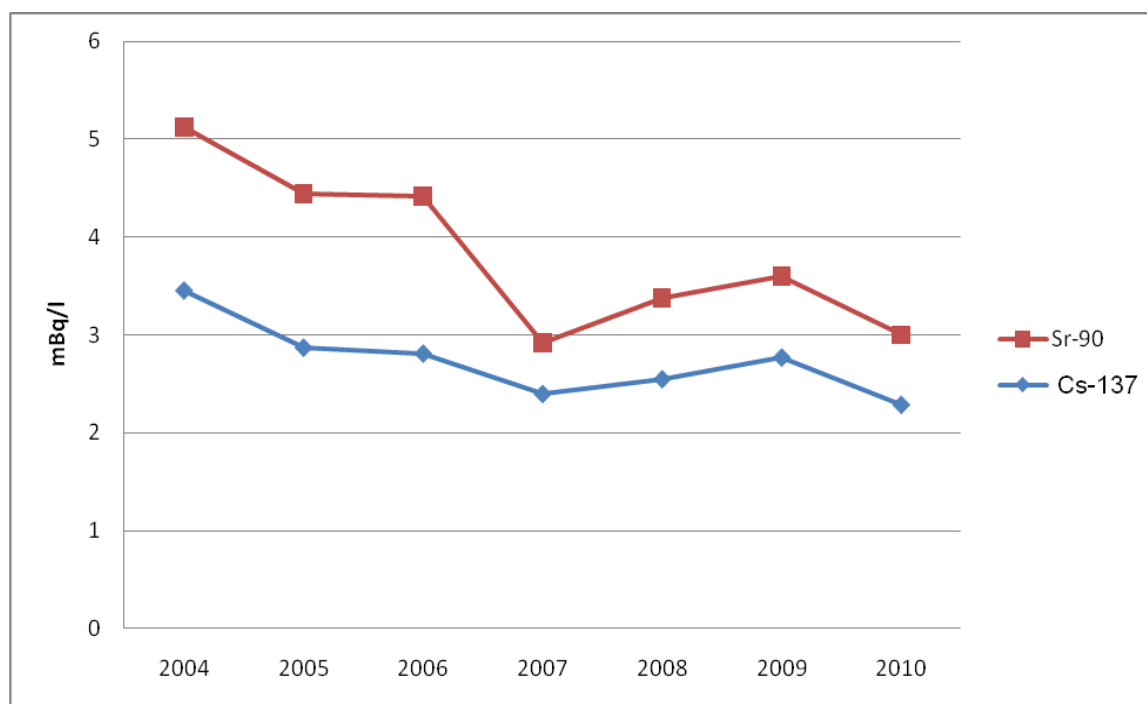
Przebieg czasowy średnich stężeń aktywności ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach oraz ^{137}Cs i $^{239+240}\text{Pu}$ w osadach rzek i jezior w latach 2004 – 2010 przedstawiono w Tabeli 12 oraz na Rys.1. i Rys.2. Przedstawione wartości są średnimi arytmetycznymi z oznaczeń poszczególnych radionuklidów w próbkach wody i osadów dennych pobranych w okresach wiosennych i jesiennych, w kolejnych latach monitoringu. Każda wartość przedstawiona w Tabeli 12 i 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. 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 bieżącym roku stężenie wzrosło. Nie jest 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 mBqkg⁻¹ otrzymana dla próbki osadu z Odry pobranej wiosną w Chałupkach. Po prześledzeniu wyników z ubiegłych lat okazuje się, że już występowały podobne odchylenia. Być może na ten wynik miała również wpływ tegoroczna powódź. Mogło nastąpić wymycie gleb i osadzenie ich na dnie rzeki.

Tabela 12. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach oraz ^{137}Cs i $^{239+240}\text{Pu}$ w osadach dennych rzek i jezior w Polsce w latach 2004 – 2010.

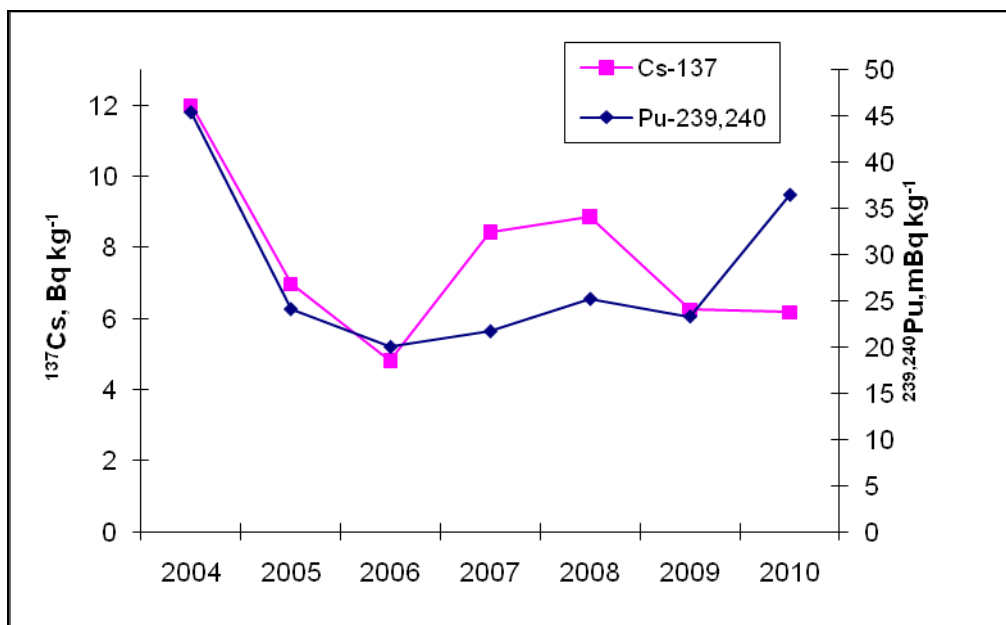
Lata	^{137}Cs w wodzie mBq l^{-1}	^{90}Sr w wodzie mBq l^{-1}	^{137}Cs w osadach dennych Bq kg^{-1}	$^{239+240}\text{Pu}$ w osadach dennych mBq kg^{-1}
2004	$3,45 \pm 0,34^{\text{a)}$	$5,12 \pm 0,36$	$12,0 \pm 1,85$	$45,4 \pm 13,8$
2005	$2,87 \pm 0,26$	$4,44 \pm 0,33$	$6,97 \pm 0,82$	$24,1 \pm 2,18$
2006 ^{b)}	$2,81 \pm 0,25$	$4,42 \pm 0,15$	$4,81 \pm 1,49$	$20,0 \pm 0,85$
2007	$2,40 \pm 0,21$	$2,92 \pm 0,19$	$8,44 \pm 1,35$	$21,7 \pm 1,18$
2008	$2,55 \pm 0,20$	$3,38 \pm 0,24$	$8,87 \pm 1,92$	$25,2 \pm 4,07$
2009	$2,77 \pm 0,17$	$3,60 \pm 0,29$	$6,25 \pm 1,58$	$23,3 \pm 0,97$
2010	$2,29 \pm 1,28$	$23,3 \pm 0,97$	$6,18 \pm 1,96$	$36,47 \pm 1,88$

a) Wartość średnia \pm błąd standardowy średniej

b) Średnie roczne nie obejmowały wód i osadów dennych jezior



Rys.1. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach rzek i jezior w Polsce w latach 2004 – 2010.



Rys.2. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs i $^{239+240}\text{Pu}$ w osadach dennych rzek i jezior w Polsce w latach 2004 - 2010

PODSUMOWANIE

1. W ramach monitoringu skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych w 2010 roku pobrano dwukrotnie 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 Inspektorem Ochrony Środowiska.
2. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach rzek mieściło się w granicach od 1,15 mBq/l w Narwi (Pułtusk) do 4,08 mBq/l w Wiśle (Kraków), natomiast w jeziorach wynosiło od 0,78 mBq/l w Drawsku do 5,32 mBq/l w Rogóźnie. Dorzecze Wisły charakteryzowało się nieco niższym stężeniem ^{137}Cs w wodzie niż dorzecze Odry i jeziora. Poziom ^{90}Sr był bardziej wyrównany.
3. Stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach rzek i jezior było na ogół wyższe niż stężenie ^{137}Cs . Średnie stężenie ^{90}Sr wynosiło od 2,71 mBq/l w wodzie z Odry (Głogów) do 5,01 mBq/l w wodzie pobranej w Bugu (Wyszaków). W jeziorach zakres stężeń był szerszy i wynosił od 1,30 mBq/l w wodzie pobranej w jeziorze Niesłysz do 8,07 mBq/l w Rogóźnie.

4. Średni roczny stosunek stężeń promieniotwórczych Sr-90 do Cs-137 był najwyższy w wodach dorzecza Wisły i wynosił 2,31, a najniższy w jeziorach - 1,19.
5. W wodach powierzchniowych stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr jest w większości przypadków większe niż stężenie ^{137}Cs , mimo że w środowisku lądowym stężenie ^{137}Cs wielokrotnie przewyższa stężenie ^{90}Sr . ^{137}Cs jest silniej wiązany ze składnikami gleby i trudniej wymywany przez wody do rzek i jezior niż ^{90}Sr i proces wymywania ^{90}Sr do zbiorników wodnych zachodzi również obecnie.
6. Średnie roczne stężenia ^{137}Cs w osadach dennych rzek zawierały się w granicach od 0,86 Bq/kg w próbce pobranej w Wiśle w Kiezmarku do 13,6 Bq/kg w osadzie dennym pobranym w Odrze w Chałupkach.
7. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych jezior mieści się w zakresie od 2,94 Bq/kg w jeziorze Wigry do 14,75 Bq/kg w jeziorze Rogóźno. We wszystkich jeziorach, stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs wynosiło od 2,54 Bq/kg (Wigry, wiosna) do 20,68 Bq/kg (Wadąg, jesień).
8. Średnie roczne stężenie $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych rzek zawiera się w granicach od 11,90 mBq/kg w Wiśle (Płock) do 156,3 mBq/kg w Chałupkach (Odra). W jeziorach zakres ten wynosił od 4,72 mBq/kg w jeziorze Wielkie do 58,2 mBq/kg w Wadągu. Średni poziom $^{239,240}\text{Pu}$ był bardzo różny i mieścił się w zakresie od 25,74 mBq/kg w jeziorach do 61,07 mBq/kg w dorzeczu Odry.

WNIOSKI

Monitoring skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych pozwala na stwierdzenie, że skażenie wód powierzchniowych ^{137}Cs i ^{90}Sr jest niewielkie. Również skażenie ^{137}Cs i $^{239,240}\text{Pu}$ osadów dennych pozostaje na niskim poziomie.

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