

**MONITORING SKAŻEŃ PROMIENIOTWÓRCZYCH WÓD
POWIERZCHNIOWYCH I OSADÓW DENNYCH
W LATACH 2006-2008**

Raport Końcowy

Z.Pietrzak-Flis, L.Rosiak, E.Starościak, E.Chrzanowski, A.Fulara



Opracowanie wykonano na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (umowa nr 54/2006/F) finansowane ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej na podstawie umowy o dotacje nr 637/2006/Wn50/MN-PO-BD/D

Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej

Listopad 2008

WSTĘP

Izotopy promieniotwórcze sztucznego pochodzenia obecne w środowisku pochodzą z kilku źródeł. Znaczące ich ilości zostały w sposób niekontrolowany uwolnione do środowiska w okresie próbnych wybuchów jądrowych, prowadzonych głównie w latach 1955-1958 oraz 1961-1962. Ciągłe jeszcze długo-życiowe izotopy z tego źródła znajdują się w środowisku w ilościach mierzalnych. Drugim poważnym źródłem radionuklidów była awaria reaktora jądrowego w Czarnobylu, która miała miejsce w 1986 roku i obecne na terytorium Polski sztuczne izotopy promieniotwórcze pochodzą głównie z Czarnobyla. W sposób kontrolowany izotopy uwalniane są również z zakładów przerobu paliwa jądrowego oraz z elektrowni jądrowych. Uwolnienia, szczególnie z elektrowni jądrowych są raczej niewielkie i mają charakter lokalny. Zachodzi więc potrzeba kontroli skażeń promieniotwórczych izotopami sztucznego pochodzenia i śledzenie ich zachowania w środowisku lądowym i wodnym.

Obowiązek prowadzenia monitoringu nakładają istniejące akty prawne krajowe i opracowane przez Komisję Europejską. Krajowe akty prawne to przede wszystkim:

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).

Monitoring skażeń promieniotwórczych zaleca również 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.

Powyższe akty prawne stanowią podstawę zawartej Umowy nr 54/2006/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.

W niniejszym Raporcie przedstawiono wyniki badań skażenia wód powierzchniowych i osadów dennych prowadzonych w latach 2006 – 2008.

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. Radionuklidy te, ze względu na długie okresy połowicznego rozpadu (^{137}Cs - $T_{1/2} = 30,07$ lat; ^{90}Sr - $T_{1/2} = 28,78$ lat; ^{239}Pu - $T_{1/2} = 24110$ lat, ^{240}Pu - $T_{1/2} =$

6563 lat, ^{238}Pu - $T_{1/2} = 87,7$ lat) są obecne w środowisku, chociaż minęło wiele lat od ich uwolnienia w skali globalnej w wyniku próbných wybuchów jądrowych i awarii czarnobylskiej.

Prowadzenie systematycznych oznaczeń ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239,240}\text{Pu}$ i ^{238}Pu umożliwia:

1. określenie aktualnego poziomu ich stężenia w środowisku wodnym;
2. śledzenie zachodzących zmian w dłuższym przedziale czasu;
3. wykrycie nowych uwolnień tych radionuklidów do środowiska;
4. przewidywanie ich zachowania w środowisku wodnym w przyszłości;
5. określenie źródeł pochodzenia ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239,240}\text{Pu}$ i ^{238}Pu w środowisku wodnym.

ZAKRES PROWADZONYCH PRAC

W 2006 roku monitoring skażeń promieniotwórczych rzek i jezior rozpoczęto dopiero we wrześniu i z tego względu został on ograniczony do badania skażeń promieniotwórczych wody i osadów dennych pobranych jedynie w rzekach (12 punktów poboru). W kolejnych dwóch latach próbki wody i osadów dennych pobierano w 18 punktach, usytuowanych w dorzeczu Wisły (7 punktów), w dorzeczu Odry (5 punktów) i w jeziorach (6 punktów). Wykaz punktów poboru wody i osadów dennych oraz współrzędne geograficzne miejscowości, w których pobierano próbki podano w Tabeli 1 i 2. W Tabeli 1 podano również odległości punktów poboru z Wisły od punktu zerowego oraz odległości punktów poboru z Odry od granicy państwa.

Próbki wody i osadów dennych pobierano w następujących terminach:

2006 rok (Etap I)

1. Termin jesienny – od 7 września do 20 października ;

2007 rok (Etap II i Etap III)

1. Termin wiosenny – od 12 kwietnia do 20 czerwca;
2. Termin jesienny - od 19 września do 7 listopada.

2008 rok (Etap IV i Etap V)

3. Termin wiosenny – od 23 kwietnia do 19 czerwca;
4. Termin jesienny - od 19 września do 8 listopada.

Po przywiezieniu do laboratorium próbki wody i osadów dennych poddawano wstępnej preparatyce, a następnie oznaczano w nich izotopy promieniotwórcze. Stosowane metody omówiono w dalszej części Raportu.

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

Rzeka	Miejsce poboru próbek	Długość geograficzna wschodnia DMS ^{a)}	Szerokość geograficzna północna DMS	Odległość od punktu zerowego, km
Wisła	Kraków Tyniec	20°10'48"	50°42'50"	63,7
	Annopol	21°51'33"	50°53'10"	295
	Warszawa	21°00'59"	52°14'07"	510
	Płock	19°41'52"	52°32'50"	632
	Kieżmark	18°55'51"	54°15'14"	926
Narew	Pułtusk	21°05'08"	52°42'18"	-
Bug	Wyszków	21°27'22"	52°36'10"	-
Odra	Chałupki	18°19'10"	49°55'22"	0 ^{b)}
	Wrocław	17°02'12"	51°06'34"	249 ^{b)}
	Głogów	16°04'55"	51°39'11"	393 ^{b)}
	Krajnik	14°28'50"	53°11'44"	690 ^{b)}
Warta	Poznań	16°55'21"	52°24'30"	-

^{a)} stopnie, minuty, sekundy ^{b)} odległość od granicy państwa

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

Jezioro i miejsce poboru	Województwo	Długość geograficzna wschodnia DMS ^{a)}	Szerokość geograficzna północna DMS
Drawsko, Stare Drawsko	zachodnio-pomorskie	16°11'51"	53°36'08"
Wadąg, Myki	warmińsko-mazurskie	20°32'35"	53°49'10"
Wielkie Partęczyny	kujawsko-pomorskie	19°13'02"	53°28'13"
Rogóżno	lubelskie	22°59'25"	51°22'03"
Niesłysz, Niesulice	lubuskie	15°24'05"	52°12'41"
Wigry, Stary Folwark	podlaskie	23°03'24"	54°05'07"

^{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 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. 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.

METODY ANALITYCZNE

^{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”. W przypadku ^{90}Sr określano wydajność chemiczną wydzielania strontu przez dodanie znanej aktywności znacznika (^{85}Sr) przed rozpoczęciem analizy i pomiarze aktywności tego izotopu po jej zakończeniu. Ze względu na niskie stężenia plutonu w osadach dennych, zwiększono masę analizowanej próbki do 50g.

^{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 była wysoka i wynosiła od 83 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 82000 s wynosi 0,45 Bq/kg suchej masy osadu dennego.

Kalibrację układu pomiarowego prowadzono stosując wzorzec w geometrii Marinelli, zawierające mieszaninę izotopów o energiach od 0,088 MeV do 1,836 MeV w jednorodnej matrycy o gęstości 1,3 g/cm³ (1) i o gęstości 1 g/cm³ (2). W zależności od gęstości badanych osadów dennych wykorzystywano wzorzec (1) lub wzorzec (2).

Zasada metody oznaczania $^{239,240}\text{Pu}$ i ^{238}Pu polegała 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 wykonywano 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.

WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

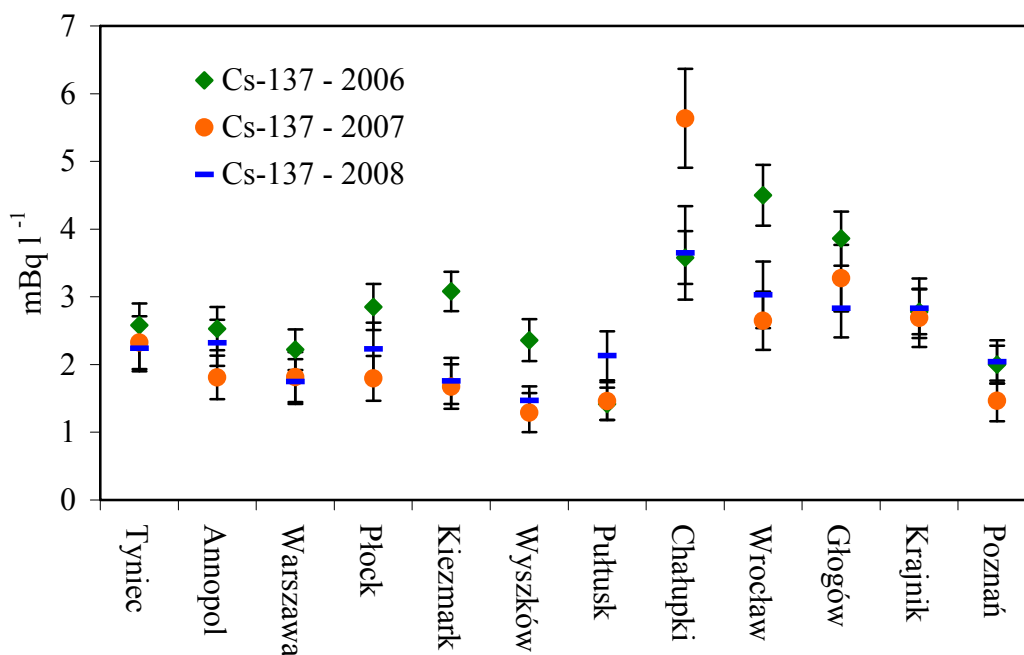
^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach

Średnie roczne stężenia ^{137}Cs w próbkach wody pobranej w rzekach i w jeziorach przedstawiono w Tabeli 3. Dane dotyczące 2006 roku pochodzą z oznaczeń ^{137}Cs w wodzie pobranej z rzek w okresie jesiennym, natomiast w następnych latach wartości podane w Tabeli są średnimi z oznaczeń wiosennych i jesiennych. Najwyższe stężenia ^{137}Cs zanotowano w 2006 roku. Średnie stężenia ^{137}Cs w próbkach pobranych w 2007 i 2008 roku były zbliżone. Natomiast obserwowano wyraźne niższe wartości stężeń ^{137}Cs w dorzeczu Wisły w porównaniu z dorzeczem Odry (Rys. 1).

Tabela 3. Średnie roczne stężenia ^{137}Cs w wodach dorzecza Wisły, dorzecza Odry i jezior w latach 2006 – 2008, mBq l^{-1}

Lp.	Miejsce poboru próbki	2006 ^{137}Cs	2007 ^{137}Cs	2008 ^{137}Cs
1.	Wisła Kraków Tyniec	$2,58 \pm 0,32^{\text{a}}$	$2,33 \pm 0,39$	$2,24 \pm 0,34$
2.	Wisła Annopol	$2,53 \pm 0,32$	$1,81 \pm 0,32$	$2,32 \pm 0,34$
3.	Wisła Warszawa	$2,22 \pm 0,30$	$1,82 \pm 0,37$	$1,75 \pm 0,33$
4.	Wisła Płock	$2,85 \pm 0,34$	$1,80 \pm 0,33$	$2,23 \pm 0,39$
5.	Wisła Kiezmark	$3,08 \pm 0,29$	$1,68 \pm 0,33$	$1,76 \pm 0,34$
6.	Narew Pułtusk	$2,36 \pm 0,31$	$1,46 \pm 0,29$	$1,47 \pm 0,21$
7.	Bug Wyszaków	$1,42 \pm 0,24$	$1,29 \pm 0,28$	$2,13 \pm 0,36$
8.	Odra Chałupki	$3,58 \pm 0,39$	$5,64 \pm 0,73$	$3,65 \pm 0,69$
9.	Odra Wrocław	$4,50 \pm 0,45$	$2,65 \pm 0,43$	$3,03 \pm 0,49$
10.	Odra Głogów	$3,86 \pm 0,40$	$3,28 \pm 0,49$	$2,83 \pm 0,43$
11.	Odra Krajnik	$2,78 \pm 0,33$	$2,69 \pm 0,43$	$2,83 \pm 0,44$
12.	Warta Poznań	$2,00 \pm 0,28$	$1,47 \pm 0,30$	$2,04 \pm 0,32$
13.	Wigry Stary Folwark	-	$1,66 \pm 0,33$	$1,39 \pm 0,33$
14.	Wadąg Myki	-	$1,52 \pm 0,30$	$2,20 \pm 0,34$
15.	Wielkie Partęczyny	-	$1,88 \pm 0,34$	$2,32 \pm 0,34$
16.	Drawsko Stare Drawsko	-	$1,18 \pm 0,27$	$2,26 \pm 0,33$
17.	Niesłysz Niesulice	-	$1,69 \pm 0,33$	$2,58 \pm 0,37$
18.	Rogóżno Rogóżno	-	$5,90 \pm 0,74$	$6,87 \pm 0,75$

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



Rys. 1. Średnie stężenie ¹³⁷Cs w wodach rzek w latach 2006, 2007 i 2008

Różnice między średnimi rocznymi stężeniami ¹³⁷Cs w zależności od lokalizacji punktu poboru próbek ilustrują dane przedstawione w Tabeli 4. W ciągu kolejnych trzech lat monitoringu najniższe stężenia zanotowano w dorzeczu Wisły, a najwyższe w dorzeczu Odry, szczególnie w latach 2006 i 2007. W jeziorach i w dorzeczu Odry w 2008 roku stężenia ¹³⁷Cs były praktycznie takie same.

Tabela 4. Średnie roczne stężenia ¹³⁷Cs w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2006 - 2008

Lokalizacja poboru próbek	2006 mBq l ⁻¹	2007 mBq l ⁻¹	2008 mBq l ⁻¹
Dorzecze Wisły	(7) ^{a)} 2,43 ± 0,53 ^{b)}	(14) 1,74 ± 0,45	(14) 1,98 ± 0,32
Dorzecze Odry	(5) 3,34 ± 0,97	(10) 3,14 ± 1,48	(10) 2,88 ± 0,58
Jeziora	-	(12) 2,31 ± 1,71	(12) 2,94 ± 1,97
Średnia ogólna	(12) 2,81 ± 1,49	(36) 2,32 ± 1,39	(36) 2,55 ± 1,21

^{a)} Liczba próbek wody

^{b)} Średnia ± OS

Tabela 5. Średnie roczne stężenia ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły, dorzecza Odry i w jeziorach w latach 2006 – 2008, mBq l^{-1}

Lp.	Miejsce poboru próbki	2006 ^{90}Sr	2007 ^{90}Sr	2008 ^{90}Sr
1.	Wisła Kraków Tyniec	$4,61 \pm 0,46^{\text{a}}$	$3,29 \pm 0,41$	$4,09 \pm 0,41$
2.	Wisła Annopol	$3,83 \pm 0,47$	$2,47 \pm 0,36$	$3,42 \pm 0,42$
3.	Wisła Warszawa	$3,49 \pm 0,42$	$3,47 \pm 0,41$	$2,70 \pm 0,36$
4.	Wisła Płock	$4,13 \pm 0,46$	$3,09 \pm 0,38$	$3,09 \pm 0,40$
5.	Wisła Kiezmark	$6,30 \pm 0,52$	$2,62 \pm 0,35$	$2,83 \pm 0,37$
6.	Narew Pułtusk	$4,28 \pm 0,45$	$2,91 \pm 0,37$	$3,44 \pm 0,42$
7.	Bug Wyszaków	$4,96 \pm 0,45$	$3,32 \pm 0,40$	$3,26 \pm 0,42$
8.	Odra Chałupki	$4,41 \pm 0,54$	$4,45 \pm 0,48$	$3,82 \pm 0,44$
9.	Odra Wrocław	$4,84 \pm 0,67$	$4,16 \pm 0,47$	$3,35 \pm 0,42$
10.	Odra Głogów	$5,41 \pm 0,53$	$4,19 \pm 0,48$	$3,75 \pm 0,45$
11.	Odra Krajnik	$3,74 \pm 0,44$	$3,53 \pm 0,42$	$3,03 \pm 0,39$
12.	Warta Poznań	$3,07 \pm 0,39$	$3,52 \pm 0,41$	$3,17 \pm 0,40$
13.	Wigry Stary Folwark	-	$2,00 \pm 0,31$	$2,15 \pm 0,31$
14.	Wadąg Myki	-	$2,65 \pm 0,35$	$2,81 \pm 0,36$
15.	Wielkie Partęczyny	-	$2,23 \pm 0,33$	$2,28 \pm 0,32$
16.	Drawsko Stare Drawsko	-	$1,92 \pm 0,34$	$3,04 \pm 0,38$
17.	Niesłysz Niesulice	-	$2,39 \pm 0,33$	$1,87 \pm 0,29$
18.	Rogóżno Rogóżno	-	$8,15 \pm 0,86$	$8,70 \pm 0,73$

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

W Tabeli 5 podano średnie roczne stężenia aktywności ^{90}Sr w wodach rzek i jezior. Z porównania danych w Tabelach 3 i 5 wynika, że stężenie ^{90}Sr było wyraźnie wyższe niż stężenie ^{137}Cs . Wystąpiły wyraźne spadki stężenia ^{90}Sr w 2007 roku w porównaniu do 2006 roku i jedynie w wodzie pobranej w Poznaniu można zauważyć niewielki wzrost w 2007 dwóch punktach poboru (Warta - Poznań i Odra - Chałupki).

Tabela 6. Średnie roczne stężenia ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2006 - 2008

Lokalizacja poboru próbek	2006 mBq l ⁻¹	2007 mBq l ⁻¹	2008 mBq l ⁻¹
Dorzecze Wisły	(7) ^{a)} 4,51 ± 0,92 ^{b)}	(14) 2,46 ± 0,52	(14) 3,26 ± 0,46
Dorzecze Odry	(5) 4,29 ± 0,92	(10) 3,50 ± 0,42	(10) 3,42 ± 0,35
Jeziora	-	(12) 2,79 ± 1,89	(12) 3,47 ± 2,59
Wszystkie wody (36)	(12) 4,42 ± 0,89 ^{c)}	(36) 2,36 ± 1,31	(36) 3,38 ± 1,45

a) Liczba próbek wody

b) Średnia ± OS

Tabela 7. Średni roczny stosunek stężenia $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2006 - 2008

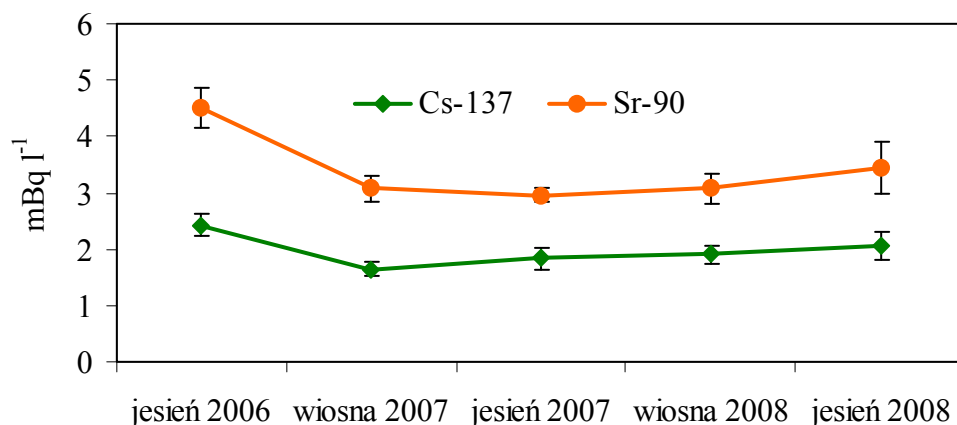
Lokalizacja poboru próbek	2006 $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$	2007 $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$	2008 $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$
Dorzecze Wisły	1,95 ± 0,71 ^{a)}	1,82 ± 0,44	1,76 ± 0,90
Dorzecze Odry	1,32 ± 0,17	1,42 ± 0,50	1,25 ± 0,38
Jeziora	-	1,45 ± 0,19	1,22 ± 0,55
Wszystkie wody	1,69 ± 0,63	1,56 ± 0,41	1,39 ± 0,36

a) Średnia ± OS

Średnie stosunki aktywności Sr-90 do Cs-137 w wodach dorzecza Wisły, Odry i w jeziorach w kolejnych latach monitoringu przedstawiono w Tabeli 7. Największe różnice w stężeniach obu radionuklidów miały miejsce w dorzeczu Wisły. Stosunek aktywności Sr-90

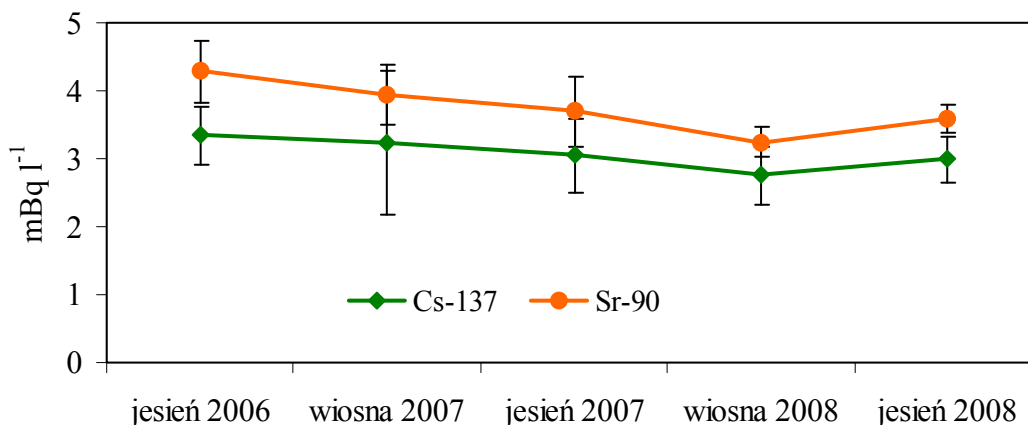
do Cs-137 w dorzeczu Wisły w kolejnych latach wynosił 1,96, 1,82 i 1,76 i był od ok. 30 do ok. 50% wyższy niż w dorzeczu Odry i w jeziorach. Wynika to z niższych stężeń ^{137}Cs w wodzie Wisły i jej dopływów w porównaniu z Odrą i jeziorami oraz wyrównanego poziomu ^{90}Sr .

Wyższe stężenia ^{90}Sr w wodach powierzchniowych w porównaniu do stężeń ^{137}Cs wynikają z większego wymywania tego radionuklidu przez wody opadowe z gleb do wód powierzchniowych niż ^{137}Cs . Cez i stront charakteryzują się innymi właściwościami fizycznymi i chemicznymi; należą do innych grup okresowych pierwiastków. W środowisku lądowym kationy cezu są mniej ruchliwe niż kationy strontu. ^{137}Cs jest silniej wiązany ze składnikami gleby i jest trudniej wymywany przez wody do rzek i jezior niż ^{90}Sr . W środowisku lądowym stężenie ^{137}Cs wielokrotnie przewyższa stężenie ^{90}Sr , gdyż próbną wybuchy jądrowe wprowadziły na półkulę Północną ok. 1,7 razy więcej ^{137}Cs niż ^{90}Sr , zaś awaria czarnobylska ok. 10 razy więcej ^{137}Cs niż ^{90}Sr . Otrzymane wyniki wskazują, że proces wymywania ^{90}Sr do zbiorników wodnych zachodzi również obecnie.

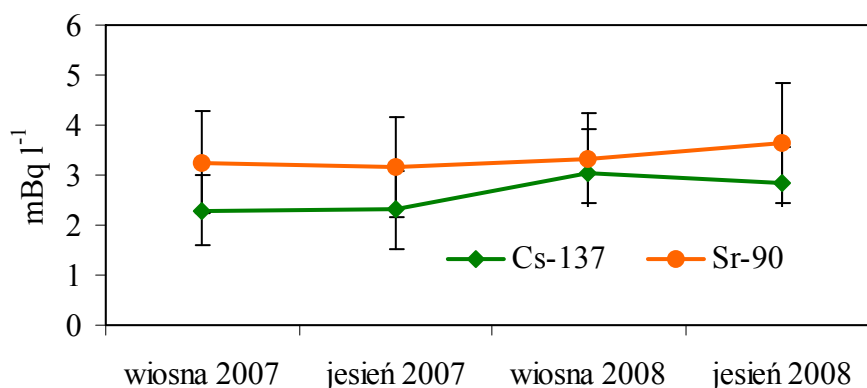


Rys. 2. Średnie stężenie ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły w latach 2006 – 2008

Na Rys. 2, Rys.3 i Rys. 4 przedstawiono odpowiednio średnie stężenia ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły, w dorzeczu Odry i w jeziorach pobranych w okresie wiosennym i jesiennym. Szczególnie duże różnice między stężeniem ^{137}Cs i ^{90}Sr są widoczne na Rys. 2, odnoszącym się do Wisły, Bugu i Narwi.



Rys. 3. Średnie stężenie ¹³⁷Cs i ⁹⁰Sr w wodach dorzecza Odry w latach 2006 - 2008



Rys. 4. Średnie stężenie ¹³⁷Cs i ⁹⁰Sr w wodach jezior w latach 2006 – 2008

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

Średnie roczne stężenia ¹³⁷Cs w próbkach osadów dennych pobranych w rzekach i w jeziorach przedstawiono w Tabeli 8. Podobnie jak w przypadku wody, w roku 2006 za średnią roczną przyjęto wyniki oznaczeń ¹³⁷Cs w osadach pobranych z rzek w okresie jesiennym, natomiast próbek z jezior nie pobierano. W górnym i środkowym biegu Wisły i we wszystkich punktach poboru w Odrze najwyższe stężenia zanotowano w 2008 roku. W jeziorach średnie roczne stężenia ¹³⁷Cs pozostawały na zbliżonym poziomie w pięciu jeziorach i tylko w Rogóźnie stężenie tego izotopu było w 2007 roku wyjątkowo wysokie. W Tabeli 9 podano średnie roczne stężenia ¹³⁷Cs w dorzeczu Wisły, Odry, jezior oraz średnią dla wszystkich badanych osadów. Podobnie jak w przypadku ¹³⁷Cs w wodach również i w osadach dennych średnie stężenie tego izotopu było najniższe w dorzeczu Wisły. W dorzeczu

Odry szczególnie wysokie średnie stężenie wystąpiło w dorzeczu Odry. Wysokie wartości odchyżeń standardowych świadczą o szerokim zakresie stężeń w obu dorzeczach i w jeziorach.

Tabela 8. Średnie roczne stężenia ^{137}Cs w sadach dennych dorzecza Wisły, dorzecza Odry i jezior w latach 2006 – 2008, Bq kg^{-1}

Lp.	Miejsce poboru próbki	2006 ^{137}Cs	2007 ^{137}Cs	2008 ^{137}Cs
1.	Wisła Kraków Tynec	$1,84 \pm 0,20^{\text{a}}$	$1,76 \pm 0,15$	$7,10 \pm 0,96^{\text{a}}$
2.	Wisła Annopol	$1,21 \pm 0,13$	$1,24 \pm 0,12$	$3,82 \pm 0,53$
3.	Wisła Warszawa	$0,56 \pm 0,07$	$1,88 \pm 0,14$	$2,14 \pm 0,31$
4.	Wisła Płock	$1,03 \pm 0,11$	$0,45 \pm 0,05$	$0,82 \pm 0,17$
5.	Wisła Kiezmark	$1,94 \pm 0,19$	$2,30 \pm 0,16$	$1,87 \pm 0,26$
6.	Narew Pułtusk	$7,64 \pm 0,71$	$6,19 \pm 0,49$	$9,80 \pm 1,77$
7.	Bug Wyszków	$2,07 \pm 0,20$	$1,17 \pm 0,09$	$3,48 \pm 0,51$
8.	Odra Chałupki	$12,2 \pm 1,141$	$20,8 \pm 1,53$	$27,2 \pm 3,53$
9.	Odra Wrocław	$1,19 \pm 0,19$	$1,02 \pm 0,08$	$2,09 \pm 0,33$
10.	Odra Głogów	$1,65 \pm 0,18$	$6,43 \pm 0,47$	$40,7 \pm 5,33$
11.	Odra Krajnik	$1,18 \pm 0,12$	$0,56 \pm 0,08$	$8,67 \pm 1,28$
12.	Warta Poznań	$1,21 \pm 0,13$	$1,62 \pm 0,12$	$1,47 \pm 0,23$
13.	Wigry Stary Folwark	-	$7,44 \pm 0,62$	$6,10 \pm 0,81$
14.	Wadąg Myki	-	$5,27 \pm 0,38$	$7,31 \pm 0,97$
15.	Wielkie Partęczyny	-	$9,98 \pm 0,69$	$10,3 \pm 1,34$
16.	Drawsko Stare Drawsko	-	$4,01 \pm 0,30$	$5,77 \pm 0,77$
17.	Niesłysz Niesulice	-	$7,91 \pm 0,55$	$6,52 \pm 0,86$
18.	Rogóżno Rogóżno	-	$71,8 \pm 4,85$	$32,9 \pm 4,23$

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

Tabela 9. Średnie roczne stężenia ^{137}Cs w osadach dennych Wisły, Odry i jezior w latach 2006 - 2008

Lokalizacja poboru próbek	2006 Bq kg ⁻¹	2007 Bq kg ⁻¹	2008 Bq kg ⁻¹
Dorzecze Wisły	(7) ^{a)} 2,43 ± 0,53 ^{b)}	(14) 2,14 ± 2,00	(14) 4,15 ± 3,20
Dorzecze Odry	(5) 3,34 ± 0,97	(10) 6,09 ± 4,75	(10) 17,5 ± 16,0
Jeziora	-	(12) 17,8 ± 8,95	(12) 11,5 ± 10,6
Średnia ogólna	(12) 2,81 ± 1,49	(36) 8,44 ± 8,09	(36) 8,87 ± 11,5

a) Liczba próbek wody

b) Średnia ± OS

Średnie roczne stężenia $^{239,240}\text{Pu}$ w próbkach osadów dennych pobranych w rzekach i w jeziorach przedstawiono w Tabeli 10. Przedstawione w Tabeli wyniki wskazują na bardzo niski poziom tych izotopów w osadach rzek i jezior. W ok. 70% próbek stężenie $^{239,240}\text{Pu}$ nie przekraczało 20 mBq/kg. W Wiśle jedynie w Annopolu obserwowano nieco zwiększone stężenie $^{239,240}\text{Pu}$ (31,4 mBq/kg w 2007 roku i 55,7 mBq/kg w 2008 roku). W Odrze, w Chałupkach i Głogowie stężenia wszystkich badanych przez izotopów są zazwyczaj wyższe niż w innych punktach poboru. Stężenie $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach pobranych w Chałupkach w 2007 roku osiągnęło wartość 101 mBq/kg, a w 2008 roku 86,7 mBq/kg, natomiast w Głogowie odpowiednio 38,7 i 78,3 mBq/kg. Spośród jezior wyróżnia się Rogóźno; średnie stężenie $^{239,240}\text{Pu}$ w obu latach monitoringu wynosiło w tym jeziorze ok. 40mBq/kg.

W Tabeli 11 przedstawiono średnie roczne stężenia $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych Wisły, Odry i jezior w latach 2006 – 2008. Średnie roczne stężenia wskazują na niewielki wzrost w kolejnych latach w dorzeczu Wisły i Odry oraz na niewielki spadek stężenia w jeziorach. Ze względu na duże wahania stężeń w tym samym punkcie poboru, przedstawione wyniki mogą wskazywać, że ciągle jeszcze $^{239,240}\text{Pu}$ jest obecny w rzekach i źródłem jego pochodzenia jest opad ogólnoswiatowy z lat pięćdziesiątych i początku lat sześćdziesiątych. Na podstawie monitoringu prowadzonego w latach 2006 – 2008 można stwierdzi, że opad czarnobylski był obecny w dorzeczu Wisły, w dorzeczu Odry stwierdzono obecność $^{239,240}\text{Pu}$ pochodzenia czarnobylskiego w Głogowie i Chałupkach ponadto w jeziorze je Rogóźno, Niesłysz i Wigry.

Tabela 10. Średnie roczne stężenia $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych dorzecza Wisły, dorzecza Odry i jezior w latach 2006 – 2008, mBq kg^{-1}

Lp.	Miejsce poboru próbki	2006 $^{239,240}\text{Pu}$	2007 $^{239,240}\text{Pu}$	2008 $^{239,240}\text{Pu}$
1.	Wisła Kraków Tyniec	$9,30 \pm 4,30^{\text{a}}$	$16,2 \pm 6,58$	$27,0 \pm 6,08$
2.	Wisła Annopol	$14,5 \pm 5,71$	$31,4 \pm 8,06$	$55,7 \pm 14,0$
3.	Wisła Warszawa	$13,7 \pm 5,46$	$4,61 \pm 2,19$	$14,6 \pm 4,88$
4.	Wisła Płock	$15,0 \pm 4,95$	$20,7 \pm 8,08$	$13,0 \pm 5,93$
5.	Wisła Kieźmark	$9,27 \pm 3,78$	$9,34 \pm 4,10$	$8,05 \pm 4,16$
6.	Narew Pułtusk	$15,3 \pm 4,83$	$10,4 \pm 3,13$	$14,8 \pm 6,17$
7.	Bug Wyszaków	$10,0 \pm 3,94$	$7,20 \pm 3,86$	$8,02 \pm 4,39$
8.	Odra Chałupki	$26,8 \pm 7,80$	$101 \pm 11,6$	$86,7 \pm 9,42$
9.	Odra Wrocław	$21,4 \pm 7,24$	$4,87 \pm 2,98$	$16,6 \pm 6,10$
10.	Odra Głogów	$16,9 \pm 4,26$	$38,7 \pm 5,74$	$78,3 \pm 11,0$
11.	Odra Krajnik	$13,7 \pm 4,70$	$6,22 \pm 3,26$	$15,7 \pm 6,88$
12.	Warta Poznań	$11,8 \pm 5,87$	$17,2 \pm 6,48$	$12,0 \pm 4,89$
13.	Wigry Stary Folwark	-	$25,7 \pm 8,35$	$9,41 \pm 5,16$
14.	Wadąg Myki	-	$10,6 \pm 5,02$	$26,9 \pm 11,4$
15.	Wielkie Partęczyny	-	$8,87 \pm 5,08$	$4,68 \pm 3,24$
16.	Drawsko Stare Drawsko	-	$6,51 \pm 4,11$	$9,24 \pm 3,25$
17.	Niesłysz Niesulice	-	$29,8 \pm 12,2$	$12,9 \pm 4,94$
18.	Rogóżno Rogóżno	-	$42,1 \pm 6,33$	$40,8 \pm 12,6$

^{a)} Wartość \pm CWN przy poziomie ufności 68%

Tabela 11. Średnie roczne stężenia $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych dorzecza Wisły, dorzecza Odry i jezior w latach 2006 – 2008, mBq kg^{-1}

Lp.	Lokalizacja poboru próbek	2006 $^{239,240}\text{Pu}$	2007 $^{239,240}\text{Pu}$	2008 $^{239,240}\text{Pu}$
1.	Dorzecze Wisły	(7) $9,30 \pm 4,30^{\text{a}}$	(14) $14,3 \pm 4,14$	(14) $20,2 \pm 16,9$
2.	Dorzecze Odry	(5) $14,5 \pm 5,71$	(10) $33,44 \pm 9,35$	(10) $41,8 \pm 37,2$
3.	Jeziora	-	(12) $20,6 \pm 4,92$	(12) $17,3 \pm 13,8$
4.	Średnia ogólna	(12) $14,8 \pm 5,11$	(36) $21,7 \pm 7,08$	(36) $25,2 \pm 24,4$

Tabela 12. Stężenie $^{239+240}\text{Pu}$ w osadach dennych pochodzącego z opadu globalnego (Glob.) i czarnobylskiego (Cz.) (mBq kg^{-1}) oraz udział plutonu czarnobylskiego (%) w latach 2006 – 2008

L.p.	Miejsce poboru Próbek	2006 Stężenie $^{239+240}\text{Pu}$			2007 Stężenie $^{239+240}\text{Pu}$			2008 Stężenie $^{239+240}\text{Pu}$		
		Glob.	Cz.	Udział %	Glob.	Cz.	Udział %	Glob.	Cz.	Udział %
1.	Wisła Kraków Tyniec				5,75	4,64	45	23,3	21,6	48
2.	Wisła Annapol	10,7	3,8	26	33,3	2,99	8	58,6 15,4	26,5 10,9	31 41
3.	Wisła Warszawa	8,07	5,63	41				16,8	4,57	21
4.	Wisła Płock							12,7	6,0	32
5.	Narew Pułtusk	6,35	3,65	37	11,3	5,25	32	9,9	5,4	35
6.	Bug Wyszaków	11,3	4,0	27						
7.	Odra Głogów							81,9 47,3	18,1 9,2	18 16
8.	Odra Chałupki				35,7 101	14,9 49,6	30 33	34,4 75,2	50,0 14,0	59 15
9.	Wigry Stary Folwark				14,5	5,80	29	6,24	7,96	56
10.	Rogóżno				18,3 46,8	5,20 13,9	22 23	51,4 12,5	8,75 8,9	14 42
11.	Niestysz				10,6 36,2	4,1 8,69	28 19			

Aktywność ^{137}Cs i ^{90}Sr , izotopów promieniotwórczych obecnych na obszarze Polski zmniejsza się w wyniku fizycznego rozpadu oraz w wyniku ich odpływu do Bałtyku. Ilości odpływających radionuklidów określono na podstawie stężeń w wodzie u ujścia Wisły i Odry oraz danych o wielkości odpływu wód tych rzek do Morza Bałtyckiego. Średni wieloletni odpływ wód Wisły oceniony został na $1080 \text{ m}^3/\text{sek}$, natomiast średni wieloletni odpływ wód Odry wynosi $574 \text{ m}^3/\text{sek}$. Odpływ Cs-137 i Sr-90 z wodami Wisły i Odry przedstawiono odpowiednio w Tabeli 13 i w Tabeli 14. W Tabeli podano również odpływ tych izotopów do Bałtyku w ciągu trzech kolejnych lat. Odpływ Cs-137 w 2006 roku wyniósł ok. 155 GBq, w 2007 roku – ok. 106 GBq i w 2008 – ok. 111GBq. W ciągu trzech kolejnych lat monitoringu sumaryczna aktywność odprowadzonego Cs –137 do Bałtyku wyniosła 372 GBq. Odpływ z obszaru Polski Sr-90 był większy niż Cs-137 i wyniósł w 2006 roku – ok. 183 GBq, w 2007 roku – ok. 153 GBq, w 2008 roku – ok. 158 GBq, a sumaryczna ilość Sr-90 wyniosła prawie 500 BGq.

Tabela 13. Odpływ ^{137}Cs do Morza Bałtyckiego z dorzecza Wisły i Odry w latach 2006 – 2006, GBq/rok

Lata	Odpływ do Morza Bałtyckiego z dorzeczy		Całkowity odpływ z obu dorzeczy
	Wisła	Odra	
2006	105 ± 10	50 ± 6	155 ± 11
2007	57 ± 11	49 ± 8	106 ± 14
2008	60 ± 12	51 ± 8	111 ± 14
2006 - 2008	222 ± 19	150 ± 13	372 ± 23

Tabela 14. Odpływ ^{90}Sr do Morza Bałtyckiego z dorzecza Wisły i Odry w latach 2006 – 2006, GBq/rok

Lata	Odpływ do Morza Bałtyckiego z dorzeczy		Całkowity odpływ z obu dorzeczy
	Wisła	Odra	
2006	215 ± 18	68 ± 8	183 ± 11
2007	89 ± 11	64 ± 8	153 ± 14
2008	103 ± 13	55 ± 7	158 ± 14
2006 - 2008	407 ± 25	187 ± 13	494 ± 28

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Monitoring skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych w latach 2006-2008 prowadzono w ramach Umowy nr 54/2006/F pomiędzy Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska z siedzibą w Warszawie, a Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej. 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.

W 2006 roku monitoring skażeń promieniotwórczych rzek i jezior rozpoczęto we wrześniu i z tego względu został on ograniczony do badania skażeń promieniotwórczych wody i osadów dennych pobranych jedynie w rzekach (12 punktów poboru). W kolejnych dwóch latach próbki wody i osadów dennych pobierano w 18 punktach, usytuowanych w dorzeczu Wisły (7 punktów), w dorzeczu Odry (5 punktów) i w jeziorach (6 punktów). Próbkę wody i osadów dennych pobierano w następujących terminach: w 2006 roku od 7 września do 20 października, w 2007 roku: wiosna - od 12 kwietnia do 20 czerwca, jesień - od 19 września do 7 listopada, 2008 rok – wiosna od 23 kwietnia do 19 czerwca, jesień - od 19 września do 8 listopada.

Wnioski z przeprowadzonych oznaczeń ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach oraz ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$ i ^{238}Pu w osadach dennych są następujące:

1. Najwyższe stężenia ^{137}Cs w wodach zanotowano w 2006 roku (Tabela 3). Średnie stężenia ^{137}Cs w próbkach pobranych w 2007 i 2008 roku były zbliżone. W ciągu kolejnych trzech lat monitoringu najniższe stężenia zanotowano w dorzeczu Wisły, a najwyższe w dorzeczu Odry, szczególnie w latach 2006 i 2007. W jeziorach i w dorzeczu Odry w 2008 roku stężenia ^{137}Cs były praktycznie takie same (Tabela 4).
2. Stężenie ^{90}Sr było wyraźnie wyższe niż stężenie ^{137}Cs . Wystąpiły wyraźne spadki stężenia ^{90}Sr w 2007 roku w porównaniu do 2006 roku i jedynie w wodzie pobranej w Poznaniu można zauważyć niewielki wzrost w 2007 dwóch punktach poboru (Warta - Poznań i Odra - Chałupki) (Tabela 5).
3. Największe różnice w stężeniach Sr-90 i Cs-137 wystąpiły w dorzeczu Wisły. Stosunek aktywności Sr-90 do Cs-137 w dorzeczu Wisły w kolejnych latach wynosił 1,96, 1,82 i 1,76 i był od ok. 30 do ok. 50% wyższy niż w dorzeczu Odry i w jeziorach. Wynika to z niższych stężeń ^{137}Cs w wodzie Wisły i jej dopływów w porównaniu z Odrą i jeziorami oraz wyrównanego poziomu ^{90}Sr . Wyższe stężenia ^{90}Sr w wodach powierzchniowych w porównaniu do stężeń ^{137}Cs są

efektem większego wymywania tego radionuklidu przez wody opadowe z gleb do wód powierzchniowych niż ^{137}Cs .

4. W osadach dennych, podobnie jak w przypadku ^{137}Cs w wodach, średnie stężenie tego izotopu było najniższe w dorzeczu Wisły. W górnym i środkowym biegu Wisły i we wszystkich punktach poboru w Odrze najwyższe stężenia zanotowano w 2008 roku. W jeziorach średnie roczne stężenia ^{137}Cs pozostawały na zbliżonym poziomie w pięciu jeziorach i tylko w Rogóźnie stężenie tego izotopu było w 2007 roku wyjątkowo wysokie. Średnie roczne stężenia wskazują na niewielki wzrost w kolejnych latach w dorzeczu Wisły i Odry oraz na niewielki spadek stężenia w jeziorach (Tabela 8).
5. Źródłem $^{239,240}\text{Pu}$ w środowisku w Polsce jest opad ogólnoswiatowy z lat pięćdziesiątych i początku lat sześćdziesiątych oraz opad po awarii reaktora w Czarnobylu. Na podstawie oznaczeń $^{239,240}\text{Pu}$ i ^{238}Pu w osadach dennych stwierdzono, że pluton z opadu czarnobylskiego był obecny głównie w dorzeczu Wisły i jego udział w opadzie wynosił od 8 do 48%. W dorzeczu Odry jedynie w Głogowie i w Chałupkach stwierdzono występowanie plutonu pochodzącego z awarii czarnobylskiej (od 15 do 59%). W trzech jeziorach (Wigry, Rogóźno, Niestysz) udział $^{239,240}\text{Pu}$ czarnobylskiego wynosił od 19 do 56%, w pozostałych jeziorach był to $^{239,240}\text{Pu}$ pochodzący z opadu ogólnoswiatowego.
6. Aktywność ^{137}Cs i ^{90}Sr odpływającego z wodami Wisły i Odry z terytorium Polski do Morza Bałtyckiego została oceniona na podstawie stężeń tych radionuklidów w wodzie u ujścia Wisły (Kieźmark) i Odry (Krajnik) oraz danych o wielkości odpływu wód tych rzek do Morza Bałtyckiego. Odpływ ^{137}Cs z obu dorzeczy w 2006 roku wyniósł ok. 155 GBq, w 2007 roku – ok. 106 GBq i w 2008 – ok. 111 GBq. W ciągu trzech kolejnych lat monitoringu sumaryczna aktywność odprowadzonego ^{137}Cs do Bałtyku wyniosła 372 GBq. Odpływ z obszaru Polski ^{90}Sr był większy niż Cs-137 i wyniósł w 2006 roku – ok. 183 GBq, w 2007 roku – ok. 153 GBq, w 2008 roku – ok. 158 GBq, a sumaryczna ilość Sr-90 wyniosła prawie 500 BGq.
7. 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.

8. Wyniki przeprowadzonych badań pozwalają stwierdzić, że nie wystąpiły nowe uwolnienia izotopów promieniotwórczych do środowiska.