

**MONITORING PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO REALIZOWANY W
RAMACH PAŃSTWOWEGO MONITORINGU ŚRODOWISKA**

ZADANIE 2:

**MONITORING SKAŻEŃ PROMIENIOTWÓRCZYCH WÓD
POWIERZCHNIOWYCH I OSADÓW DENNYCH**

ETAP II

Raport

Rok 2016

M. Kardaś, A. Fulara, M. Suplińska, B. Rubel, K. Pachocki, E. Starościak A. Adamczyk



Opracowanie wykonano na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (umowa nr 55/F/2015 z dnia 16.12.2015r.) finansowane ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej



Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej

Kwiecień 2017

WSTĘP

Celem pracy było oznaczenie skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych. W ramach Programu Monitoringu oznaczono ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach oraz ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$ i ^{238}Pu w osadach dennych.

Próbki wody i osadów dennych pobierano w 18 punktach, usytuowanych w dorzeczu Wisły (7 punktów), w dorzeczu Odry (5 punktów) i w sześciu jeziorach. Terminy poboru próbek w roku 2016 były następujące:

1. Termin wiosenny – od 14 kwietnia do 22 maja;
2. Termin jesienny - od 22 września do 28 października.

1. LOKALIZACJA PUNKTÓW POMIAROWYCH Z PRZEDSTAWIENIEM NA MAPIE.

Usytuowanie miejsc poboru próbek przedstawia Rys. 1, a wykaz punktów poboru wody i osadów dennych oraz współrzędne geograficzne miejscowości, w których pobierano próbki podano w Tabeli 1 i 2.



Rys. 1. Usytuowanie miejsc poboru wód i osadów dennych.

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

Jezioro i miejsce poboru	Województwo	Data poboru próbek wiosna 2016	Data poboru próbek jesień 2016	Długość geograficzna wschodnia DMS	Szerokość geograficzna północna DMS
Drawsko, Stare Drawsko	<i>zachodnio-pomorskie</i>	12.05	14.10	16°11'51"	53°36'08"
Wadąg, Myki	<i>warmińsko-mazurskie</i>	05.04	22.09	20°32'35"	53°49'10"
Partęczyny, Wielkie Partęczyny	<i>kujawsko-pomorskie</i>	06.04	23.09	19°13'02"	53°28'13"
Rogóźno, Rogóźno	<i>lubelskie</i>	09.05	11.10	22°59'25"	51°22'03"
Niesłysz, Niesulice	<i>lubuskie</i>	06.05	12.10	15°24'05"	52°12'41"
Wigry, Stary Folwark	<i>podlaskie</i>	05.04	22.09	23°03'24"	54°05'07"

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

Rzeka	Miejsce poboru próbek	Data poboru próbek wiosna 2016	Data poboru próbek jesień 2016	Długość geograficzna wschodnia DMS	Szerokość geograficzna północna DMS
Wisła	Kraków Tyniec	09.05	11.10	20°10'48"	50°42'50"
	Annopol	09.05	11.10	21°51'33"	50°53'10"
	Warszawa	28.04	28.10	21°00'59"	52°14'07"
	Płock	06.04	23.09	19°41'52"	52°32'50"
	Kieźmark	06.04	23.09	18°55'51"	54°15'14"
Narew	Pultusk	05.04	22.09	21°05'08"	52°42'18"
Bug	Wyszków	05.04	22.09	21°27'22"	52°36'10"
Odra	Chałupki	10.05	12.10	18°19'10"	49°55'22"
	Wrocław	10.05	12.10	17°02'12"	51°06'34"
	Głogów	10.05	12.10	16°04'55"	51°39'11"
	Krajnik	11.05	13.10	14°28'50"	53°11'44"
Warta	Poznań	12.05	14.10	16°55'21"	52°24'30"

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

Pobór próbek i wstępna preparatyka

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

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

Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych, ^{90}Sr w wodach i ^{238}Pu i $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych oznaczano zgodnie z metodami akredytowanymi.

W celu zapewnienia jakości laboratorium bierze udział w porównaniach między laboratoryjnych krajowych i zagranicznych osiągając bardzo dobre wyniki.

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

Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{90}Sr oznaczano w tej samej próbce. Metoda oznaczania ^{137}Cs polega na selektywnej sorpcji cezu na złożu fosforomolibdenianu amonu (AMP) i pomiarze aktywności β preparatu. Do oznaczenia stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr stosowano metodę polegającą na oznaczeniu ^{90}Y , krótko żyłowego izotopu ($T_{1/2}$ - 64,2 h) powstającego w wyniku rozpadu ^{90}Sr . Analizę prowadzono w obecności, ^{85}Sr , co pozwoliło na określenie wydajności ^{90}Sr . Wydajność radiochemiczna oznaczeń stężenia promieniotwórczego, ^{90}Sr wynosiła od 76 do 100%.

Do pomiaru aktywności ^{137}Cs i ^{90}Sr stosowano niskotłowy zestaw aparaturowy, produkcji duńskiej, oparty na licznikach przepływowych GM (Riso GM-25-5) o biegu własnym około 0,2 imp/min. Kalibrację aparatury prowadzono za pomocą roztworów wzorcowych ^{137}Cs i ^{90}Sr . Wzorce do kalibracji aparatury wykonywano w taki sam sposób jak analizowane próbki.

Wydajność osadzania ^{137}Cs na złożu AMP wynosi ok. 99%, a jego granica oznaczalności dla czasu pomiaru 180 min wynosi 0,32 mBq/l. Granica oznaczalności stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr dla czasu pomiaru 120 min wynosi 0,45 mBq/l.

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

Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych oznaczano metodą spektrometrii gamma. Po wstępnej preparatyce naważki osadu przenoszono do pojemników typu Marinelli o objętości 450 ml i umieszczano w układzie pomiarowym.

Stosowany do pomiaru spektrometr składa się z detektora germanowego (HP Ge) znajdującego się w ołowianym domku 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 stężenia promieniotwórczego $^{239,240}\text{Pu}$ i ^{238}Pu polega na wydzieleniu plutonu z badanej próbki, elektrodepozycji i pomiarze aktywności metodą α -spektrometryczną. Analizę prowadzono w obecności znacznika (^{242}Pu), co pozwala na określenie wydajności chemicznej i wydajności pomiaru. Pluton wydzielano z próbki stosując wymianę jonową, a następnie prowadzono elektrodepozycję plutonu na krążkach stalowych. Aktywność izotopów plutonu mierzono metodą spektrometrii alfa. Układ pomiarowy składał się z detektorów krzemowych typu PIPS (implantowane, płaskie o pasywowanej powierzchni) umieszczonych w komorach próżniowych i połączonych z analizatorem wielokanałowym Multiport II MCA (Canberra MP2-GE) z oprogramowaniem spektrometrycznym GENIE 2000. Pomiar prowadzono przez 164000 s, granica detekcji wynosiła 0,2 mBq/ próbkę.

3. ANALIZA WYNIKÓW OZNACZEŃ STĘŻEŃ ^{137}Cs I ^{90}Sr W PRÓBKACH WODY POBRANEJ W PUNKTACH BADAWCZYCH W 2016 ROKU.

3.1. Ocena zawartości ^{137}Cs w wodach badanych rzek z uwzględnieniem podziału na dorzecza.

W Tabeli 3. przedstawione są stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w próbkach wody z poszczególnych miejsc poboru próbek w rzekach w okresie wiosennym i jesiennym 2016 roku oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu. Średnie stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach rzek mieściły się w granicach od 1,41 mBq/l w Wiśle (Kiezmark) do 4,11 mBq/l w Wiśle (Tyniec). Zakres średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs dla dorzecza Odry mieścił się w przedziale od 2,71 (Warta, Poznań) do 3,60 mBq/l (Odra, Chałupki) a, dla dorzecza Wisły od 1,41 (Wisła, Kiezmark) do 4,11 mBq/l (Wisła, Tyniec)

Tabela 3. Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach Wisły, Odry i ich dopływów w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2016 r.

Lp.	Miejsce poboru próbki	^{137}Cs , wiosna mBq l ⁻¹	^{137}Cs , jesień, mBq l ⁻¹	^{137}Cs , średnia roczna mBq l ⁻¹
DORZECZE WISŁY				
1.	Wisła Kraków Tyniec	4,24 ± 0,48 ^{a)}	3,97 ± 0,46 ^{a)}	4,11 ± 0,19 ^{b)}
2.	Wisła Annopol	1,15 ± 0,17	3,10 ± 0,36	2,13 ± 1,38
3.	Wisła Warszawa	1,87 ± 0,25	0,95 ± 0,16	1,41 ± 0,65
4.	Wisła Płock	2,67 ± 0,32	2,75 ± 0,34	2,71 ± 0,06
5.	Wisła Kiezmark	2,09 ± 0,27	0,92 ± 0,15	1,51 ± 0,83
6.	Narew Pułtusk	2,56 ± 0,31	1,45 ± 0,20	2,01 ± 0,78
7.	Bug Wyszków	1,24 ± 0,18	1,86 ± 0,25	1,55 ± 0,44
DORZECZE ODRY				
8.	Odra Chałupki	2,97 ± 0,36	4,23 ± 0,47	3,60 ± 0,89
9.	Odra Wrocław	1,94 ± 0,21	2,84 ± 0,35	2,39 ± 0,64
10.	Odra Głogów	3,19 ± 0,38	3,27 ± 0,38	3,23 ± 0,06
11.	Odra Krajnik	1,97 ± 0,26	3,76 ± 0,43	2,87 ± 1,27
12.	Warta Poznań	2,67 ± 0,33	2,74 ± 0,34	2,71 ± 0,05

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

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

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

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

Najwyższą wartość stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr odnotowano w próbce wody pobranej jesienią z Warty w Poznaniu – 11,56 mBq/l, najniższą zaś w próbce wody pobranej jesienią z Bugu w Wyszkanie – 2,03 mBq/l. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach badanych rzek wahało się od 3,07 mBq/l w wodzie z Bugu (Wyszkanie) do 7,16 mBq/l w wodzie pobranej z Warty w Poznaniu. Zakres średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr wynosi odpowiednio: dla dorzecza Wisły od 3,07 do 4,37 mBq/l, dla dorzecza Odry od 3,31 do 7,16 mBq/l.

Tabela 4. Stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły i Odry w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2016 r.

Lp.	Miejsce poboru próbki	^{90}Sr , wiosna mBq l ⁻¹	^{90}Sr , jesień, mBq l ⁻¹	^{90}Sr średnia roczna mBq l ⁻¹
DORZECZE WISŁY				
1.	Wisła Kraków Tyniec	3,47 ± 0,55	4,68 ± 1,01	4,08 ± 0,86 ^{b)}
2.	Wisła Anopol	3,77 ± 0,60	4,96 ± 1,07	4,37 ± 0,84
3.	Wisła Warszawa	3,73 ± 0,68	3,25 ± 0,70	3,49 ± 0,34
4.	Wisła Płock	3,85 ± 0,60	2,61 ± 0,56	3,23 ± 0,88
5.	Wisła Kiezmark	3,41 ± 0,71	3,13 ± 0,67	3,27 ± 0,20
6.	Narew Pułtusk	3,22 ± 0,58	4,28 ± 0,95	3,75 ± 0,75
7.	Bug Wyszkanie	4,11 ± 0,61	2,03 ± 0,44	3,07 ± 1,47
DORZECZE ODRY				
8.	Odra Chałupki	3,30 ± 0,70	3,49 ± 0,75	3,40 ± 0,13
9.	Odra Wrocław	3,35 ± 0,35	3,51 ± 0,376	3,43 ± 0,11
10.	Odra Głogów	4,01 ± 0,69	4,07 ± 0,87	4,04 ± 0,04
11.	Odra Krajnik	4,18 ± 0,75	2,43 ± 0,53	3,31 ± 1,24
12.	Warta Poznań	2,75 ± 0,44	11,56 ± 2,50	7,16 ± 6,23

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

3.3. Ocena zawartości ^{137}Cs w wodach badanych jezior.

Stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w próbkach wody z poszczególnych miejsc poboru próbek w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym 2016 roku oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu przedstawiono w Tabeli 5. Stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs oznaczone w wodach jezior mieściły się w granicach od 0,74 mBq/l jesienią w jeziorze Drawsko do 4,60 mBq/l w jeziorze Rogóžno wiosną. Zakres średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs wynosił od 1,17 mBq/l w jeziorze Drawsko do 3,35 mBq/l w jeziorze Rogóžno. Podobnie jak w latach ubiegłych najwyższą średnią wartość stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs zanotowano w próbkach wody z jeziora Rogóžno. Wpływ na poziom badanych pierwiastków może mieć ilość i rodzaj cieków wodnych wpływających do jeziora tym bardziej, że jezioro Rogóžno nie jest jeziorem przepływowym. Jednocześnie jest pochodzenia krasowego, a takie jeziora często charakteryzują się obecnością osadów nieprzepuszczalnych. Mogą być to powody kumulację badanych nuklidów.

Tabela 5. Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2016 r.

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	2,31 ± 0,29 ^{a)}	1,80 ± 0,24 ^{a)}	2,06 ± 0,36 ^{b)}
2	Wadąg Myki	1,66 ± 0,23	1,98 ± 0,26	1,82 ± 0,23
3	Wielkie Partęczyny Partęczyny	2,14 ± 0,27	1,12 ± 0,17	1,63 ± 0,72
4	Drawsko Stare Drawsko	1,59 ± 0,22	0,74 ± 0,13	1,17 ± 0,60
5	Niesłysz Niesulice	3,25 ± 0,39	2,23 ± 0,28	2,74 ± 0,72
6	Rogóžno Rogóžno	4,60 ± 0,51	2,10 ± 0,27	3,35 ± 1,77

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

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

3.4. Ocena zawartości ^{90}Sr w wodach badanych jezior.

Tabela 6. Stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2016.r.

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	$1,95 \pm 0,40^{\text{a}}$	$1,96 \pm 0,42^{\text{a}}$	$1,96 \pm 0,01^{\text{b}}$
2	Wadąg Myki	$2,86 \pm 0,45$	$0,78 \pm 0,17$	$1,82 \pm 1,47$
3	Wielkie Partęcz. Partęczyny	$2,40 \pm 0,43$	$2,46 \pm 0,53$	$2,43 \pm 0,04$
4	Drawsko Stare Drawsko	$2,88 \pm 0,52$	$2,84 \pm 0,61$	$2,85 \pm 0,04$
5	Niesłysz Niesulice	$3,84 \pm 0,57$	$3,83 \pm 0,83$	$3,84 \pm 0,01$
6	Rogóżno Rogóżno	$9,43 \pm 1,71$	$9,46 \pm 2,04$	$9,45 \pm 0,02$

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

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

Stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach z poszczególnych miejsc poboru w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym 2016 roku oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu przedstawiono w Tabeli 6.

Najwyższą wartość stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr odnotowano w próbce wody pobranej jesienią z jeziora Rogóżno – $9,46 \text{ mBq/l}$, najniższą zaś w próbce wody pobranej również jesienią z jeziora Wadąg – $0,78 \text{ mBq/l}$. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach badanych jezior wahało się od $1,82 \text{ mBq/l}$ w wodzie z jeziora Wadąg do $9,45 \text{ mBq/l}$ w wodzie pobranej w Rogóżnie. Podobnie jak w przypadku ^{137}Cs , najwyższe wartości średnie stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr zanotowano w próbkach wody z jeziora Rogóżno.

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

Średnie stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs dla wód dorzecza Wisły, dorzecza Odry i jezior, pobieranych w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenia promieniotwórcze przedstawiono w Tabeli 7.

Najniższe średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs oznaczono w wodach jeziornych w okresie jesiennym i wynosiło 2,08 mBq/l, najwyższe zaś również jesienią w dorzeczu Odry – 3,37 mBq/l.

Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach dorzeczy Wisły oraz Odry i jezior wynosiły odpowiednio: 2,20; 2,96; 2,13 mBq/l. Najmniejsze różnice w stężeniach promieniotwórczych ^{137}Cs odnotowano dla wód dorzecza Odry, największe dla jezior.

Tabela 7. Średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego izotopu w 2016 r.

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)}	2,26 ± 1,05 ^{a)}	2,14 ± 1,16 ^{b)}	2,20 ± 1,07 ^{b)} (14)	0,92 – 4,24
Dorzecze Odry (5)	2,55 ± 0,57	3,37 ± 0,63	2,96 ± 0,71 (10)	1,94 – 4,23
Jeziora (6)	2,59 ± 0,94	2,08 ± 1,35	2,13 ± 1,00 (12)	1,23 – 4,87
Średnia ogólna (18)	2,45 ± 0,94	2,46 ± 1,20	2,39 ± 1,00 (36)	0,92 – 4,87

^{a)} Liczba próbek wody

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

3.6. Porównanie zawartości ^{90}Sr w wodach badanych rzek z zawartościami notowanymi w jeziorach.

Tabela 8. Średnie stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego izotopu w 2016 r.

Lokalizacja poboru próbek	^{90}Sr mBq l ⁻¹ wiosna	^{90}Sr mBq l ⁻¹ jesień	^{90}Sr mBq l ⁻¹ średnia roczna	^{90}Sr mBq l ⁻¹ zakres
Dorzecze Wisły (7) ^{a)}	3,65 ± 0,30 ^{b)}	3,56 ± 1,10 ^{b)}	3,61 ± 0,78 ^{b)} (14)	2,03 – 4,96
Dorzecze Odry (5)	3,52 ± 0,58	5,01 ± 3,73	4,27 ± 2,62 (10)	2,43 – 11,56
Jeziora (6)	3,89 ± 2,79	3,55 ± 3,06	3,72 ± 2,80 (12)	1,87 – 9,01
Średnia ogólna (18)	3,70 ± 1,55	3,96 ± 2,62	3,83 ± 2,13 (36)	1,87 – 11,56

^{a)} Liczba próbek wody

^{b)} Wartość średnia ± OS

Średnie stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w próbkach wody zawierały się w przedziale od 3,52 (dorzecze Odry, wiosna) do 5,01 mBq/l (dorzecze Odry, jesień). Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w dorzeczu Wisły i Odry wynosiło odpowiednio 3,61 mBq/l i 4,27 mBq/l, a w jeziorach 3,72 mBq/l (Tabela 8.). Najmniejsze różnice w stężeniach ^{90}Sr (zakres 2,03 – 4,96 mBq/l), odnotowano dla wód dorzecza Wisły, największe dla dorzecza Odry (zakres 2,43 – 11,56 mBq/l).

3.7. Analiza zależności pomiędzy zawartościami ^{137}Cs i ^{90}Sr w próbkach badanych w danym roku.

Stosunek średnich stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr do ^{137}Cs prawie we wszystkich próbkach wody pobranej z rzek był większy od jedności (1,00-2.65), jedynie w trzech próbkach był mniejszy od jedności (0,99, 0,94 i 0,95).. Średnie roczne wartości stosunku stężenia ^{90}Sr do ^{137}Cs w wodach dorzecza Wisły, dorzecza Odry i jezior przedstawiono w Tabeli 9.

Tabela 9. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior oraz stosunek średnich rocznych stężeń w 2016 r.

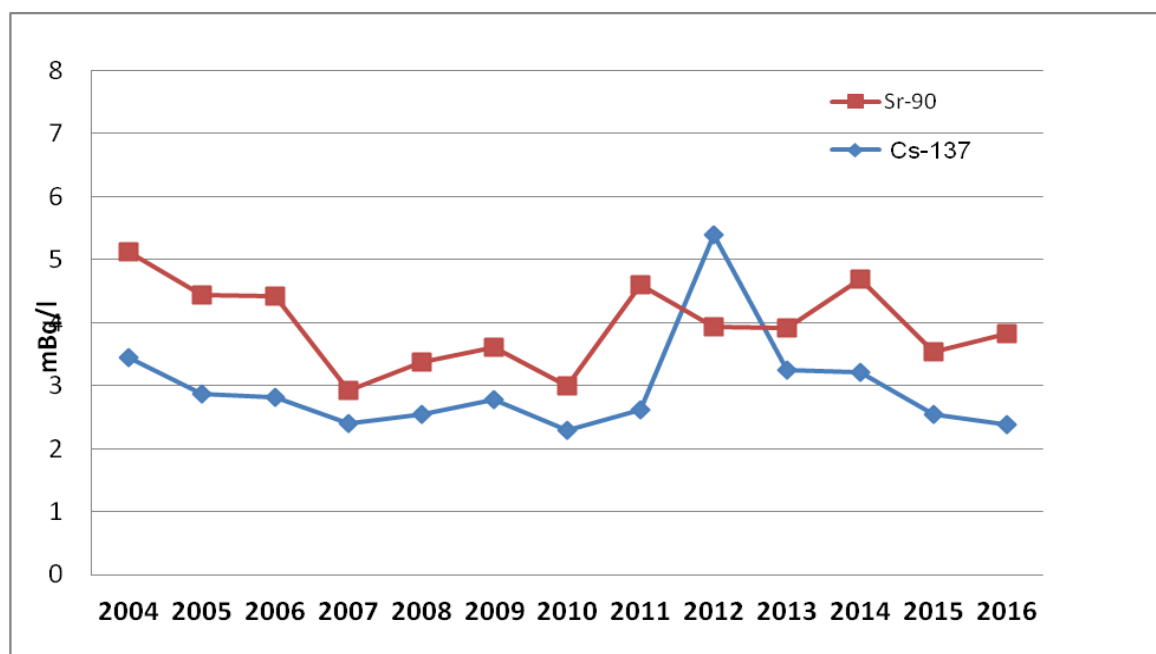
Lokalizacja poboru próbek	^{137}Cs mBq l ⁻¹ średnia roczna	^{90}Sr mBq l ⁻¹ średnia roczna	$\frac{^{90}\text{Sr}}{^{137}\text{Cs}}$
Dorzecze Wisły (7) ^{a)}	2,20 ± 1,07 ^{b)} (14)	3,61 ± 0,78 ^{b)} (14)	1,64
Dorzecze Odry (5)	2,96 ± 0,71 (10)	4,27 ± 2,62 (10)	1,44
Jeziora (6)	2,13 ± 1,00 (12)	3,72 ± 2,80 (12)	1,75
Średnia ogólna (18)	2,39 ± 1,00 (36)	3,83 ± 2,13 (36)	1,60

^{a)} Liczba próbek wody

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

Rysunek 2 przedstawia czasowy przebieg średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach rzek i jezior w latach 2004 – 2016. Podane wartości są średnimi arytmetycznymi z oznaczeń poszczególnych radionuklidów w próbkach wody pobranych w kolejnych latach monitoringu. Najwyższy średni poziom stężeń promieniotwórczych badanych radionuklidów zanotowano w pierwszym roku

obserwacji. W kolejnych latach średni poziom ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach nieznacznie ulegał zmianom – pozostając na niskim poziomie. Zawartość ^{90}Sr w wodach była na ogół wyższa niż zawartość ^{137}Cs z wyjątkiem roku 2012. Należy jednak zauważyć, że najniższe wartości rocznych średnich stężeń promieniotwórczych dla obu radionuklidów uzyskano w latach 2007 i 2010, gdzie miały miejsce wiosenne powodzie w naszym kraju. Możemy zatem przypuszczać, że duże masy wody spowodowały rozcieńczenie oznaczanych izotopów. To przypuszczenie potwierdzają również wyższe stężenia ^{137}Cs i ^{90}Sr uzyskane w 2011 i 2012 roku, gdzie pobór prób odbywał się przy niskich i bardzo niskich poziomach wód. W ostatnich latach stężenie promieniotwórcze zarówno ^{137}Cs jak i ^{90}Sr utrzymuje się na tym samym poziomie biorąc pod uwagę błąd oznaczenia wynoszący ok.15%.



Rys.2. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach rzek i jezior w Polsce w latach 2004 – 2016.

4. ANALIZA WYNIKÓW OZNACZEŃ STĘŻEŃ ^{137}Cs , ^{238}Pu I $^{239,240}\text{Pu}$ W ODSADACH DENNYCH POBRANYCH W PUNKTACH BADAWCZYCH W 2016 ROKU.
4.1. Ocena zawartości ^{137}Cs w osadach dennych badanych rzek z uwzględnieniem podziału na dorzecza.
Tabela 10. Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych dorzecza Wisły i Odry w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2016 r.

Lp.	Miejsce poboru próbki	^{137}Cs , wiosna Bq kg^{-1}	^{137}Cs , jesień, Bq kg^{-1}	^{137}Cs , średnia roczna Bq kg^{-1}
DORZECZE WISŁY				
1.	Wisła Kraków Tyniec	$5,23 \pm 0,86$	$6,42 \pm 0,17$	$5,83 \pm 0,84^{\text{b)}$
2.	Wisła Anopol	$2,64 \pm 0,13$	$4,61 \pm 0,12$	$3,63 \pm 1,39$
3.	Wisła Warszawa	$8,76 \pm 0,37$	$7,78 \pm 0,17$	$8,26 \pm 0,71$
4.	Wisła Płock	$0,25 \pm 0,06$	$0,24 \pm 0,13$	$0,25 \pm 0,01$
5.	Wisła Kieźmark	$5,56 \pm 0,31$	$1,03 \pm 0,06$	$3,30 \pm 3,20$
6.	Narew Pułtusk	$15,28 \pm 0,76$	$4,93 \pm 0,12$	$10,11 \pm 7,32$
7.	Bug Wyszków	$4,92 \pm 0,69$	$0,43 \pm 0,12$	$2,68 \pm 3,18$
DORZECZE ODRY				
8.	Odra Chałupki	$8,59 \pm 0,89$	$14,45 \pm 0,38$	$11,56 \pm 4,16$
9.	Odra Wrocław	$1,51 \pm 0,08$	$0,84 \pm 0,08$	$1,18 \pm 0,48$
10.	Odra Głogów	$6,81 \pm 0,54$	$1,88 \pm 0,10$	$4,35 \pm 3,49$
11.	Odra Krajnik	$2,70 \pm 0,15$	$0,46 \pm 0,05$	$1,58 \pm 1,58$
12.	Warta Poznań	$0,89 \pm 0,13$	$0,88 \pm 0,20$	$0,89 \pm 0,01$

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

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

W Tabeli 10 przedstawiono stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych Wisły, Odry ich dopływów w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu. Najwyższe stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs były oznaczone wiosną w osadzie pobranym z Narwi w Pułtusku ($15,28 \text{ Bq/kg}$) i jesienią w osadzie pobranym z Odry w Chałupkach ($14,45 \text{ Bq/kg}$). Pomimo, że są kilkakrotnie wyższe

od najniższych wartości przedstawionych w tabeli pozostają jednak na niskim poziomie i nie odbiegają od wyników otrzymywanych w poprzednich latach. Sporadycznie otrzymywane podwyższone wartości dla pojedynczych pomiarów mogą być spowodowane zmianą składu osadów nanoszonych w miejscach poboru prób.

Najniższe stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs było oznaczone jesienią w osadzie pobranym z Wisły w Płocku (0,24 Bq/kg). Średnie roczne stężenia promieniotwórcze tego izotopu zawierały się w granicach od 0,25 Bq/kg do 11,56 Bq/kg i odnosiły się odpowiednio do osadów pobranych na Wiśle w Płocku i na Odrze w Chałupkach. Zawartości ^{137}Cs otrzymywane dla większości punktów wiosną są nawet kilkakrotnie wyższe niż jesienią. Tendencja ta jest obserwowana od wielu lat.

4.2. Ocena zawartości ^{238}Pu i $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych badanych rzek z uwzględnieniem podziału na dorzecza.

Stężenie promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych pobranych w okresie wiosennym i jesiennym w dorzeczu Wisły i Odry oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze powyższych izotopów przedstawia Tabela 11.

Wartości średnich rocznych stężeń promieniotwórczych $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych zawierają się w granicach od 4,71 mBq/kg w osadzie z Wisły (Płock) do 102,53 mBq/kg również w osadzie z Odry (Chałupki). Najwyższe stężenia promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ były oznaczone jesienią w osadzie pobranym z Wisły w Annopolu (120,2 mBq/kg) i w osadzie pobranym z Odry w Chałupkach (167,05 mBq/kg). Odnotowane wyższe wartości nie świadczą o zmianie warunków radiologicznych obserwowanych od wielu lat. Mogą jednak sugerować zmianę składu osadów nanoszonych w miejscach poboru prób w poszczególnych okresach badań.

Stężenie promieniotwórcze ^{238}Pu w osadach dennych (podobnie jak w roku ubiegłym) było w większości przypadków mniejsze od granicy detekcji (2 mBq/kg). W przypadku dorzeczy Wisły i Odry ^{238}Pu został oznaczony tylko w 2 z 24 pobranych próbek osadów, a był to osady pobrane jesienią w Warszawie ($2,43 \pm 0,77$ mBq/kg) i Chałupkach ($4,87 \pm 1,51$ mBq/kg)

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

Tabela 11. Stężenie promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dorzecza Wisły i Odry w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2016 r.

Lp.	Miejsce poboru próbki	$^{239,240}\text{Pu}$ wiosna mBq kg^{-1}	$^{239,240}\text{Pu}$ jesień mBq kg^{-1}	$^{239,240}\text{Pu}$ średnia roczna mBq kg^{-1}
DORZECZE WISŁY				
1.	Wisła Kraków Tyniec	$33,75 \pm 2,69^{\text{a}}$	$32,15 \pm 3,01^{\text{a}}$	$32,95 \pm 1,13^{\text{b}}$
2.	Wisła Annopol	$35,06 \pm 3,51$	$120,02 \pm 7,45$	$77,54 \pm 60,08$
3.	Wisła Warszawa	$98,97 \pm 5,39$	$69,60 \pm 4,07$	$84,29 \pm 20,77$
4.	Wisła Płock	$8,56 \pm 2,49$	<2	$4,71 \pm 5,44$
5.	Wisła Kiezmark	$24,23 \pm 3,10$	$7,16 \pm 2,05$	$15,70 \pm 12,07$
6.	Narew Pułtusk	$25,55 \pm 2,93$	$8,25 \pm 2,40$	$16,90 \pm 12,23$
7.	Bug Wyszków	$22,71 \pm 3,37$	$3,10 \pm 1,45$	$12,91 \pm 13,87$
DORZECZE ODRY				
8.	Odra Chałupki	$38,01 \pm 2,83$	$167,05 \pm 8,94$	$102,53 \pm 91,25$
9.	Odra Wrocław	$9,50 \pm 1,97$	$6,04 \pm 1,89$	$7,77 \pm 2,45$
10.	Odra Głogów	$18,54 \pm 2,08$	$11,10 \pm 2,19$	$14,82 \pm 5,26$
11.	Odra Krainik	$21,28 \pm 1,88$	$6,72 \pm 1,95$	$14,02 \pm 10,27$
12.	Warta Poznań	$9,52 \pm 3,03$	$7,62 \pm 2,12$	$8,57 \pm 1,34$

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

^{b)}Wartość średnia \pm OS

4.3. Ocena zawartości ^{137}Cs w osadach dennych badanych jezior.

Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu przedstawiono w Tabeli 12.

Stężenia tego izotopu zawierały się w granicach od $1,36 \pm 0,28$ Bq/kg w osadzie pobranym wiosną z jeziora Wadąg do $109,00 \pm 1,80$ Bq/kg w osadzie pobranym jesienią z Rogóźna. Analogicznie jak dla pojedynczych próbek najniższe średnie roczne stężenie ^{137}Cs ($1,73$ Bq/kg) było oznaczone w osadach z jeziora Wadąg, a największe ($76,67$ Bq/kg) w osadach z jeziora Rogóźno. Z wieloletnich obserwacji wynika, że dla jeziora Rogóźno

charakterystyczne są większe wartości stężenia promieniotwórczo ^{137}Cs (jak i pozostałych badanych izotopów).

Tabela 12. Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2016 r.

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	$4,32 \pm 0,24^{\text{a}}$	$4,03 \pm 0,09^{\text{a}}$	$4,18 \pm 0,21^{\text{b}}$
2.	Wadąg Myki	$1,36 \pm 0,28$	$2,09 \pm 0,07$	$1,73 \pm 0,52$
3.	Wielkie Partęczyny Partęczyny	$6,29 \pm 0,31$	$3,13 \pm 0,42$	$4,71 \pm 2,23$
4.	Drawsko Stare Drawsko	$2,99 \pm 0,13$	$2,79 \pm 0,08$	$2,89 \pm 0,14$
5.	Niesłysz Niesulice	$5,65 \pm 0,35$	$6,33 \pm 0,11$	$5,99 \pm 0,48$
6.	Rogóźno Rogóźno	$44,33 \pm 2,12$	$109,00 \pm 1,80$	$76,67 \pm 45,73$

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

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

4.4. Ocena zawartości ^{238}Pu i $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych badanych jezior.

W Tabeli 13. podano stężenia promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych pobranych w okresie wiosennym i jesiennym w jeziorach oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze powyższych izotopów.

Tabela 13. Stężenie promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2016 r.

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	$6,64 \pm 2,02^{\text{a}}$	$2,34 \pm 1,43^{\text{a}}$	$4,49 \pm 3,04^{\text{b}}$
2.	Wadąg Myki	$2,03 \pm 2,03$	$8,12 \pm 1,95$	$5,07 \pm 4,32$
3.	Wielkie Partęczyny Partęczyny	$4,02 \pm 1,44$	$2,11 \pm 1,38$	$3,07 \pm 1,35$
4.	Drawsko Stare Drawsko	$16,07 \pm 3,08$	$6,65 \pm 2,23$	$11,36 \pm 6,66$
5.	Niesłysz Niesulice	$27,10 \pm 3,94$	$24,34 \pm 3,74$	$25,72 \pm 1,95$
6.	Rogóźno Rogóźno	$93,61 \pm 6,61$	$418,75 \pm 16,46$	$256,18 \pm 229,91$

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

^{b)}Wartość średnia \pm OS

Najniższe stężenie $^{239,240}\text{Pu}$ (2,03 mBq/kg) było oznaczone wiosną w osadzie pobranym z jeziora Wadąg, a największe (418,75 mBq/kg) w osadzie jesiennym z jeziora Rogóźno. Z wieloletnich obserwacji wynika, że dla jeziora Rogóźno charakterystyczne są większe wartości stężenia promieniotwórczego oznaczanych izotopów niż dla pozostałych punktów pomiarowych. Prawdopodobnie jest to związane z pochodzeniem tego jeziora. Jezioro Rogóźno jest jeziorem krasowym, które może charakteryzować się obecnością osadów nieprzepuszczalnych. Pozostałe badane jeziora, są natomiast jeziorami polodowcowymi.

Średnie roczne stężenie $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych zawiera się w granicach od 3,07 mBq/kg w jeziorze Wielkie Partęczyny do 256,18 mBq/kg w jeziorze Rogóźno.

Stężenie ^{238}Pu w osadach dennych było w większości przypadków mniejsze od granicy detekcji (2 mBq/kg). Zostało oznaczone tylko w 1 z pośród 12 próbek osadów, a był to osad pobrany jesienią w Rogóźnie ($11,56 \pm 2,22$ mBq/kg).

4.5. Porównanie zawartości ^{137}Cs w osadach dennych badanych rzek z zawartościami notowanymi w jeziorach.

W Tabeli 14. przedstawiono średnie stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dorzecza Wisły, dorzecza Odry i w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenia promieniotwórcze i ich zakres.

Tabela 14. Średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych dorzecza Wisły, Odry i jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego izotopu w 2016 r.

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)}	6,09 ± 4,83 ^{b)}	3,63 ± 3,05	4,86 ± 4,09 (14)	0,24 – 15,28
Dorzecze Odry (5)	4,09 ± 3,40	3,70 ± 6,03	3,90 ± 4,18 (10)	0,46 – 14,45
Jeziora (6)	10,82 ± 16,51	21,23 ± 43,02	16,03 ± 31,54 (12)	1,36 – 109,00
Średnia ogólna (18)	7,11 ± 9,96	9,52 ± 25,08	8,32 ± 17,34 (36)	0,24 – 109,00

^{a)} Liczba próbek osadów dennych

^{b)} Wartość średnia ± OS

Średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w 2016 roku było najniższe jesienią w dorzeczu Wisły i wynosiło 3,63 Bq/kg, a najwyższe również jesienią w jeziorach – 21,23 Bq/kg. Zarówno w dorzeczu Odry jak i Wisły średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs jesienią było niższe niż wiosną. Największe różnice w stężeniach ^{137}Cs obserwowano dla jezior od 1,31 do 109,00 Bq/kg. Dla dorzecza Odry określono najniższe średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs – 3,90 Bq/kg, podczas gdy w jeziorach stężenie to wynosiło 16,03 Bq/kg.

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

W Tabeli 15. przedstawiono średnie stężenia promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ dla dorzeczy Wisły i Odry oraz jezior zarówno w okresie wiosennym jak i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego izotopu i zakres. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dorzeczy Wisły i Odry było na zbliżonym poziomie i wynosiły odpowiednio 35,00 mBq/kg i 29,54 mBq/kg, Natomiast w jeziorach było znacznie wyższe i wynosiło 50,98 mBq/kg. Największe różnice stężeń tego izotopu występowały w jeziorach.

Tabela 15. Średnie stężenie promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych dorzecza Wisły, Odry i jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tych izotopów w 2016 r.

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)}	35,55±29,29 ^{b)}	34,47 ± 44,90	35,00 ± 36,43	1 – 120,02
Dorzecze Odry (5)	19,37 ± 11,69	39,71 ± 71,21	29,54 ± 49,29	6,04 – 167,05
Jeziora (6)	24,91± 34,92	77,05 ± 167,60	50,98 ± 118,59	2,01 – 418,75
Średnia ogólna (18)	27,51 ± 27,24	50,12 ± 102,74	38,81 ± 62,00	1 – 418,75

^{a)} Liczba próbek osadów dennych

^{b)} Średnia ± OS

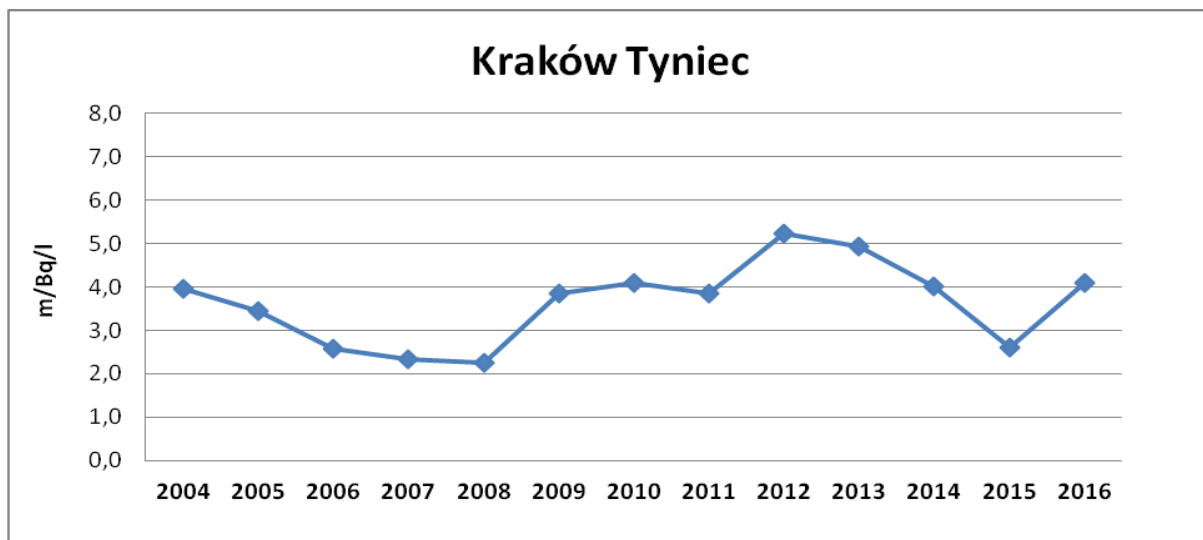
5. ZMIANY WARUNKÓW RADIOLOGICZNYCH NA PRZESTRZENI LAT.

Zmiany warunków radiologicznych na przestrzeni lat przedstawiono dla czterech wybranych punktów pomiarowych zlokalizowanych na rzece Wiśle (Kraków Tyniec, Annopol, Warszawa i Płock) oraz dla dwóch jezior Wigry i Wadąg oraz w układzie dorzeczy. Przedstawione w rozdziale wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu. Aby była możliwość porównania wartości parametrów w poszczególnych latach w danym punkcie poboru, ale również pomiędzy poszczególnymi punktami na wykresach została zachowana ta sama skala dla poszczególnych izotopów.

5.1. Zmiany warunków radiologicznych na przestrzeni lat dla punktu na rzece Wiśle w Krakowie - Tyńcu.

5.1.1. Analiza zawartości ^{137}Cs w wodzie pobranej z Wisły w Krakowie - Tyńcu na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Rysunek 3. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w wodzie z Wisły pobranej w Tyńcu w latach 2004 – 2016. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.



Rys. 3. Zawartość ^{137}Cs w wodach Wisły pobranej w Tyńcu w latach 2004-2016.

W początkowych latach najwyższy średni poziom stężeń promieniotwórczego ^{137}Cs zanotowano w pierwszym roku obserwacji. W kolejnych latach średnia zawartość ^{137}Cs w wodach ulegała zmianom. Od roku 2009 do roku 2014 obserwowaliśmy nieznaczny wzrost stężeń promieniotwórczego badanego izotopu przy czym najwyższe stężenie odnotowano

roku 2012 – 5,2 mBq/l. Należy jednak podkreślić, że pomimo zaobserwowanych zmian zawartość ^{137}Cs w badanej wodzie pozostaje na niskim poziomie.

5.1.2. Analiza zawartości ^{90}Sr w wodzie pobranej z Wisły w Krakowie - Tyńcu na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.



Rys. 4. Zawartość ^{90}Sr w wodach Wisły pobranej w Tyńcu w latach 2004-2016.

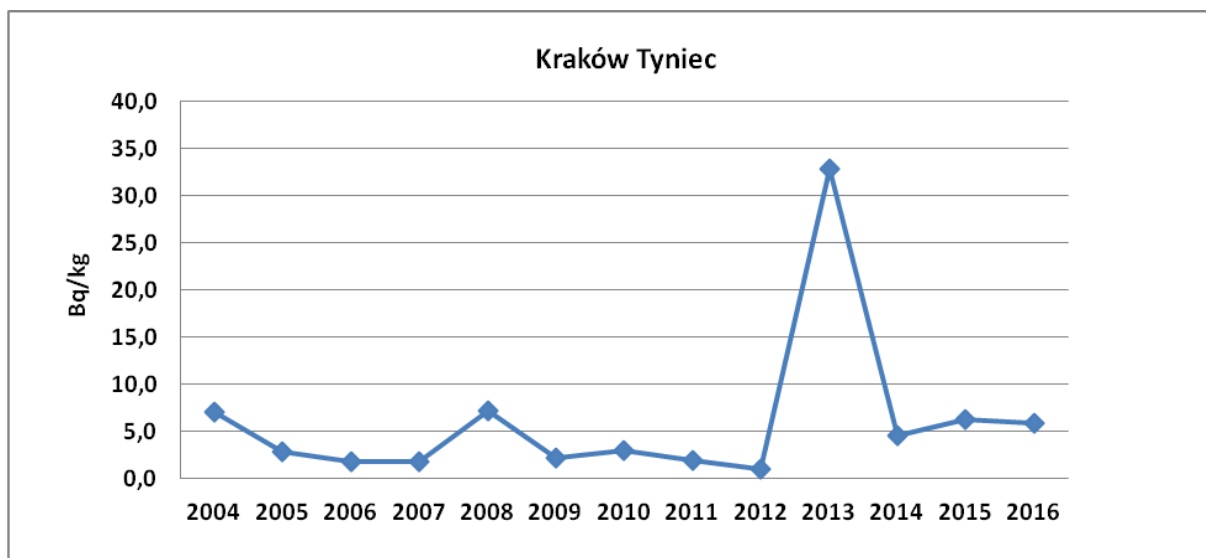
Rysunek 4. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr w wodach Wisły pobranej w Tyńcu w latach 2004-2016. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.

Na przestrzeni lat średnie stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr mieści się w zakresie od 2,2 (rok 2008) do 6,9 mBq/kg (rok 2014). Można przyjąć, że stężenie ^{90}Sr w latach 2004-2016 przy nieznacznych fluktuacjach pozostaje na stałym poziomie.

5.1.3. Analiza zawartości ^{137}Cs w osadach pobranej z Wisły w Krakowie - Tyńcu na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

W początkowych latach najwyższy średni poziom stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs zanotowano w pierwszym roku badań (Rysunek 5.). Po czym obserwowano tendencję spadkową do roku 2008. W roku 2008 (jeden rok po powodzi), w analizowanym osadzie obserwowano niewielki wzrost stężeń ^{137}Cs spowodowany prawdopodobnie wymywaniem tego izotopu z gleby zlewiska do wody, a następnie jego kumulacją w osadzie dennym. Podwyższona średnia roczna zawartość ^{137}Cs w osadzie dennym w Tyńcu obserwowana w roku 2013 spowodowana została oznaczonym stężeniem tego izotopu w próbce wiosennej

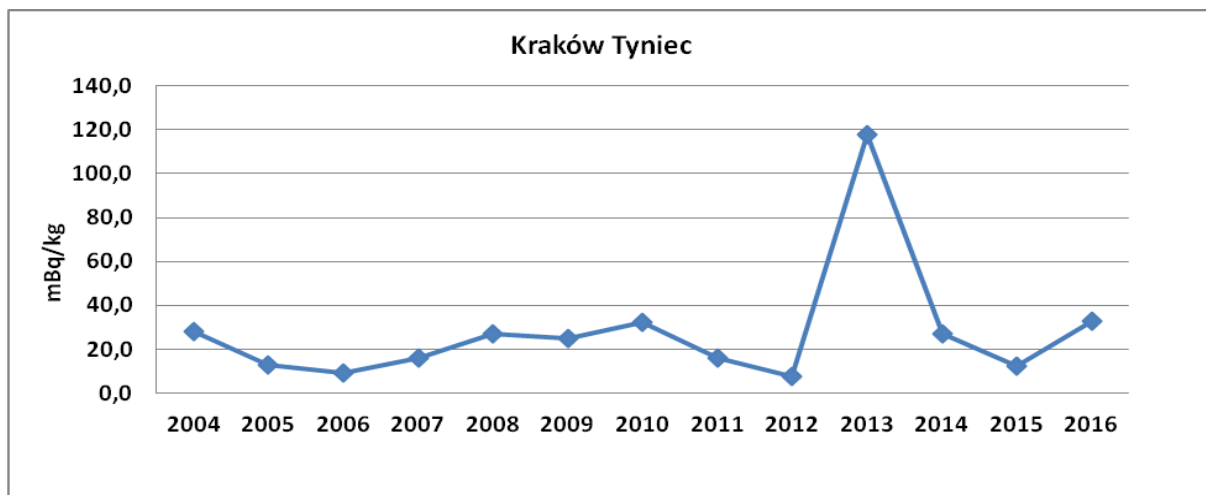
(63,75 Bq/kg), co można tłumaczyć czasowym naniesieniem w to miejsce innego typu osadu, który łatwiej kumulował zanieczyszczenie z wody. Trwałość tej zmiany nie potwierdziły badania jesienne, w których oznaczone stężenie ^{137}Cs wynosiło jedynie 1,97 Bq/kg, ani badania wykonane w kolejnych latach.



Rys. 5. Zawartość ^{137}Cs w osadach z Wisły pobranych w Tyńcu w latach 2004-2016.

5.1.4. Analiza zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach pobranej z Wisły w Krakowie - Tyńcu na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Rysunek 6. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach z Wisły pobranych w Tyńcu w latach 2004-2016. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu. Zakres średnich stężeń określonych w latach 2004-2016 zawiera się od pojedynczych Bq/kg do ok. 40 mBq/kg. Wyjątkiem jest rok 2013, gdzie oznaczone stężenie izotopów plutonu wyniosło 117,6 mBq/kg. Można to tłumaczyć (podobnie jak w przypadku ^{137}Cs) czasowym naniesieniem w to miejsce innego typu osadu, który spowodował kumulację zanieczyszczenia. Należy jednak zwrócić uwagę, że wartości stężenia promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych są w porównaniu ze stężeniami ^{137}Cs co najmniej 100 razy niższe.

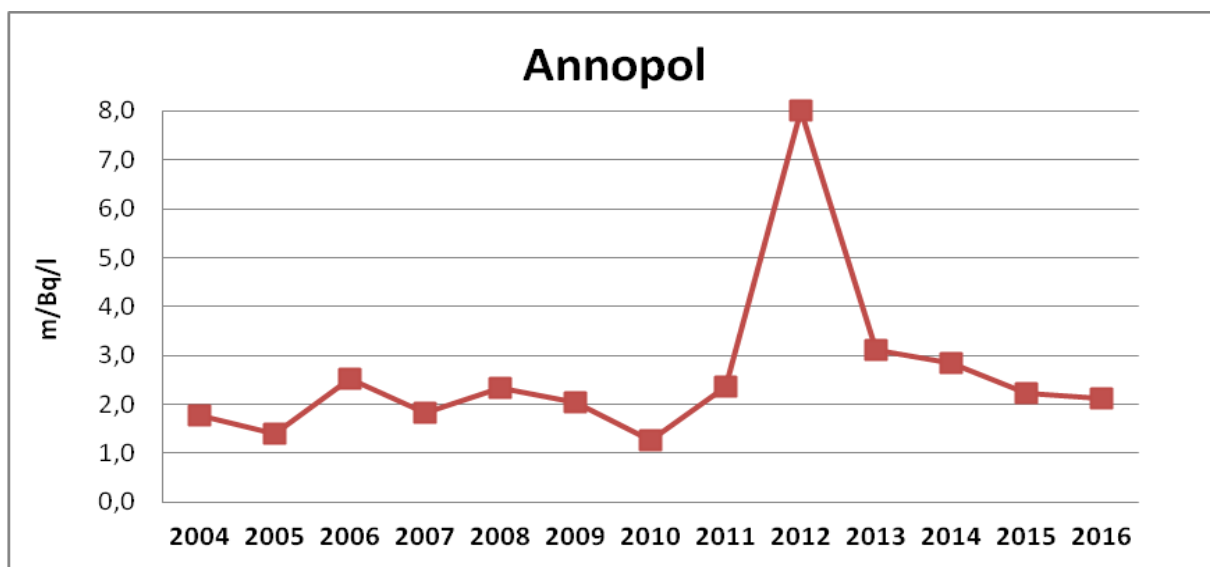


Rys. 6. Zawartość ^{239,240}Pu w osadach Wisły pobranych Tyńcu w latach 2004-2016.

5.2. Zmiany warunków radiologicznych na przestrzeni lat dla punktu na rzece Wiśle w Anopolu.

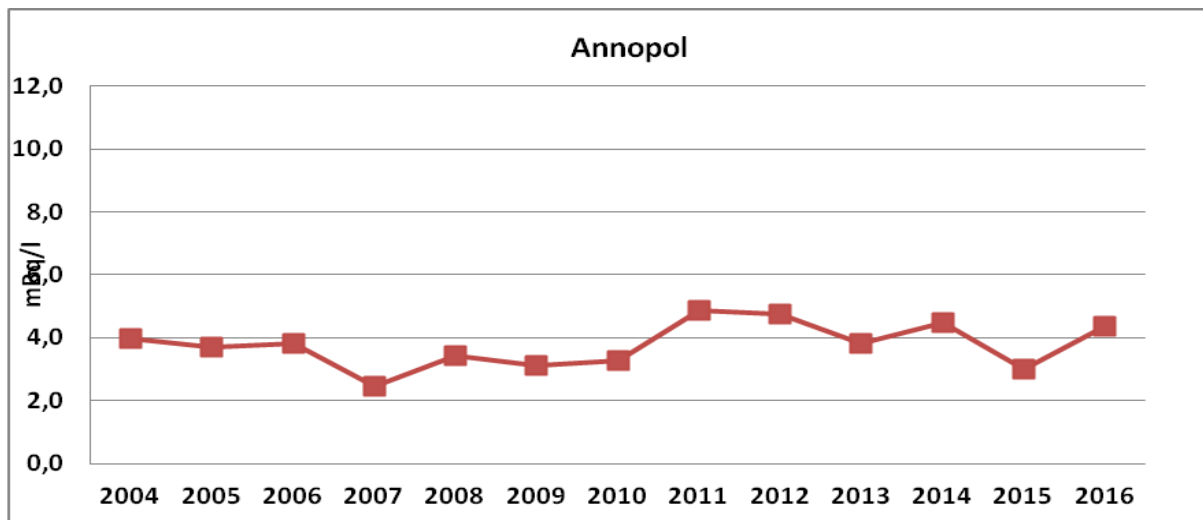
5.2.1. Analiza zawartości ¹³⁷Cs w wodzie pobranej w Anopolu na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Rysunek 7. Przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ¹³⁷Cs w wodach Wisły pobranej w Anopolu 2004-2016. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu. Na przestrzeni lat średnie stężenie promieniotwórcze ¹³⁷Cs mieści się w wąskim zakresie od 1,3 (rok 2010) do 2,8 mBq/kg (rok 2014). Wyjątek stanowi roku 2012, gdzie zanotowano trzykrotny wzrost zawartości stężeń promieniotwórczego ¹³⁷Cs. Badania wykonane w kolejnych latach nie potwierdziły jednak trwałość tej zmiany.



Rys. 7. Zawartość ¹³⁷Cs w wodach Wisły pobranej w Anopolu 2004-2016.

5.2.2. Analiza zawartości ^{90}Sr w wodzie pobranej w Annopolu na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.



Rys. 8. Zawartość ^{90}Sr w wodach Wisły pobranej w Annopolu w latach 2004-2016.

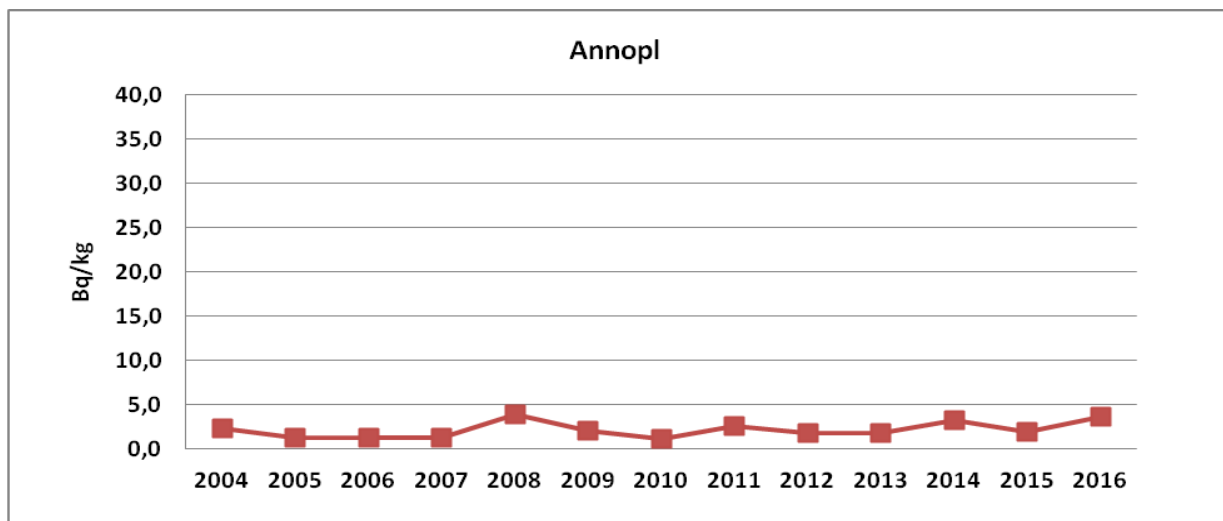
Przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr w wodach Wisły pobranej w Annopolu w latach 2004-2016 przedstawiono na Rysunku 8. Podane wartości są średnimi rocznymi w poszczególnych latach.

Z przedstawionej zależności wynika, że w przeciągu czternastu lat zmiany zawartości ^{90}Sr w wodach były nieznaczne. Zakres w jakim obserwowano fluktuacje to ok. 2 mBq/l. Można zatem stwierdzić, że zawartość ^{90}Sr w wodach z Wisły jest niezmienna od kilkunastu lat i jest na niskim poziomie.

5.2.3. Analiza zawartości ^{137}Cs w osadach pobranych z Wisły Annopolu na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

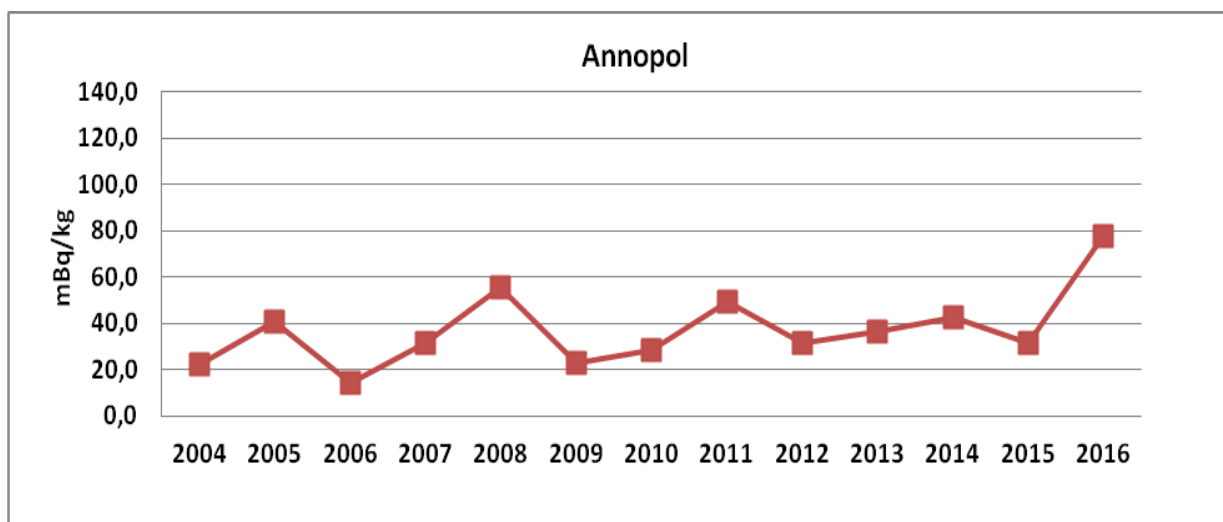
Zawartość ^{137}Cs w osadach z Wisły pobranych w Annopolu w latach 2004-2016 przedstawiona została na Rysunku 9.

Pomimo dużych zróżnicowań w poziomie wód podczas poboru prób, średnia roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs przez wszystkie lata obserwacji było na bardzo wyrównanym poziomie. Minimalną wartość odnotowano w roku 2007 i 2010 - wynosiła ona 1,2 mBq/l, zaś maksymalną w roku 2008 - 3,8 mBq/kg.



Rys. 9. Zawartość ^{137}Cs w osadach z Wisły pobranych w Annopolu w latach 2004-2016.

5.2.4. Analiza zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach pobranych z Wisły Annopolu na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.



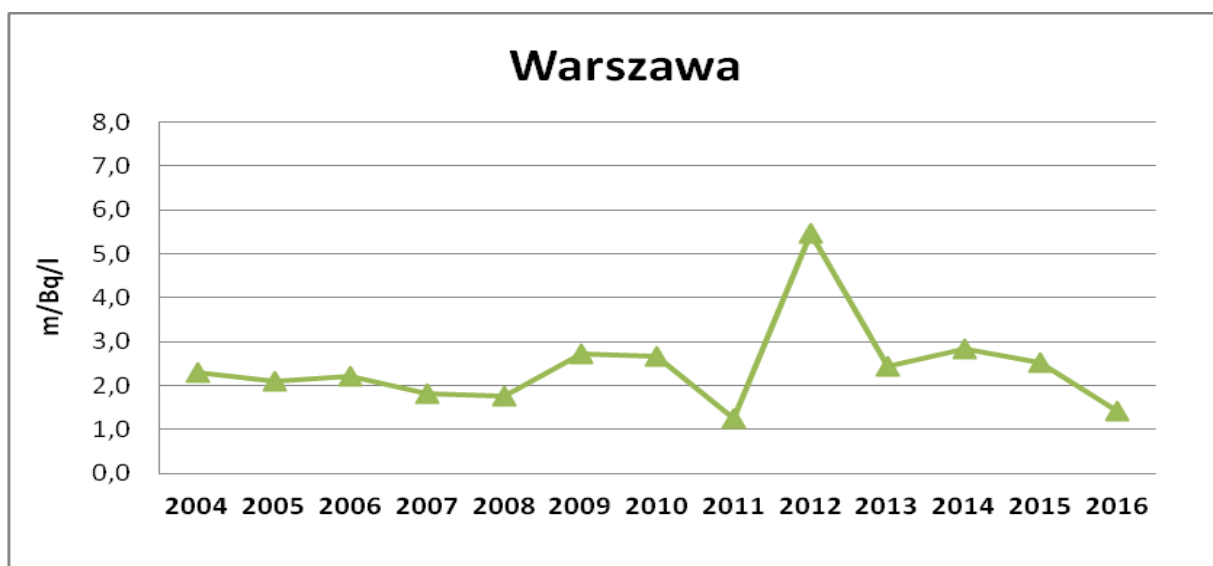
Rys. 10. Zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach Wisły pobranych w Annopolu w latach 2004-2016.

Rysunek 10. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach z Wisły pobranych w Annopolu w latach 2004-2016. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu. Z przedstawionej zależności wynika, że w przeciągu kilkunastu lat zmiany zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach miały zmienny przebieg, lecz średnie stężenie promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ było na niskim poziomie. Nieznacznie podwyższoną średnią zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ odnotowano jedynie w osadzie pobranym w roku 2016, która wynosiła 77,5 mB/kg.

5.3. Zmiany warunków radiologicznych na przestrzeni lat dla punktu na rzece Wiśle w Warszawie.

5.3.1. Analiza zawartości ^{90}Sr w wodzie pobranej z Wisły w Warszawie na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Średni poziom stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs w wodzie pobieranej w Warszawie w lata 2004-2016 był wyrównany (Rysunek 11.). Jedynie w roku 2012 zanotowano wzrost zawartości ^{137}Cs . Podwyższona wartość średniej rocznej ^{137}Cs w wodzie spowodowana została oznaczonym stężeniem promieniotwórczym tego izotopu w próbce wiosennej (9,71 mBq/l), które można tłumaczyć czasowym wpływem wód innego pochodzenia w to miejsce. Trwałości tej zmiany nie potwierdziły badania jesienne, w których oznaczone stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w wodzie wynosiło 1,25 mBq/kg, jak również badania wykonane w kolejnych latach.

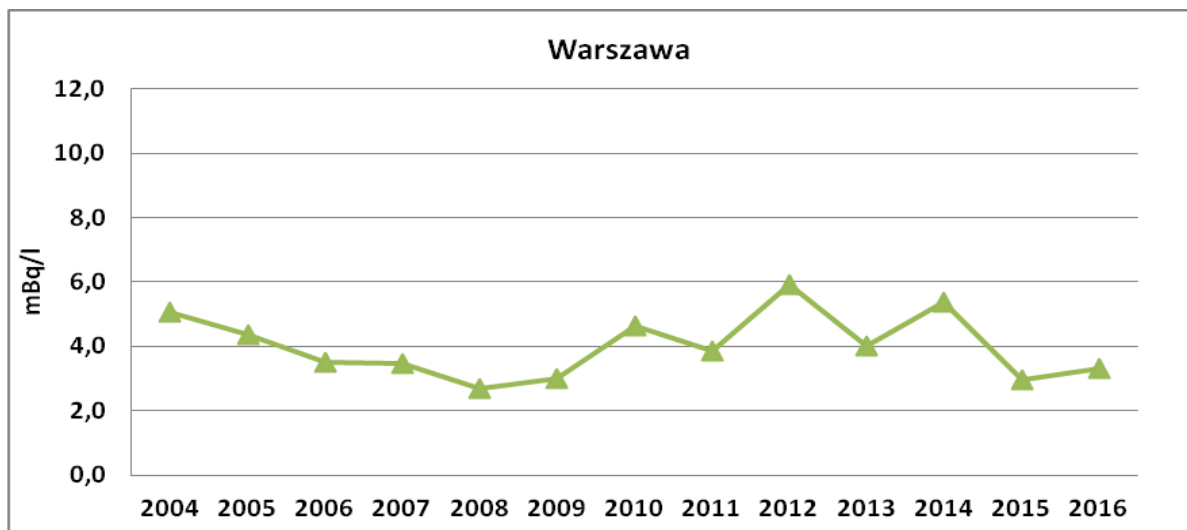


Rys. 11. Zawartość ^{137}Cs w wodach Wiły pobranej w Warszawie latach 2004-2016.

5.3.2. Analiza zawartości ^{90}Sr w wodzie pobranej z Wisły w Warszawie na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

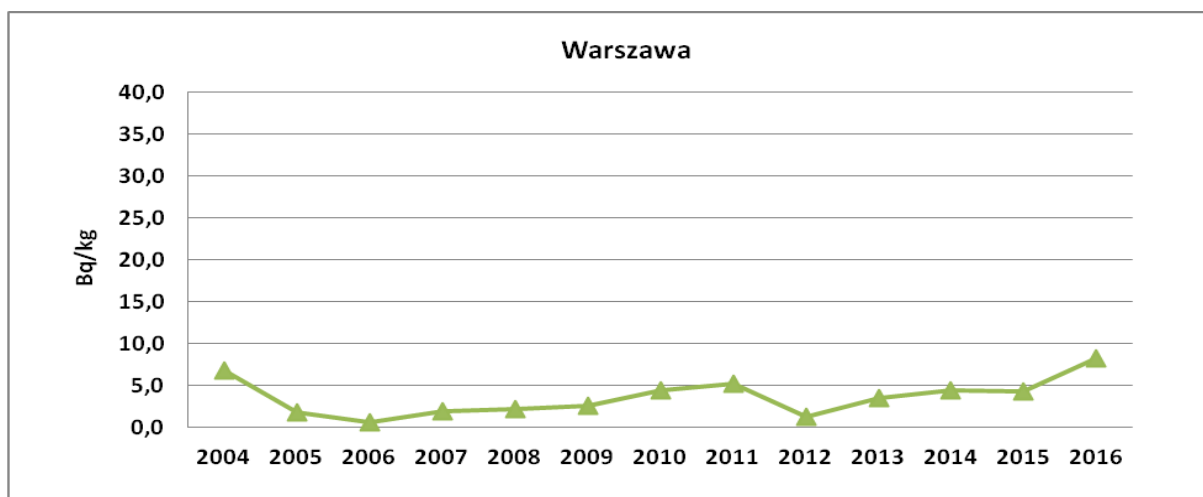
W przypadku wody pobieranej w Warszawie średnia roczna zawartość ^{90}Sr w latach 2004-2016 mieści się w wąskim zakresie od 3,0 do 5,9 mBq/l, a maksymalną wartość stężenia promieniotwórczego cezu odnotowano w roku 2012.

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



Rys. 12. Zawartość ^{90}Sr w wodach Wisły pobranej w Warszawie w latach 2004-2016.

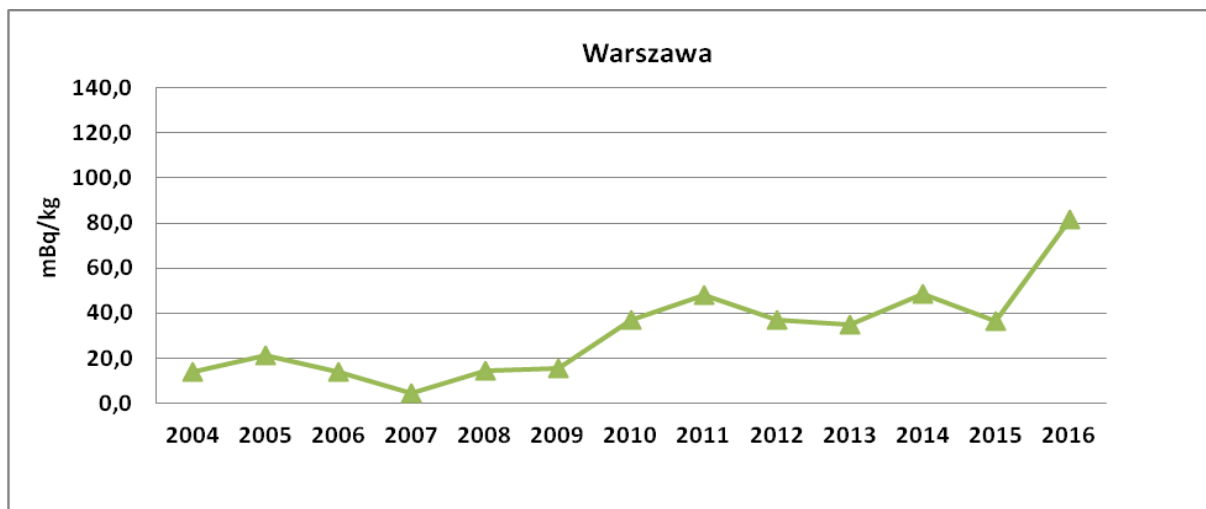
5.3.3. Analiza zawartości ^{137}Cs w osadach pobranych z Wisły w Warszawie na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.



Rys. 13. Zawartość ^{137}Cs w osadach z Wisły pobranych w Warszawie w latach 2004-2016.

W osadach pobieranych w Warszawie, nieznacznie wyższe wartości średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs odnotowano w pierwszym (6,8 Bq/kg) i ostatnim roku (8,3 Bq/kg) obserwacji. W pozostałych latach zawartość ^{137}Cs w osadach była na niskim poziomie i jednocześnie była dosyć stabilna. Najmniejsze wartości średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs zmierzono w 2006 roku - 0,6 Bq/kg i 2012 – 1,3 Bq/kg.

5.3.4. Analiza zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach pobranych z Wisły w Warszawie na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.



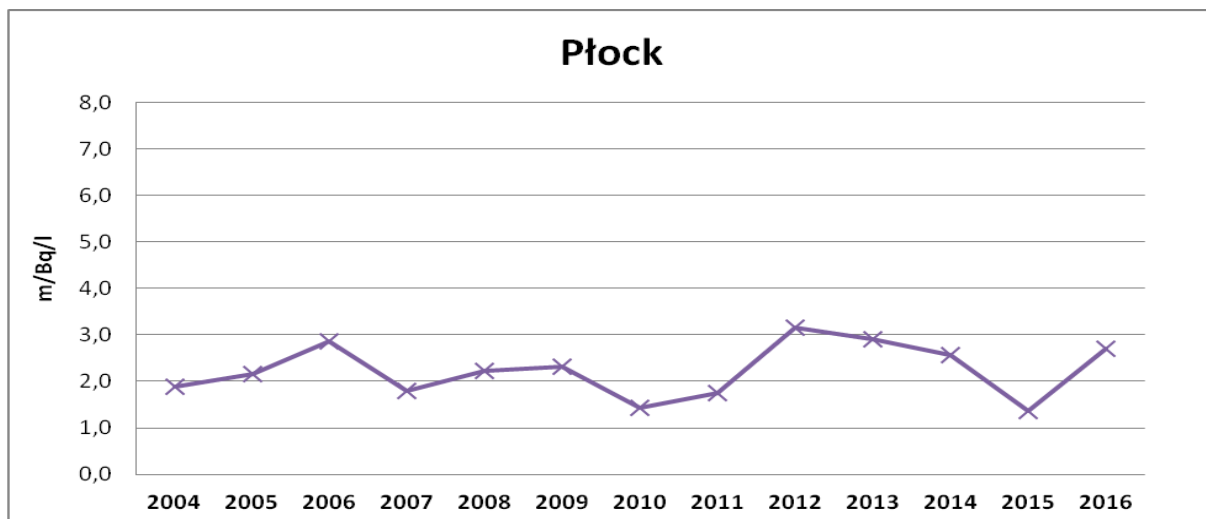
Rys. 14. Zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach Wisły pobranych w Warszawie w latach 2004-2016.

Rysunek 14. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach z Wisły pobranych w Warszawie w latach 2004-2016. Do roku 2009 zawartość izotopów plutonu była bardzo wyrównana i nie przekraczała 25 mBq/kg. Po tym roku nastąpił nieznaczny wzrost stężenia, a w roku 2016 stężenie $^{239,240}\text{Pu}$ wyniosło 81,4 mBq/kg. Przy czym podwyższone wartości odnotowano zarówno wiosną (98,97 mBq/kg) jak i jesienią (69,60 mBq/kg). W kolejnych latach badań należy zwrócić uwagę czy jest to zmiana trwała.

5.4. Zmiany warunków radiologicznych na przestrzeni lat dla punktu na rzece Wiśle w Płocku.

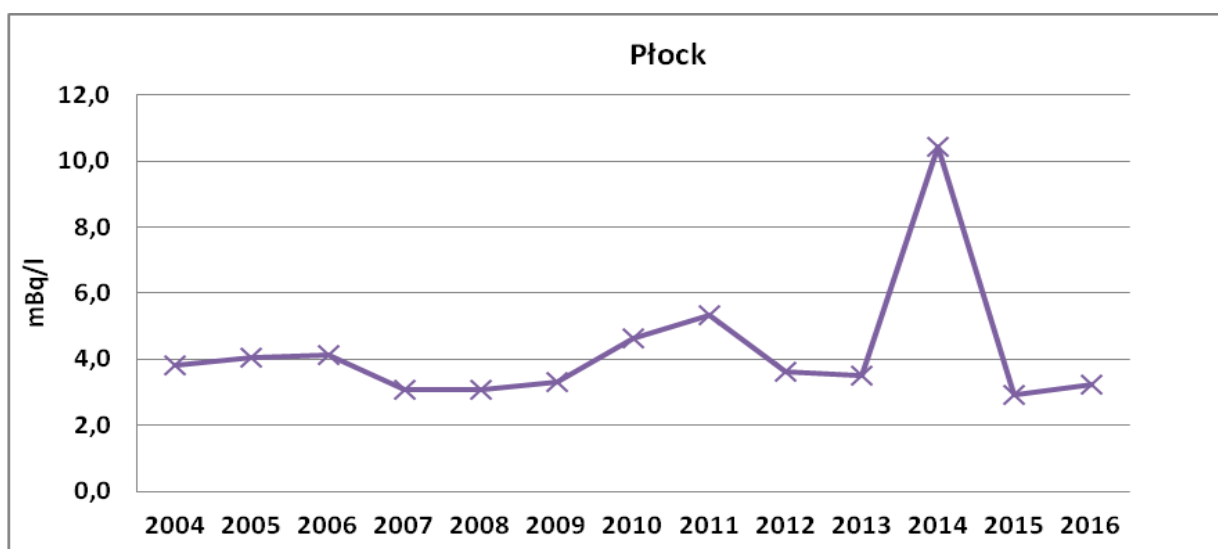
5.4.1. Analiza zawartości ^{137}Cs w wodzie pobranej z Wisły w Płocku na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

W przypadku punktu poboru w Płocku występują nieznaczne zmiany zawartości izotopu ^{137}Cs w wodzie poszczególnych latach obserwacji (Rysunek 15.). Zmiany te mieszczą się w granicach od 1,4 do 3,2 mBq/l.



Rys. 15. Zawartość ¹³⁷Cs w wodach Wisły pobranej w Płocku w latach 2004-2016.

5.4.2. Analiza zawartości ⁹⁰Sr w wodzie pobranej z Wisły w Płocku na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

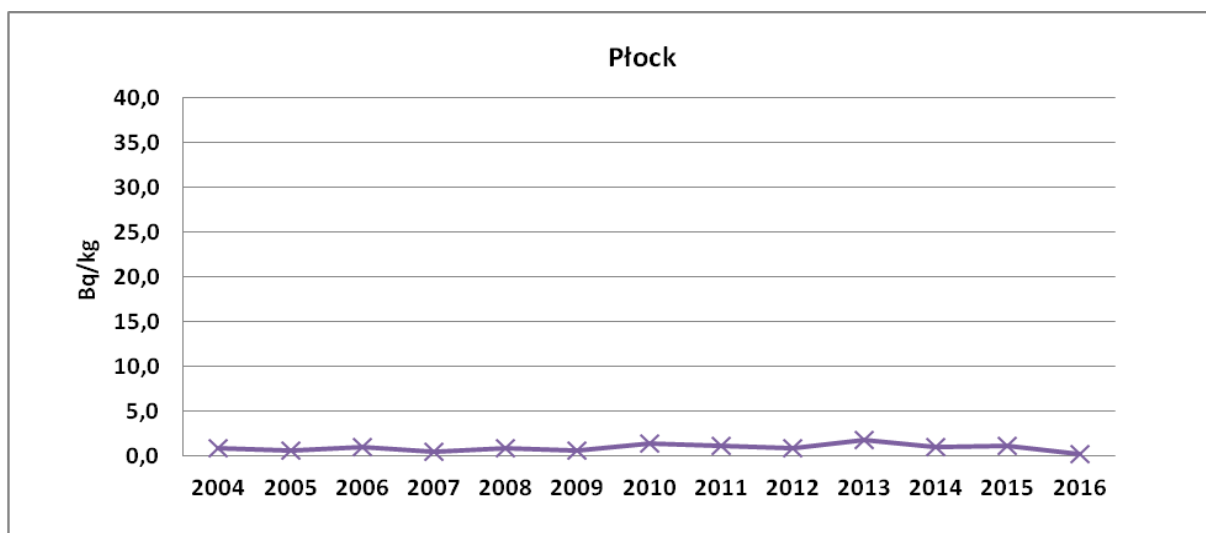


Rys. 16. Zawartość ⁹⁰Sr w wodach Wisły pobranej w Płocku w latach 2004-2016.

Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ⁹⁰Sr w wodach Wisły pobranej w Płocku w latach 2004-2016 obrazuje Rysunek 16. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu. Na przestrzeni lat średnie stężenie promieniotwórcze ⁹⁰Sr mieści się w wąskim zakresie od 2,9 (rok 2010) do 5,3 mBq/kg (rok 2011). Wyjątek stanowi roku 2014, gdzie zanotowano około dwukrotny wzrost zawartości stężenia promieniotwórczego ⁹⁰Sr. Badania wykonane w kolejnych dwóch latach nie potwierdziły jednak trwałość tej zmiany.

5.4.3. Analiza zawartości ^{137}Cs w osadach pobranych z Wisły w Płocku na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

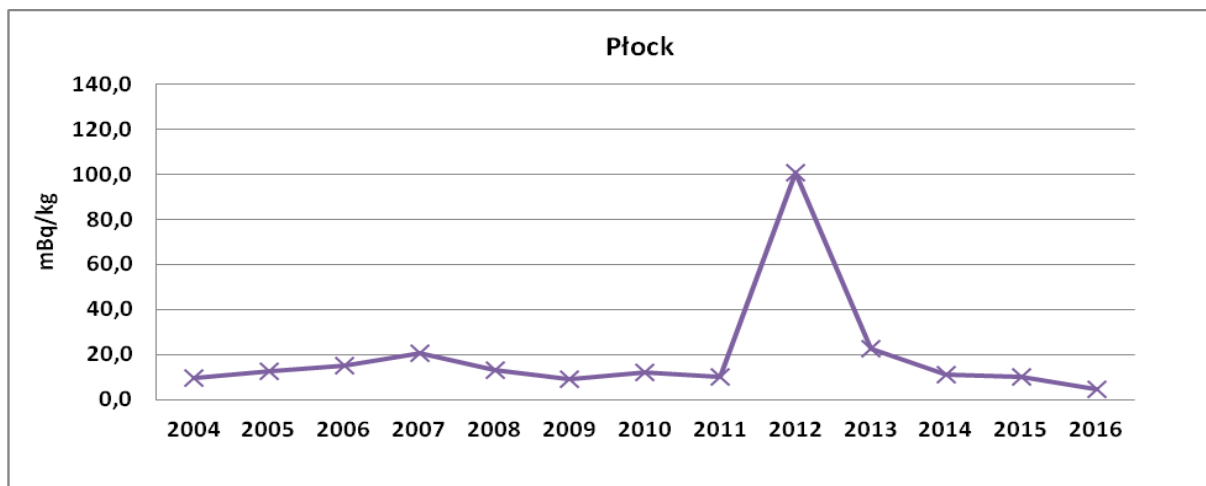
Na przestrzeni wszystkich lat badań najbardziej wyrównany poziom zawartości ^{137}Cs w osadach dennych obserwowano w punkcie poboru usytuowanym w Płocku (Rysunek 17.). Zakres zmian mieścił się od 0,2 Bq/kg w roku 2016 do 1,7 Bq/kg w roku 2013. Prawdopodobnie spowodowane jest to bardziej stabilną sytuacją hydrologiczną niż w przypadku pozostałych punktów poboru.



Rys. 17. Zawartość ^{137}Cs w osadach z Wisły pobranych w Płocku w latach 2004-2016.

5.4.4. Analiza zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach pobranych z Wisły w Płocku na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Średni poziom stężenia promieniotwórczego $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach pobieranych w Płocku w lata 2004-2016 był wyrównany (Rysunek 18.). Jedynie w roku 2012 zanotowano pięciokrotny wzrost zawartości izotopów plutonu. Podwyższona wartość średniego rocznego stężenia promieniotwórczego $^{239,240}\text{Pu}$ w osadzie spowodowana została oznaczonym stężeniem promieniotwórczego tego izotopu w próbce wiosennej (187,58 mBq/l), które można tłumaczyć naniesieniem gleb innego pochodzenia w to miejsce. Trwałości tej zmiany nie potwierdziły badania jesienne, w których oznaczone stężenie promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w osadzie wynosiło 13,6 mBq/kg.

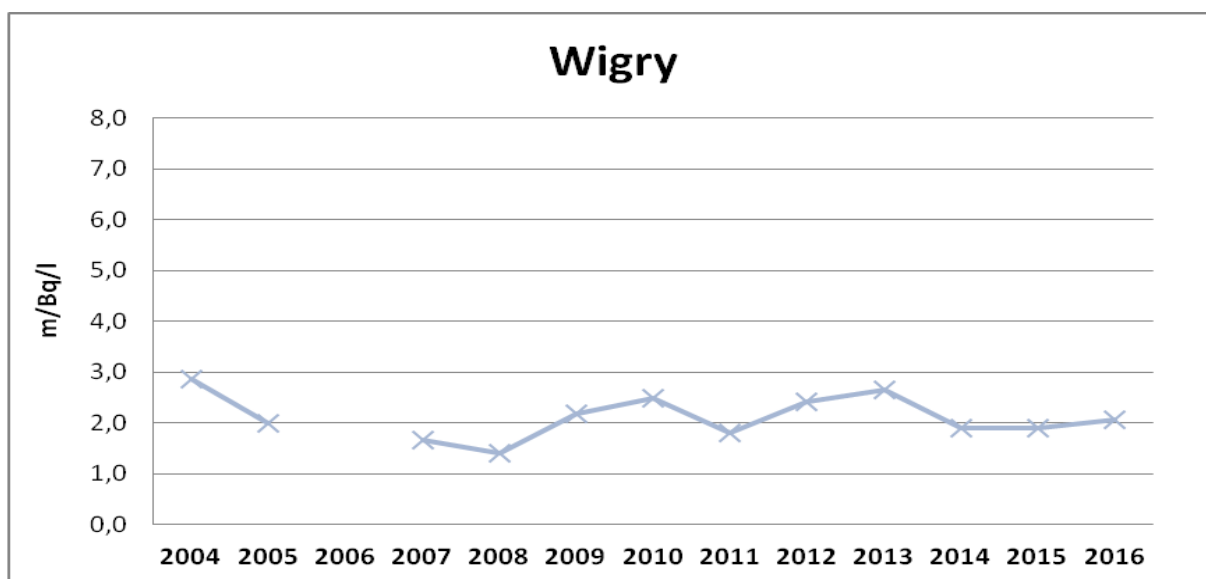


Rys. 18. Zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach Wisły pobranych w Płocku w latach 2004-2016.

5.5. Zmiany warunków radiologicznych na przestrzeni lat dla jeziora Wigry.

5.5.1. Analiza zawartości ^{137}Cs w wodzie pobranej z jeziora Wigry na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

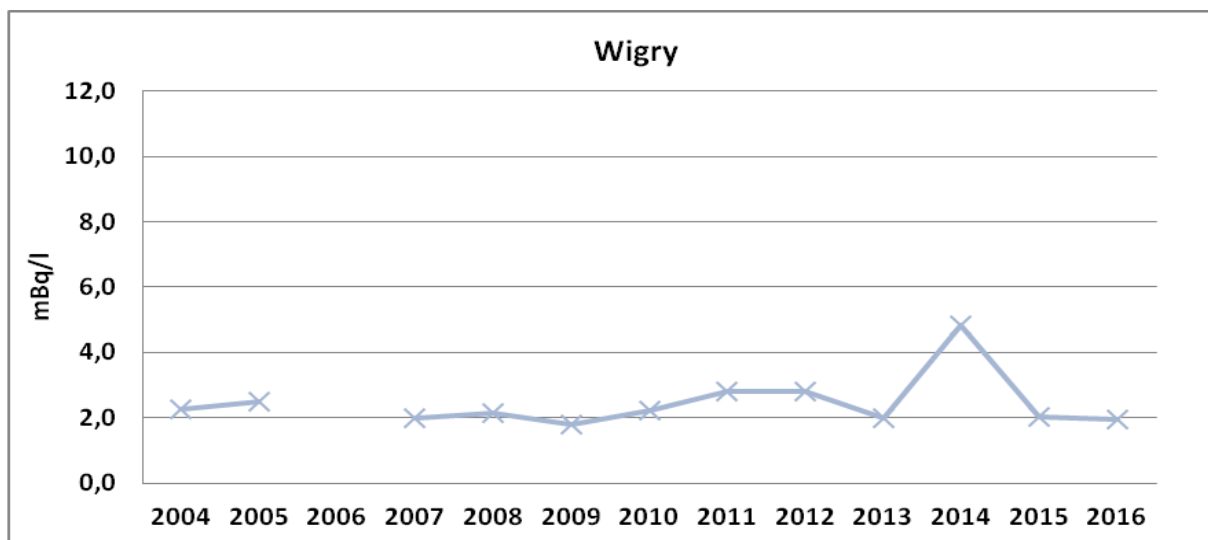
Z przedstawionej na Rysunku 19. zależności wynika, że w przeciągu kilkunastu lat zmiany zawartości ^{137}Cs w wodach były nieznaczne. Zakres w jakim obserwowano fluktuacje to ok. 1,5 mBq/kg. Można zatem stwierdzić, że zawartość ^{137}Cs w wodach jeziora Wigry jest niezmienna od 12 lat i jest na niskim poziomie.



Rys. 19. Zawartość ^{137}Cs w wodzie z jeziora Wigry w latach 2004-2016.

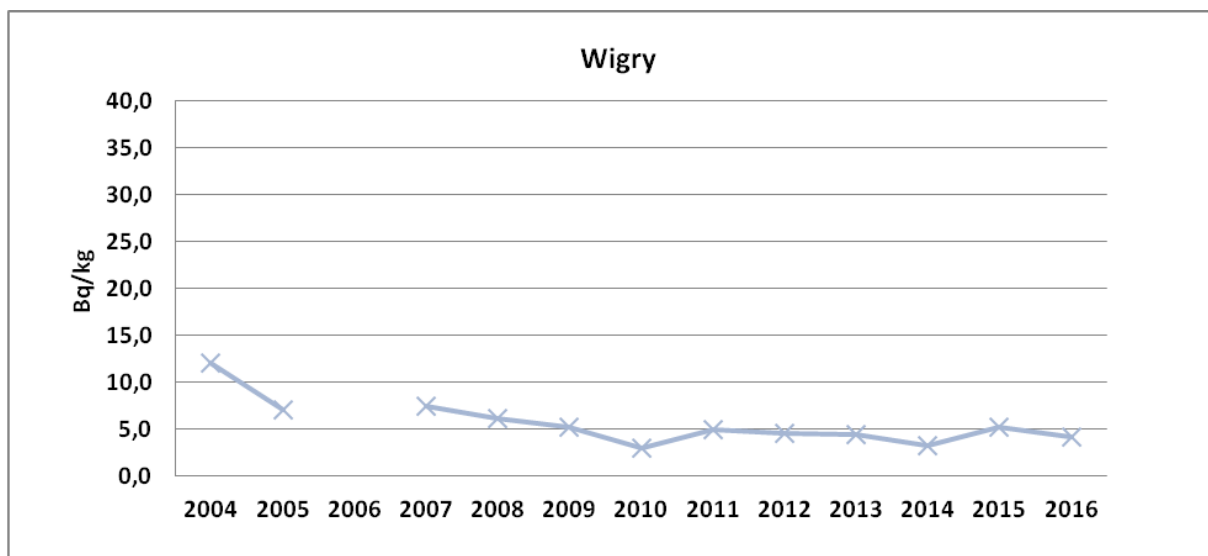
5.5.2. Analiza zawartości ^{90}Sr w wodzie pobranej z jeziora Wigry na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Podobnie jak dla ^{137}Cs średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach jeziora Wigry w latach 2004-2016 było bardzo wyrównane. Nieznaczną rozbieżność stanowi wynik otrzymany w 2014 roku, kiedy wartość stężenia wzrosła dwukrotnie, pozostając jednak na bardzo niskim poziomie.



Rys. 20. Zawartość ^{90}Sr w wodach jeziora Wigry w latach 2004-2016.

5.5.3. Analiza zawartości ^{137}Cs w osadach pobranych z jeziora Wigry na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

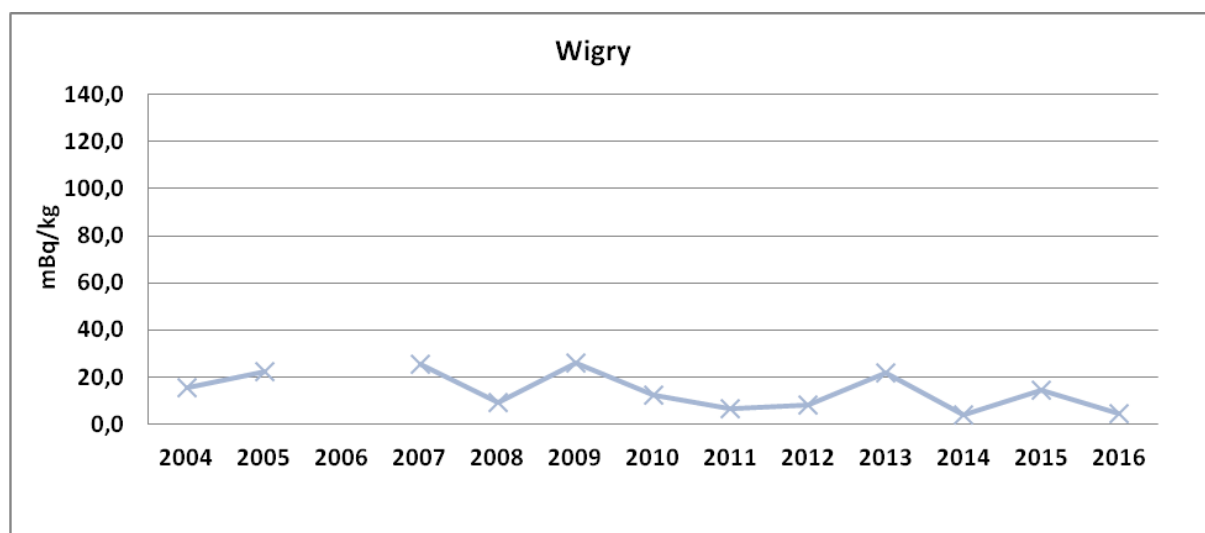


Rys. 21. Zawartość ^{137}Cs w osadach jeziora Wigry pobranych w latach 2004-2016.

Na Rysunek 21. pokazano przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w osadach jeziora Wigry w latach 2004 – 2016. Od początku prowadzenia badań obserwujemy ogólną tendencję spadkową do roku 2010. Od tego czasu widzimy bardzo stabilną sytuację. Nieznaczne zmiany stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs mieszczą się w zakresie od 3,2 Bq/kg w roku 2014 do 4,9 Bq/kg w roku 2011.

5.5.4. Analiza zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach pobranych z jeziora Wigry na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Z przedstawionej na Rysunku 22. zależności wynika, że w przeciągu dwunastu lat zmiany zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach jeziora Wigry miały bardziej zmienny przebieg niż w przypadku izotopu cezu. Jednocześnie średnie stężenie promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ było na niskim poziomie i w żadnym roku nie przekraczało 30 mBq/kg.



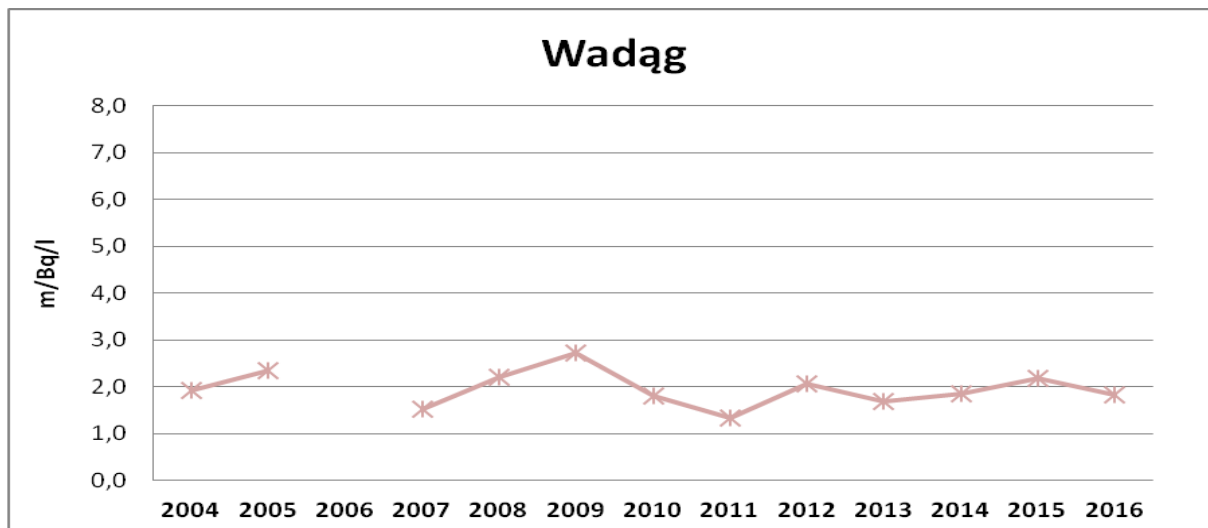
Rys. 22. Zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach z jeziora Wigry pobranych w latach 2004-2016.

5.6. Zmiany warunków radiologicznych na przestrzeni lat dla jeziora Wadąg.

5.6.1. Analiza zawartości ^{137}Cs w wodzie pobranej z jeziora Wadąg na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w wodach jeziora Wadąg w latach 2004 – 2016 przedstawiono na Rysunku 23.

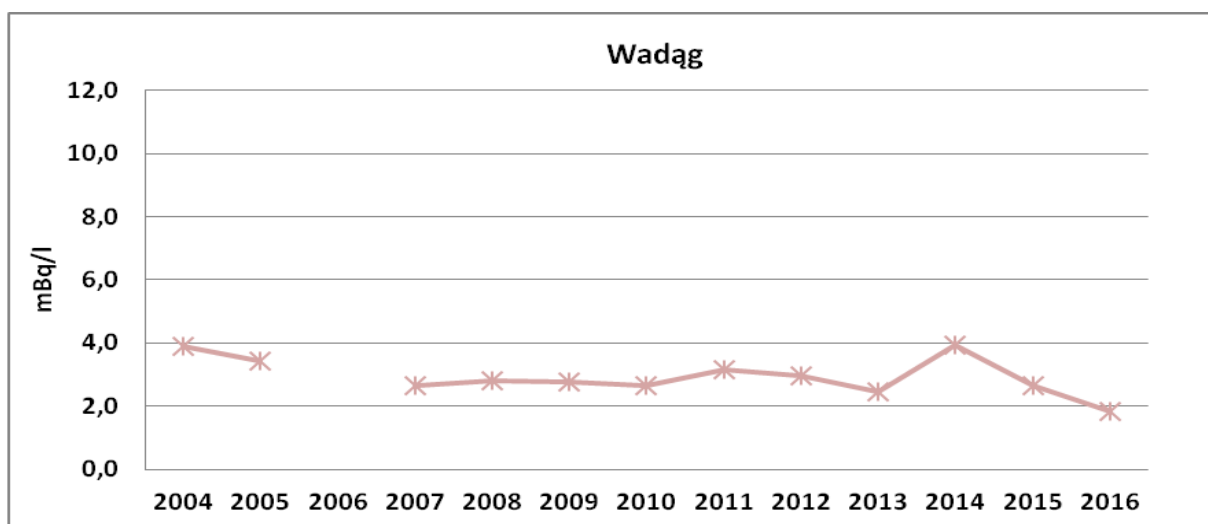
Z przedstawionej zależności wynika, że w przeciągu wszystkich lat obserwacji zmiany zawartości ^{137}Cs w wodach były nieznaczne. Zakres w jakim obserwowano fluktuacje to ok. 1,5 mBq/l. Można zatem stwierdzić, że zawartość ^{137}Cs w wodach jeziora Wadąg jest niezmienna od 12 lat i jest na niskim poziomie.



Rys. 23. Zawartość ^{137}Cs w wodzie z jeziora Wadąg w latach 2004-2016.

5.6.2. Analiza zawartości ^{90}Sr w wodzie pobranej z jeziora Wadąg na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

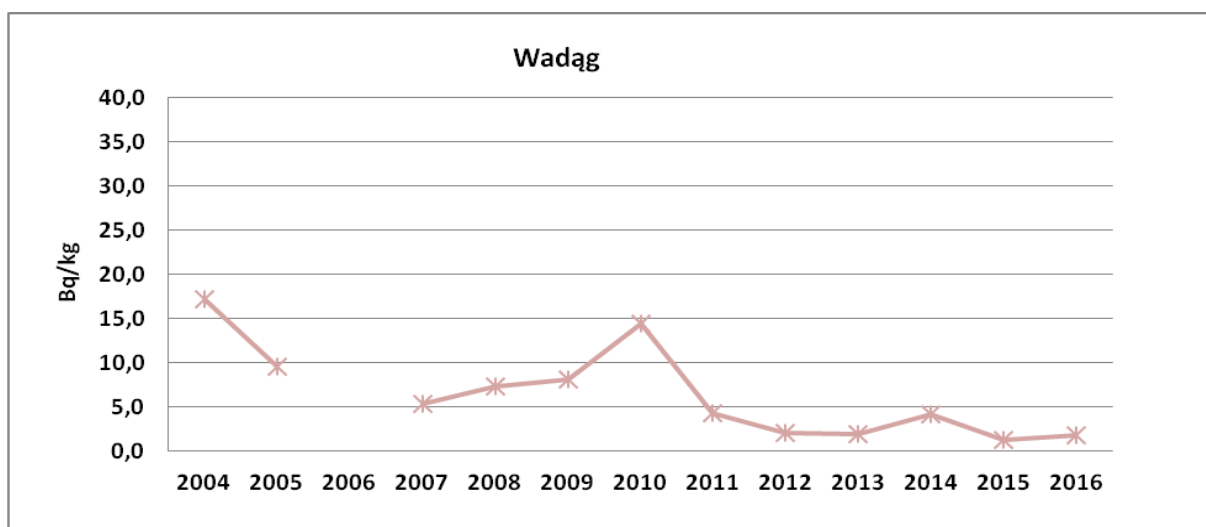
Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w badanych wodach pobieranych z jeziora Wadąg były na wyrównanym poziomie i zawierały się w granicach od 1,8 mBq/l (2016 rok) do 3,9 mBq/l (2004 i 2014 rok). Zmiany zawartości ^{90}Sr w wodach na przestrzeni kilkunastu lat były niewielkie, podobnie jak w przypadku izotopu cezu, przy nieznacznie większej ilości ^{90}Sr w stosunku do ^{137}Cs .



Rys. 24. Zawartość ^{90}Sr w wodach jeziora Wadąg w latach 2004-2016.

5.6.3. Analiza zawartości ^{137}Cs w osadach pobranych z jeziora Wadąg na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

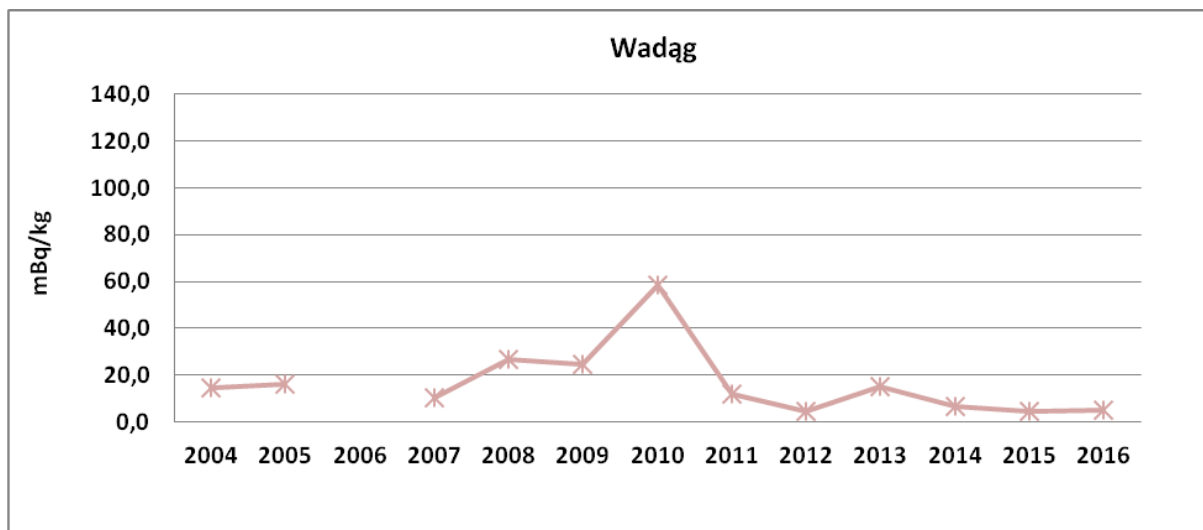
Na Rysunek 25. pokazano przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w osadach pobranych z jeziora Wadąg w latach 2004 – 2016. Od początku prowadzenia badań obserwujemy ogólną tendencję spadkową zawartości ^{137}Cs . Wyjątek stanowi podwyższona zawartość ^{137}Cs w roku 2010. W tym roku w naszym kraju miały miejsce liczne powodzie. Mogło wystąpić czasowe naniesienie w to miejsce osadu, który łatwiej kumulował zanieczyszczenie z wody. Dodatkowo jezioro Wadąg jest jeziorem przepływowym, co również w przypadku obfitych opadów może mieć wpływ na zmiany zawartości badanych izotopów.



Rys. 25. Zawartość ^{137}Cs w osadach jeziora Wadąg pobranych w latach 2004-2016.

5.6.4. Analiza zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach pobranych z jeziora Wadąg na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Z przedstawionej na Rysunku 26 zależności wynika, że w przeciągu dwunastu lat zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach była na niskim poziomie. Podwyższoną zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ odnotowano jedynie w roku 2010. Jest to analogiczna sytuacja jak w przypadku analizowanego w tym osadzie izotopu cezu i może potwierdzać wpływ obfitych deszczy na zmiany zawartości badanych izotopów.

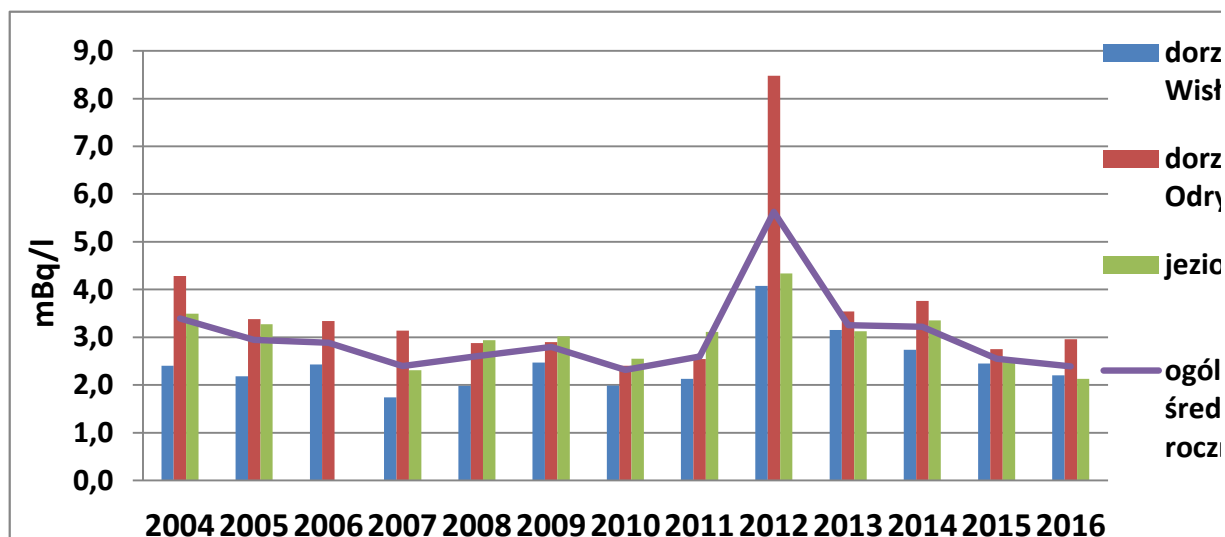


Rys. 26. Zawartość $^{239, 240}\text{Pu}$ w osadach z jeziora Wadąg pobranych w latach 2004-2016.

5.7 Analiza zawartości poszczególnych parametrów w wodach rzecznych w układzie dorzeczy oraz ich porównanie do wód jeziornych na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

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

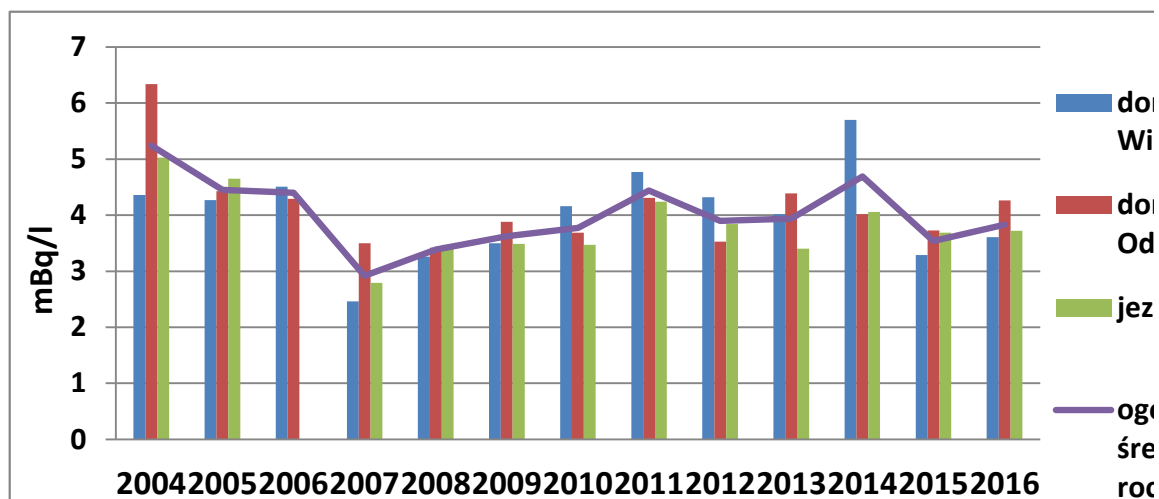
Rysunek 27. przedstawia wykres obrazujący średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodzie dla dorzeczy Wisły, Odry i jezior w odniesieniu do ogólnej średniej rocznej w latach 2004-2016. Najniższe wartości średniego rocznego stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs w każdym roku monitoringu obserwujemy dla dorzecza Wisły. Zawartości ^{137}Cs w dorzeczu Odry i jeziorach są zazwyczaj bardziej porównywalne ze sobą. Wyjątek stanowi rok 2012, kiedy odnotowano najwyższe średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs . Prawdopodobnie było to spowodowane niskim poziomem wód, jaki miał miejsce w tym roku, mogło to spowodować kumulację badanego izotopu. Szczególnie podwyższony poziom był widoczny dla dorzecza Odry (średnia - 8,48 mBq/l). Wpływ na podwyższenie wartości średniej miał również otrzymany wynik dla próbki osadu pobranego wiosną w Chałupkach (40,72 mBq/l). Jesienią oznaczona zawartość ^{137}Cs była już dziesięciokrotnie niższa. W latach 2013 i 2014 oraz 2015 i 2016 obserwujemy wyrównany i powtarzalny poziom stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs . W bieżącym roku zawartość izotopu cezu w wodzie dla dorzecza Wisły, jezior była wyrównana i niższa niż w ostatnich latach. Natomiast zawartość izotopu cezu w wodzie dorzecza Odry była nieznacznie wyższa niż w ubiegłym roku.



Rys. 27. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2016.

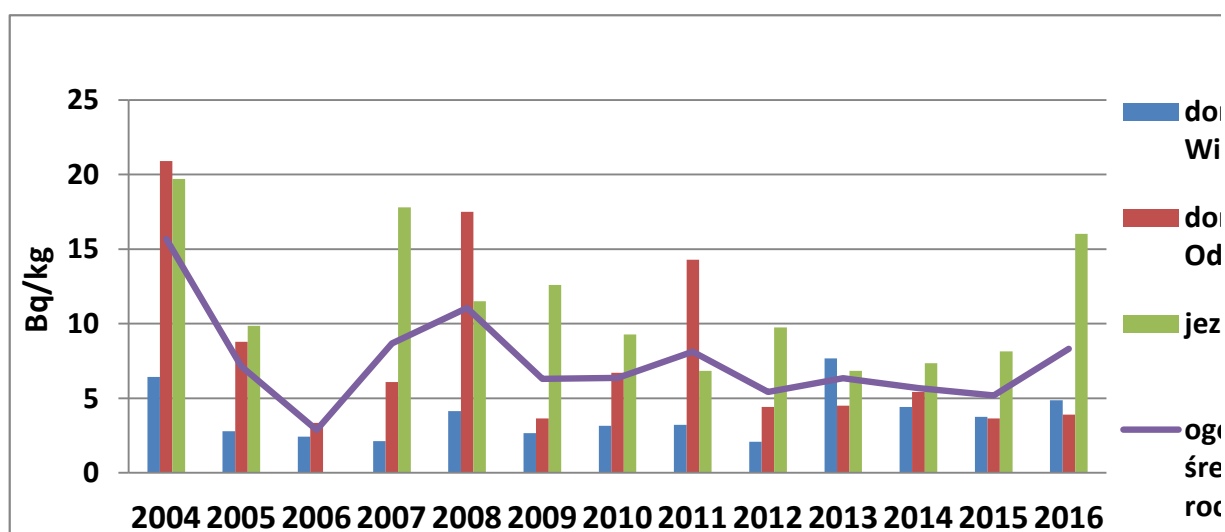
5.7.2 Analiza zawartości ^{90}Sr w wodach rzecznych w układzie dorzeczy oraz ich porównanie do wód jeziornych na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Na Rysunku 28. przedstawiono średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w wodzie dla dorzeczy Wisły, Odry i jezior w odniesieniu do ogólnej średniej rocznej z lat 2004-2016. W przypadku ^{90}Sr na przestrzeni dwunastu lat monitoringu nie widać wyraźnie powtarzających się zależności. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w poszczególnych latach dla dorzeczy Wisły i Odry jak i jezior są bardziej wyrównane niż w przypadku analogicznych średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs . Najwyższą wartość otrzymano w pierwszym roku badań (5,2 mBq/l). Przez kolejne trzy lata obserwowano spadek ogólnego średniego rocznego stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr do roku 2007, w którym to roku odnotowano najniższą wartość – 2,9 mBq/l. Przez kolejne dziewięć lat zawartość ^{90}Sr w analizowanych wodach utrzymywała się na zbliżonym poziomie. Zarejestrowane zmiany mieściły się w zakresie 1,5 mBq/l. Poszczególne podwyższone wartości średnich rocznych dla dorzeczy i jezior zazwyczaj spowodowane były jednokrotnym oznaczeniem wyższej zawartości ^{90}Sr w pojedynczych próbkach, które nie znajdowały potwierdzenia stabilności zmiany w kolejnych analizach. Na przykład w 2014 roku na wyższą wartość ogólnej średniej rocznej stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr dla dorzecza Wisły w stosunku do pozostałych lat, miał wpływ wynik otrzymany dla próbki osadu pobranego jesienią w Płocku. Stężenie wynosiło 16,15 mBq/l i było od 3 do 5 razy wyższe od wartości uzyskanych dla próbek pobranych w innych lokalizacjach.



Rys. 28. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2016.

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



Rys. 29. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2016.

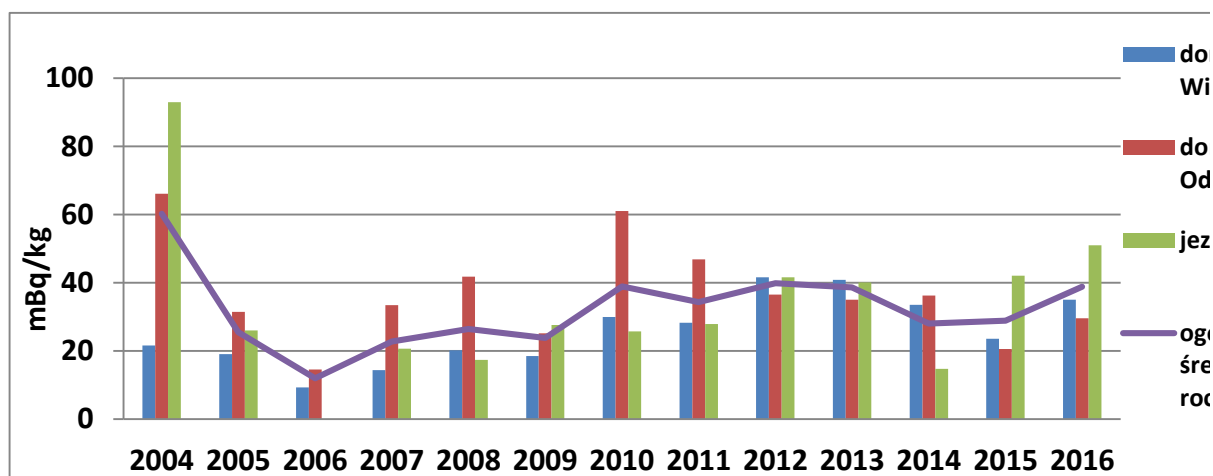
Rysunek 29. przedstawia wykres obrazujący średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych dla dorzecza Wisły, Odry i jezior w odniesieniu do ogólnej średniej rocznej w latach 2004-2016.

W ocenie ogólnej średniej rocznej zawartości ^{137}Cs w osadach dennych pomijamy rok 2006, ponieważ w tym roku nie były monitorowane jeziora.

Najwyższe ogólne średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych zanotowano w roku 2004. Średnie roczne stężenia wynosiły wówczas odpowiednio: dla

dorzecza Wisły – 6,4 Bq/kg, dla dorzecza Odry - 20,9 Bq/kg i dla jezior – 19,7 Bq/kg. Najbardziej zbliżone średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs zanotowano jeszcze kilkakrotnie; dla jezior w roku 2007 (12,6 Bq/kg) i 2016 (16,0 Bq/kg), dla dorzecza Wisły w 2013 (7,7 Bq/kg), a dla dorzecza Odry w roku 2008 (17,5 Bq/kg). We wszystkich latach monitoringu zawartość ^{137}Cs była znacznie niższa dla dorzecza Wisły niż dorzecza Odry i jezior. Jedynie w rok 2013 nie obserwuje się tej zależności. W tym roku na wyższą wartość średniej rocznej stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs dla dorzecza Wisły w stosunku do pozostałych lat, miał wpływ wynik otrzymany dla próbki osadu pobranego wiosną w Krakowie Tyńcu (63,75 Bq/kg). Wszystkie wartości średnich rocznych stężeń ^{137}Cs są najbardziej wyrównane w roku 2014. Natomiast ogólna średnia roczna zawartości ^{137}Cs w osadach dennych w roku 2015 ma najniższą wartość – 5,2 Bq/kg (z pominięciem roku 2006, w którym nie były monitorowane jeziora).

5.7.4 Analiza zawartości ^{238}Pu i $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych rzecznych w układzie dorzeczy oraz ich porównanie do wód jeziornych na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.



Rys. 30. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2016.

Rysunek 30. przedstawia wykres obrazujący średnie roczne stężenia promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych dla dorzeczy Wisły, Odry i jezior w odniesieniu do ogólnej średniej rocznej w latach 2004-2016.

Podobnie jak w przypadku izotopu ^{137}Cs w ocenie ogólnej średniej rocznej zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych nie bierzemy pod uwagę roku 2006, w którym nie były monitorowane jeziora.

Z pominięciem pierwszego roku badań i roku 2006 widzimy, że zmiany zawartości izotopów $^{239,240}\text{Pu}$ na przestrzeni czternastu lat obserwacji mieszczą się w zakresie 20 mBq/kg.

Najwyższe średnie stężenia $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych obserwowano w roku 2004 dla jezior (93,0 mBq/kg) i w 2010 dla dorzecza Odry (61,1 mBq/kg).

Z obserwacji średnich rocznych zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych wynika, że w latach 2012 i 2013 poziom jego stężenia w dorzeczach Wisły, Odry i w jeziorach jest najbardziej zbliżony i wynosi ok. 40 mBq/kg. W roku 2014 i 2015 odnotowano spadek ogólnej rocznej zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w stosunku do kilku wcześniejszych lat (2010-2013). Pomimo podwyższonej zawartości izotopów plutonu w 2015 roku w jeziorach wartość ogólnej średniej rocznej pozostała na tym samym poziomie co w roku 2014 (ok. 28 mBq/kg).

W roku bieżącym zaobserwowaliśmy niewielki wzrost stężeń izotopów plutonu w dorzeczach Wisły, Odry i w jeziorach w stosunku do roku 2015. Odnotowane wyższe wartości nie świadczą o zmianie warunków radiologicznych obserwowanych od wielu lat, są wynikiem oznaczenia większej ilości $^{239,240}\text{Pu}$ dla pojedynczych próbek (Tabela 11.). Kilkakrotnie większe wartości mogą jednak sugerować zmianę składu osadów nanoszonych w miejscach poboru prób w poszczególnych okresach badań

Osady denne charakteryzują się bardzo niskimi zawartościami izotopów plutonu. Na wartość oznaczonego stężenia duży wpływ ma skład granulometryczny (typ) osadu, który może zmieniać się w poszczególnych latach wskutek np. prądów rzecznych lub nawet niewielkich różnic miejsc poboru próbki. Niskie stężenia obarczone są również większym błędem pomiarowym.

6. PODSUMOWANIE.

Monitoringu skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych w 2016 roku obejmował próbki wody i osadów dennych pobrane dwukrotnie w każdym roku (wiosną i jesienią) w 18 punktach, zlokalizowanych w dorzeczu Wisły (7 punktów poboru), w dorzeczu Odry (5 punktów poboru) i w wybranych jeziorach (6 jezior).

Próbki wody z rzek pobierano z głównego nurtu, natomiast wodę z jezior pobierano z pomostów. Objętość próbki wynosiła 20 litrów. Próbki osadów pobierano z trzech miejsc, oddalonych od siebie o ok. 30-50 m i z nich sporządzano próbkę zbiorczą o masie ok. 1 kg.

Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach oraz izotopów plutonu w osadach dennych oznaczano metodami radiochemicznymi, natomiast stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych oznaczano metodą spektrometrii gamma.

Ogólną ocenę sytuacji radiologicznej powierzchniowych wód w Polsce przeprowadzono na podstawie średnich stężeń izotopów promieniotwórczych w badanych komponentach środowiska wodnego. Porównanie poszczególnych wyników oznaczeń izotopów wiosną i jesienią przysparza trudności, wynikające przede wszystkim z różnych warunków atmosferycznych w jakich dokonywany jest pobór prób. W przypadku osadów dennych różnice te wynikają dodatkowo z różnic w składzie osadów nanoszonych w miejscach poboru próbek (od typowo piaszczystych do ilasto gliniastych), w poszczególnych okresach badań.

Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach dorzecza Wisły, Odry i wodach jezior był na wyrównanym poziomie i zawierały się w granicach od 2,13 mBq l⁻¹ (dla jezior) do 2,96 mBq l⁻¹ (dla dorzecza Odry). Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr zawierały się w granicach 3,61 mBq l⁻¹ dla dorzecza Wisły – 4,27 mBq l⁻¹ dla jezior

W osadach dennych rzek i jezior obserwuje się duże różnice w stężeniach promieniotwórczych ^{137}Cs i $^{239,240}\text{Pu}$. Największe zróżnicowanie obserwowano dla jezior. Najmniejsze różnice w stężeniach tych izotopów obserwowano w osadach dennych dorzecza Wisły.

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych były także zróżnicowane: najniższe w dorzeczu Odry 3,90 Bq kg⁻¹, a najwyższe dla jezior 16,03 Bq kg⁻¹.

W przypadku $^{239,240}\text{Pu}$ wartości średnich rocznych stężeń promieniotwórczych były zbliżone dla osadów rzecznych, a zdecydowanie wyższe dla jezior i wynosiły odpowiednio: dla dorzecza Wisły – 35,00 mBq/kg, dla dorzecza Odry – 29,54 mBq kg⁻¹ i dla jezior – 50,98 mBq kg⁻¹.

Dla izotopu ^{238}Pu nie przeprowadzono analizy wyników tak jak dla pozostałych pierwiastków, ponieważ od kilku lat w większości przypadków zawartość ^{238}Pu w analizowanych próbkach jest mniejsza od granicy detekcji (2 mBq/kg).

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

Zarówno średnie roczne stężenia promieniotwórcze wszystkich badanych nuklidów jak i dane uzyskane dla pojedynczych próbek badanej wody i osadów dennych nie odbiegają od wyników uzyskiwanych w poprzednich latach.

7. WNIOSKI.

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 stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs i $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych rzek i jezior pozostaje na niskim poziomie.

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