

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

ZADANIE 2:

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

ETAP IV

Raport

Rok 2017

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



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

Marzec 2018

WSTĘP

Celem pracy było oznaczenie skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych. W ramach Programu Państwowego Monitoringu Środowiska 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 2017 były następujące:

1. Termin wiosenny – od 22 kwietnia do 19 czerwca;
2. Termin jesienny - od 6 września do 26 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 miejsc, 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 2017	Data poboru próbek jesień 2017	Długość geograficzna wschodnia DMS	Szerokość geograficzna północna DMS
Drawsko, Stare Drawsko	<i>zachodnio-pomorskie</i>	10.06	26.10	16°11'39"	53°36'08"
Wadąg, Myki	<i>warmińsko-mazurskie</i>	20.04	07.09	20°33'44"	53°51'02"
Partęczyny, Wielkie Partęczyny	<i>kujawsko-pomorskie</i>	21.04	07.09	19°25'21"	53°23'06"
Rogóźno, Rogóźno	<i>lubelskie</i>	07.06	23.10	22°58'20"	51°22'50"
Niesłysz, Niesulice	<i>lubuskie</i>	09.06	25.10	15°23'54"	52°12'57"
Wigry, Stary Folwark	<i>podlaskie</i>	20.04	06.09	23°05'08"	54°04'38"

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

Rzeka	Miejsce poboru próbek	Data poboru próbek wiosna 2017	Data poboru próbek jesień 2017	Długość geograficzna wschodnia DMS	Szerokość geograficzna północna DMS
Wisła	Kraków Tyniec	07.06	23.10	19°48'05"	50°01'11"
	Annopol	07.06	23.10	21°50'02"	50°53'11"
	Warszawa	19.06	18.10	21°00'48"	52°15'43"
	Płock	21.04	07.09	19°41'13"	52°32'00"
	Kieżmark	21.04	07.09	18°56'57"	54°15'20"
Narew	Pultusk	20.04	06.09	21°05'38"	52°42'00"
Bug	Wyszków	20.04	07.09	21°27'33"	52°35'24"
Odra	Chałupki	08.06	24.10	18°19'43"	49°55'22"
	Wrocław	08.06	24.10	16°59'19"	51°08'07"
	Głogów	08.06	24.10	16°05'08"	51°40'12"
	Krajnik	09.06	25.10	14°18'46"	53°02'02"
Warta	Poznań	10.06	26.10	16°56'11"	52°22'55"

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 fosfomolibdenianu amonu (AMP) i pomiarze aktywności β preparatu. Do oznaczenia stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr stosowano metodę polegającą na oznaczeniu ^{90}Y , krótko żyłowego izotopu ($T_{1/2}$ - 64,2 h) powstającego w wyniku rozpadu ^{90}Sr . Analizę prowadzono w obecności, ^{85}Sr , co pozwoliło na określenie wydajności ^{90}Sr . Wydajność radiochemiczna oznaczeń stężenia promieniotwórczego, ^{90}Sr wynosiła od 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 osłonnym o grubości ścianek 10 cm i wyłożonym 2-mm warstwą miedzi. Detektor połączony jest z wielokanałowym analizatorem amplitudy impulsów MULTIPORT II MCA z oprogramowaniem spektrometrycznym GENIE-2000 firmy Canberra. Zdolność rozdzielcza detektora wynosi 1,8 keV dla ^{60}Co (1332 keV), a względna wydajność 33%. Czas pomiaru dobierano w taki sposób, aby błąd pomiaru nie przekraczał 10%. Granica detekcji przy czasie pomiaru 150000 s wynosi 0,40 Bq/kg suchej masy osadu dennego.

Zasada metody oznaczania stężenia promieniotwórczego $^{239,240}\text{Pu}$ i ^{238}Pu polega na wydzieleniu plutonu z badanej próbki, elektrodepozycji i pomiarze aktywności metodą α -spektrometryczną. Analizę prowadzono w obecności znacznika (^{242}Pu), co pozwala na określenie wydajności chemicznej i wydajności pomiaru. Pluton wydzielano z próbki stosując wymianę jonową, a następnie prowadzono elektrodepozycję plutonu na krążkach stalowych. Aktywność izotopów plutonu mierzono 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.

Stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w próbkach wody z poszczególnych miejsc poboru próbek w rzekach w okresie wiosennym i jesiennym 2017 roku oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu przedstawione są w Tabeli 3. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach rzek mieściły się w granicach od 1,11 mBq/l w Wiśle (Warszawa) do 4,48 mBq/l w Wiśle (Tyniec). Zakres średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs dla dorzecza Odry mieścił się w przedziale od 2,46 (Warta, Poznań) do 3,91 mBq/l (Odra, Wrocław) a, dla dorzecza Wisły od 1,11 (Wisła, Warszawa) do 4,48 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 2017 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	4,98 ± 0,55 ^{a)}	3,97 ± 0,40 ^{a)}	4,48 ± 0,71 ^{b)}
2.	Wisła Annopol	0,82 ± 0,13	3,06 ± 0,35	1,94 ± 1,59
3.	Wisła Warszawa	<0,4	2,21 ± 0,26	1,11 ± 1,57
4.	Wisła Płock	<0,4	3,40 ± 0,39	1,70 ± 2,40
5.	Wisła Kieżmark	3,38 ± 0,39	4,11 ± 0,46	3,75 ± 0,52
6.	Narew Pułtusk	2,56 ± 0,31	1,25 ± 0,18	1,91 ± 0,92
7.	Bug Wyszków	2,65 ± 0,31	0,80 ± 0,13	1,72 ± 1,31
DORZECZE ODRY				
8.	Odra Chałupki	3,93 ± 0,44	3,45 ± 0,39	3,70 ± 0,36
9.	Odra Wrocław	4,31 ± 0,48	3,50 ± 0,39	3,91 ± 0,57
10.	Odra Głogów	3,35 ± 0,39	3,45 ± 0,39	3,40 ± 0,07
11.	Odra Krajnik	1,97 ± 0,26	3,08 ± 0,35	2,53 ± 0,78
12.	Warta Poznań	3,02 ± 0,35	1,90 ± 0,23	2,46 ± 0,79

^{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.

W Tabeli 4. przedstawiono stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach badanych rzek w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2017 roku.

Najwyższą wartość stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr odnotowano w próbce wody pobranej wiosną z Bugu w Wyszku – 5,59 mBq/l, najniższą zaś w próbce wody pobranej jesienią z Wisły w Krakowie Tyniec – 1,38 mBq/l. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach badanych rzek wahało się od 1,81 mBq/l w wodzie z Wisły (Kraków Tyniec) do 3,91 mBq/l w wodzie pobranej z Bugu w Wyszku. Zakres średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr wynosi odpowiednio: dla dorzecza Wisły od 1,81 do 3,91 mBq/l, dla dorzecza Odry jest bardziej wyrównany i wynosi od 3,05 do 3,50 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 2017 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	2,24 ± 0,22 ^{a)}	1,38 ± 0,17 ^{a)}	1,81 ± 0,61 ^{b)}
2.	Wisła Anopol	2,47 ± 0,26	3,24 ± 0,36	2,86 ± 0,54
3.	Wisła Warszawa	1,94 ± 0,22	3,62 ± 0,32	2,78 ± 1,19
4.	Wisła Płock	4,05 ± 0,38	1,84 ± 0,30	2,95 ± 1,56
5.	Wisła Kieżmark	4,05 ± 0,40	2,82 ± 0,30	3,43 ± 0,87
6.	Narew Pułtusk	4,81 ± 0,55	2,62 ± 0,29	3,72 ± 1,55
7.	Bug Wyszków	5,59 ± 0,69	2,22 ± 0,21	3,91 ± 2,39
DORZECZE ODRY				
8.	Odra Chałupki	2,81 ± 0,26	3,29 ± 0,31	3,05 ± 0,34
9.	Odra Wrocław	3,14 ± 0,31	3,86 ± 0,36	3,50 ± 0,50
10.	Odra Głogów	2,73 ± 0,27	3,79 ± 0,35	3,26 ± 0,75
11.	Odra Krajnik	2,45 ± 0,19	3,81 ± 0,36	3,13 ± 0,97
12.	Warta Poznań	2,59 ± 0,23	3,94 ± 0,34	3,27 ± 0,96

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

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

W Tabeli 5. przedstawiono stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w próbkach wody z poszczególnych miejsc poboru próbek w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym 2017 roku oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu. Stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs oznaczone w wodach jezior mieściły się w granicach od 0,93 mBq/l wiosną w jeziorze Wigry do 3,01 mBq/l w jeziorze Wadąg jesienią. Zakres średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs wynosił od 1,46 mBq/l w jeziorze Wigry do 2,32 mBq/l w jeziorze Rogóžno. W latach ubiegłych najwyższą średnią wartość stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs odnotowywano w próbkach wody z jeziora Rogóžno. W tym roku wartość ta jest również najwyższa. Nie odbiega jednak znacząco od pozostałych średnich wartości stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs oznaczonego w pozostałych jeziorach. Biorąc pod uwagę ok.15% błąd oznaczenia można stwierdzić, że średnia zawartość ^{137}Cs w wodach jezior w 2017 roku jest na wyrównanym poziomie.

Tabela 5. Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach jezior w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2017 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	0,93 ± 0,15 ^{a)}	2,00 ± 0,26 ^{a)}	1,46 ± 0,76 ^{b)}
2	Wadąg Myki	1,59 ± 0,21	3,01 ± 0,36	2,30 ± 1,00
3	Wielkie Partęczyny Partęczyny	1,57 ± 0,21	2,04 ± 0,26	1,81 ± 0,33
4	Drawsko Stare Drawsko	2,18 ± 0,28	1,89 ± 0,23	2,04 ± 0,21
5	Nieslysz Niesulice	1,56 ± 0,22	2,35 ± 0,28	1,95 ± 0,56
6	Rogóžno Rogóžno	3,00 ± 0,35	1,65 ± 0,21	2,32 ± 0,96

^{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 2017.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	2,40 ± 0,24 ^{a)}	2,88 ± 0,28 ^{a)}	2,64 ± 0,33 ^{b)}
2	Wadąg Myki	3,13 ± 0,29	1,88 ± 0,30	2,50 ± 0,88
3	Wielkie Partęcz. Partęczyny	2,38 ± 0,24	1,92 ± 0,20	2,15 ± 0,32
4	Drawsko Stare Drawsko	2,66 ± 0,25	2,46 ± 0,25	2,56 ± 0,14
5	Niesłysz Niesulice	1,32 ± 0,15	1,47 ± 0,16	1,39 ± 0,11
6	Rogóżno Rogóżno	6,21 ± 0,62	8,46 ± 0,85	7,34 ± 1,59

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

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

Tabela 6. przedstawia stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach z poszczególnych miejsc poboru w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym 2017 roku oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu.

Najwyższą wartość stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr odnotowano w próbce wody pobranej jesienią z jeziora Rogóżno – 8,46 mBq/l, najniższą zaś w próbce wody pobranej wiosną z jeziora Niesłysz – 1,32 mBq/l. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach badanych jezior wahało się od 1,39 mBq/l w wodzie z jeziora Niesłysz do 7,34 mBq/l w wodzie pobranej w Rogóżnie. Podobnie jak w latach ubiegłych, najwyższe wartości stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr zanotowano w próbkach wody z jeziora Rogóżno, zarówno wiosną jak i jesienią.

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

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

Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach dorzecza Wisły oraz Odry i jezior wynosiły odpowiednio: 2,37; 3,20; 1,88 mBq/l. Najmniejsze różnice w stężeniach promieniotwórczych ^{137}Cs odnotowano dla wód jeziornych (1,23 – 3,01 mBq/l), największe dla dorzecza Wisły (0,4 – 4,98 mBq/l).

Podobnie jak w roku ubiegłym najniższe średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs oznaczono w wodach jeziornych w okresie wiosennym i wynosiło ono 1,81 mBq/l, najwyższe zaś również wiosną w dorzeczu Odry – 3,32 mBq/l.

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 2017r.

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)}	2,06 ± 1,87 ^{b)}	2,69 ± 1,30 ^{b)}	2,37 ± 1,58 ^{b)} (14)	0,4 – 4,98
Dorzecze Odry (5)	3,32 ± 0,91	3,08 ± 0,68	3,20 ± 0,77 (10)	1,90 – 4,31
Jeziora (6)	1,81 ± 0,71	2,16 ± 0,48	1,88 ± 0,60 (12)	1,23 – 3,01
Średnia ogólna (18)	2,32 ± 1,41	2,62 ± 0,95	2,47 ± 1,20 (36)	0,4– 4,98

^{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 2017 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)}	3,59± 1,40 ^{b)}	2,53 ± 0,78 ^{b)}	3,06 ± 1,22 ^{b)} (14)	1,38 – 5,59
Dorzecze Odry (5)	2,75 ± 0,26	3,74 ± 0,26	3,24 ± 0,58 (10)	2,45 – 3,94
Jeziora (6)	3,02 ± 1,67	3,18 ± 2,63	3,10 ± 2,11 (12)	1,32 – 9,01
Średnia ogólna (18)	3,17± 1,29	3,08 ± 1,59	3,12 ± 1,43 (36)	1,87 – 8,46

^{a)} Liczba próbek wody

^{b)} Wartość średnia ± OS

Najniższe średnie stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr oznaczono w wodach dorzecza Wisły w okresie jesiennym i wynosiło ono 2,53 mBq/l, najwyższe również jesienią w dorzeczu Odry – 3,74 mBq/l.

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w dorzeczu Wisły i Odry wynosiło odpowiednio 3,06 mBq/l i 3,24 mBq/l, a w jeziorach 3,10 mBq/l (Tabela 8.) i były na bardzo wyrównanym poziomie. Najmniejsze różnice w stężeniach ^{90}Sr (zakres 2,45 – 3,94 mBq/l), odnotowano dla wód dorzecza Odry, największe dla wód jeziornych (zakres 1,32 – 9,01 mBq/l).

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

Tabela 9. przedstawia średnie roczne wartości stosunku stężenia ^{90}Sr do ^{137}Cs w wodach dorzecza Wisły, dorzecza Odry i jezior w 2017 roku.

Stosunek średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr do ^{137}Cs w próbkach wody pobranej z rzek dla poszczególnych punktów mieścił się w zakresie 0,40-2,51, w pięciu próbkach był mniejszy od jedności. W próbkach wody pobranej z jezior stosunek średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr do ^{137}Cs mieścił się w zakresie 0,71-3,16 i tylko dla jednej próbki był mniejszy od jedności. Natomiast stosunek średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr do ^{137}Cs dla dorzeczy i jezior jest bardziej wyrównany i wynosi odpowiednio: dla dorzecza Wisły – 1,29, dla dorzecza Odry – 1,01 i dla jezior – 1,64.

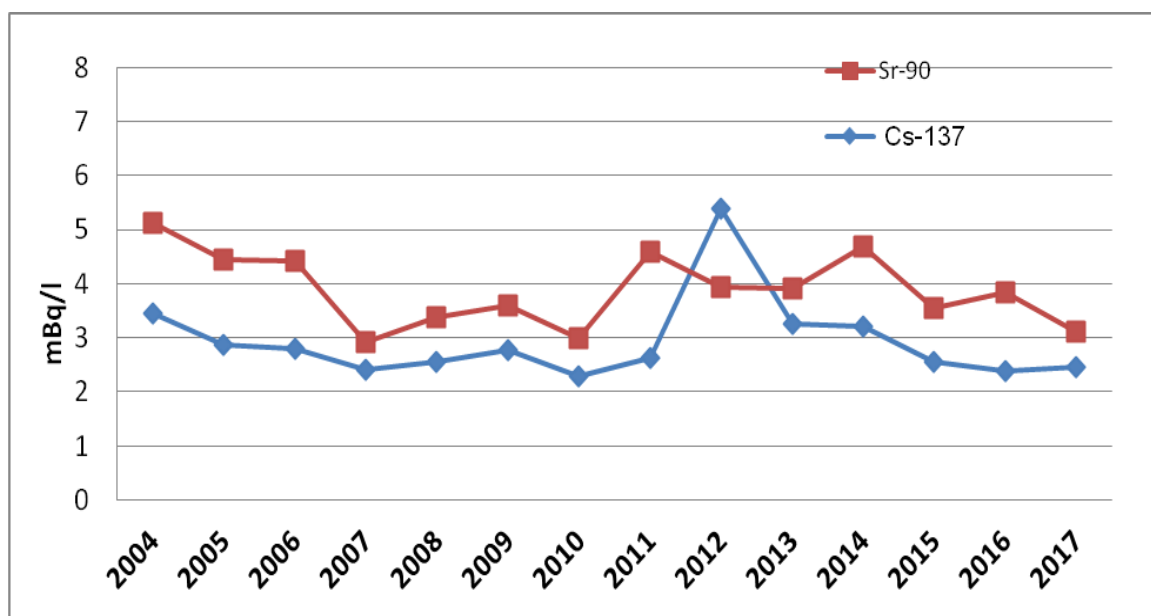
Tabela 9. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior oraz stosunek średnich rocznych stężeń w 2017 r.

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)}	2,37 ± 1,58 ^{b)} (14)	3,06 ± 1,22 ^{b)} (14)	1,29
Dorzecze Odry (5)	3,20 ± 0,77 (10)	3,24 ± 0,58 (10)	1,01
Jeziora (6)	1,88 ± 0,60 (12)	3,10 ± 2,11 (12)	1,64
Średnia ogólna (18)	2,47 ± 1,20 (36)	3,12 ± 1,43 (36)	1,26

^{a)} Liczba próbek wody

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

Czasowy przebieg średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach rzek i jezior w latach 2004 – 2017 przedstawia Rysunek 2. Podane wartości są średnimi arytmetycznymi z oznaczeń poszczególnych radionuklidów w próbkach wody pobranych w kolejnych latach monitoringu. Najwyższy średni poziom stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr zanotowano w pierwszym roku obserwacji. W kolejnych latach średni poziom zarówno ^{137}Cs jak 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%. Szczególnie jest to widoczne dla próbek pobieranych w ostatnich trzech latach.



Rys.2. Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach rzek i jezior w Polsce w latach 2004 – 2017.

4. ANALIZA WYNIKÓW OZNACZEŃ STĘŻEŃ ^{137}Cs , ^{238}Pu I $^{239,240}\text{Pu}$ W ODSADACH DENNYCH POBRANYCH W PUNKTACH BADAWCZYCH W 2017 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 2017 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	$4,39 \pm 0,29^{\text{a}}$	$2,79 \pm 0,15^{\text{a}}$	$3,59 \pm 1,13^{\text{b}}$
2.	Wisła Annapol	$1,82 \pm 0,17$	$0,64 \pm 0,04$	$1,23 \pm 0,83$
3.	Wisła Warszawa	$1,97 \pm 0,14$	$6,00 \pm 0,22$	$3,99 \pm 2,85$
4.	Wisła Płock	$1,08 \pm 0,06$	$0,26 \pm 0,05$	$0,63 \pm 0,58$
5.	Wisła Kieźmark	$3,82 \pm 0,10$	$1,46 \pm 0,10$	$2,64 \pm 1,67$
6.	Narew Pułtusk	$4,48 \pm 0,15$	$4,67 \pm 0,31$	$4,58 \pm 0,13$
7.	Bug Wyszków	$4,91 \pm 0,17$	$0,39 \pm 0,03$	$2,65 \pm 3,20$
DORZECZE ODRY				
8.	Odra Chałupki	$4,89 \pm 0,28$	$6,88 \pm 0,38$	$5,89 \pm 1,44$
9.	Odra Wrocław	$0,56 \pm 0,07$	$0,73 \pm 0,04$	$0,62 \pm 0,16$
10.	Odra Głogów	$2,64 \pm 0,16$	$0,49 \pm 0,05$	$1,57 \pm 1,52$
11.	Odra Krajnik	$0,95 \pm 0,09$	$0,36 \pm 0,04$	$0,66 \pm 0,42$
12.	Warta Poznań	$0,76 \pm 0,07$	$2,68 \pm 0,09$	$1,72 \pm 1,33$

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

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

Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych Wisły, Odry ich dopływów w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie promieniotwórcze tego radionuklidu przedstawiono w Tabeli 10. Najwyższe stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs były oznaczone jesienią w osadzie pobranym z Odry w Chałupkach (6,88 Bq/kg) i jesienią w osadzie pobranym z Wisły w Warszawie (6,00 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, a nawet są około dwukrotnie niższe od najwyższych wyników uzyskanych w ubiegłym roku. Sporadycznie otrzymywane podwyższone wartości dla pojedynczych pomiarów mogą być spowodowane zmianą składu osadów nanoszonych w miejscach poboru prób.

Najniższe stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs (podobnie jak w roku 2016) było oznaczone jesienią w osadzie pobranym z Wisły w Płocku i wynosiło 0,26 Bq/kg. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze tego izotopu zawierały się w granicach od 0,62 Bq/kg do 5,89 Bq/kg i odnosiły się odpowiednio do osadów pobranych na Odrze w Wrocławiu i na Odrze w Chałupkach. Zawartości ^{137}Cs otrzymywane dla większości punktów wiosną są wyższe niż jesienią. Tendencja ta jest obserwowana od wielu lat. Wpływ na taką sytuację mogą mieć różniące się warunki atmosferyczne zaistniałe w okresach pomiędzy poborem prób.

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

Tabela 11. przedstawia 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.

Najwyższe stężenia promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ były oznaczone jesienią w osadzie pobranym z Wisły w Warszawie (61,06 mBq/kg). Najniższe zaś w osadzie z Bugu pobranym jesienią w Wyszku (3,02 mBq/kg) oraz w osadzie pobranym również jesienią z Narwi w Pułtusku (3,56 mBq/kg). Wartości średnich rocznych stężeń promieniotwórczych $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych zawierają się w granicach od 7,67 mBq/kg w osadzie z Narwi (Pułtusk) do 39,73 mBq/kg w osadzie z Wisły (Warszawa).

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 3 z pośród 24 pobranych próbek osadów, a był to osady pobrane wiosną i jesienią w Krakowie Tyńcu ($3,36 \pm 1,34$ mBq/ kg i $3,69 \pm 1,06$ mBq/ kg) oraz wiosną w Warszawie ($4,54 \pm 1,17$ mBq/ kg).

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 2017 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	$27,51 \pm 3,65^{\text{a}}$	$20,26 \pm 2,42^{\text{a}}$	$23,89 \pm 5,13^{\text{b}}$
2.	Wisła Annopol	$21,56 \pm 2,67$	$9,99 \pm 2,62$	$15,78 \pm 8,18$
3.	Wisła Warszawa	$18,39 \pm 2,31$	$61,06 \pm 4,01$	$39,73 \pm 30,17$
4.	Wisła Płock	$13,33 \pm 2,07$	$17,08 \pm 3,05$	$15,21 \pm 2,65$
5.	Wisła Kieźmark	$22,97 \pm 2,82$	$9,67 \pm 2,12$	$16,32 \pm 9,40$
6.	Narew Pułtusk	$11,77 \pm 1,70$	$3,56 \pm 1,54$	$7,67 \pm 5,81$
7.	Bug Wyszków	$34,42 \pm 3,22$	$3,02 \pm 1,24$	$18,72 \pm 22,20$
DORZECZE ODRY				
8.	Odra Chałupki	$20,63 \pm 6,22$	$46,60 \pm 3,95$	$33,62 \pm 18,36$
9.	Odra Wrocław	$5,51 \pm 1,65$	$10,44 \pm 2,84$	$7,98 \pm 3,49$
10.	Odra Głogów	$10,86 \pm 2,33$	$7,68 \pm 2,22$	$9,27 \pm 2,25$
11.	Odra Krainik	$8,19 \pm 1,75$	$8,67 \pm 1,49$	$8,43 \pm 0,34$
12.	Warta Poznań	$5,94 \pm 1,86$	$48,71 \pm 3,85$	$27,33 \pm 30,24$

^{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 oznaczanego izotopu zawierały się w granicach od 1,37 Bq/kg w osadzie pobranym jesienią z jeziora Wielkie Partęczyny do 14,94 Bq/kg w osadzie pobranym wiosną z Rogoźna. Analogicznie jak dla pojedynczych próbek najniższe średnie roczne stężenie ^{137}Cs (2,11 Bq/kg) było oznaczone w osadach z jeziora Wielkie Partęczyny, a najwyższe (12,85 Bq/kg)

w osadach z jeziora Rogóźno. Z wieloletnich obserwacji wynika, że dla jeziora Rogóźno charakterystyczne są większe wartości stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs . Wpływ na poziom badanych pierwiastków może mieć ilość i rodzaj cieków wodnych wpływających do jeziora tym bardziej, że jezioro Rogóźno nie jest jeziorem przepływowym. Jednocześnie jest pochodzenia krasowego, a takie jeziora często charakteryzują się obecnością osadów nieprzepuszczalnych. Mogą być to powody kumulacji badanych nuklidów.

Tabela 12. Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2017 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	$4,28 \pm 0,31^{\text{a}}$	$4,16 \pm 0,16^{\text{a}}$	$4,22 \pm 0,08^{\text{b}}$
2.	Wadąg Myki	$1,90 \pm 0,06$	$3,01 \pm 0,18$	$2,46 \pm 0,78$
3.	Wielkie Partęczyny Partęczyny	$2,85 \pm 0,07$	$1,37 \pm 0,10$	$2,11 \pm 1,05$
4.	Drawsko Stare Drawsko	$3,26 \pm 0,20$	$2,60 \pm 0,11$	$2,93 \pm 0,47$
5.	Niesłysz Niesulice	$5,60 \pm 0,49$	$6,31 \pm 0,37$	$5,96 \pm 0,50$
6.	Rogóźno Rogóźno	$14,94 \pm 1,07$	$10,76 \pm 0,47$	$12,85 \pm 2,96$

^{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.

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

Analogicznie jak w roku ubiegłym w 2017 roku najniższe stężenie $^{239,240}\text{Pu}$ (4,19 mBq/kg) było oznaczone wiosną w osadzie pobranym z jeziora Wadąg, a największe (55,12 mBq/kg) w osadzie wiosennym z jeziora Rogóźno. Z kilkunastoletnich obserwacji wynika, że dla jeziora Rogóźno charakterystyczne są większe wartości stężenia promieniotwórczego oznaczanych izotopów (szczególnie izotopów oznaczanych w osadach) 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.

Tabela 13. Stężenie promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach w jeziorach w okresie wiosennym i jesiennym oraz średnie roczne stężenie tego radionuklidu w 2017 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	10,64 ± 2,02 ^{a)}	28,63 ± 3,86 ^{a)}	19,64 ± 12,72 ^{b)}
2.	Wadąg Myki	4,19 ± 0,95	14,17 ± 3,07	9,18 ± 7,06
3.	Wielkie Parteczyny Partęczyny	6,62 ± 1,76	9,12 ± 2,21	7,87 ± 1,77
4.	Drawsko Stare Drawsko	7,01 ± 1,93	6,11 ± 2,09	6,56 ± 0,64
5.	Niesłysz Niesulice	32,89 ± 4,63	6,72 ± 1,86	19,81 ± 18,50
6.	Rogóżno Rogóżno	55,12 ± 7,01	35,82 ± 3,71	45,47 ± 13,65

^{a)}Wartość ± CWN przy poziomie ufności 68% ^{b)}Wartość średnia ± OS

Średnie roczne stężenie $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych zawiera się w granicach od 6,56 mBq/kg w jeziorze Drawsko do 45,47 mBq/kg w jeziorze Rogóżno.

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 wiosną z Rogóżna (2,08 ± 1,59 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.

Średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w 2017 roku było najniższe wiosną w dorzeczu Odry i wynosiło 1,95 Bq/kg, a najwyższe również wiosną w jeziorach – 5,47 Bq/kg.

Średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs dla dorzecza Wisły, Odry i jezior wynosiło odpowiednio 2,76; 2,09 i 5,09 Bq/kg. Jak widać dla dorzecza Odry określono najniższe

średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs . Największe różnice w stężeniach ^{137}Cs obserwowano dla jezior od 1,37 do 14,95 Bq/kg. Stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w jeziorach jest zazwyczaj wyższe niż w dorzeczach rzek. Przyczyną takiej różnicy może być bardziej stabilna sytuacja hydrologiczna jezior. Pomimo, że większość jezior jest przepływowa, to jednak wymiana wód w zbiornikach jest wolniejsza niż w przypadku rzek.

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 2017 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)}	3,21 ± 1,54 ^{b)}	2,32 ± 2,27 ^{b)}	2,76 ± 1,92 ^{b)} (14)	0,26 – 6,00
Dorzecze Odry (5)	1,95 ± 1,84	2,23 ± 2,77	2,09 ± 2,17 (10)	0,49 – 6,88
Jeziora (6)	5,47 ± 4,81	4,70 ± 3,40	5,09 ± 3,99 (12)	1,37 – 14,94
Średnia ogólna (18)	3,61 ± 3,25	3,09 ± 2,90	3,35 ± 2,89 (36)	0,26 – 14,94

^{a)} Liczba próbek osadów dennych

^{b)} Wartość średnia ± OS

4.6. Porównanie zawartości ^{238}Pu i $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych badanych rzek z zawartościami notowanymi 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 2017 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)}	21,42 ±	17,81 ± 20,11	19,61 ± 14,80	3,02 – 34,42
Dorzecze Odry (5)	10,23 ± 6,19	24,42 ± 21,25	17,32 ± 16,54	5,51 – 48,71
Jeziora (6)	19,41 ± 20,41	16,76 ± 12,52	18,09 ± 16,20	4,19 – 55,12
Średnia ogólna (18)	17,64 ±	19,30 ± 17,49	18,47 ± 11,62	3,02 – 55,12

^{a)} Liczba próbek osadów dennych

^{b)} Średnia ± OS

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, Odry i jezior było na zbliżonym poziomie i wynosiły odpowiednio 19,61 mBq/kg i 17,32 mBq/kg i 18,09 mBq/kg. Największe różnice stężeń oznaczanych izotopów występowały w jeziorach i mieściły się w zakresie od 4,19 do 55,12 mBq/kg.

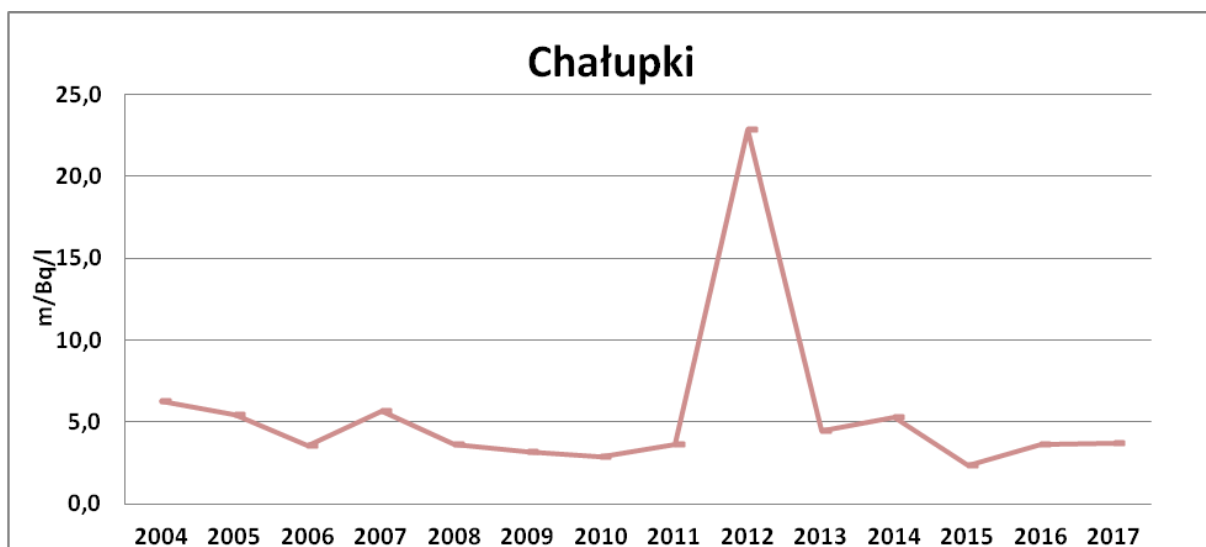
Dla izotopu ^{238}Pu nie przeprowadzono analizy wyników tak jak izotopów $^{239,240}\text{Pu}$, ponieważ od kilku lat w większości przypadków zawartość ^{238}Pu w analizowanych próbkach jest mniejsza od granicy detekcji (2 mBq/kg).

5. ZMIANY WARUNKÓW RADIOLOGICZNYCH NA PRZESTRZENI LAT.

Zmiany warunków radiologicznych na przestrzeni lat przedstawiono dla czterech wybranych punktów pomiarowych zlokalizowanych na rzece Odrze (Chałupki, Wrocław, Głogów i Krajnik) oraz dla dwóch jezior Wielkie Partęczyny i Drawsko 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 Odrze w Chałupkach.

5.1.1. Analiza zawartości ^{137}Cs w wodzie pobranej z Odry w Chałupkach na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.



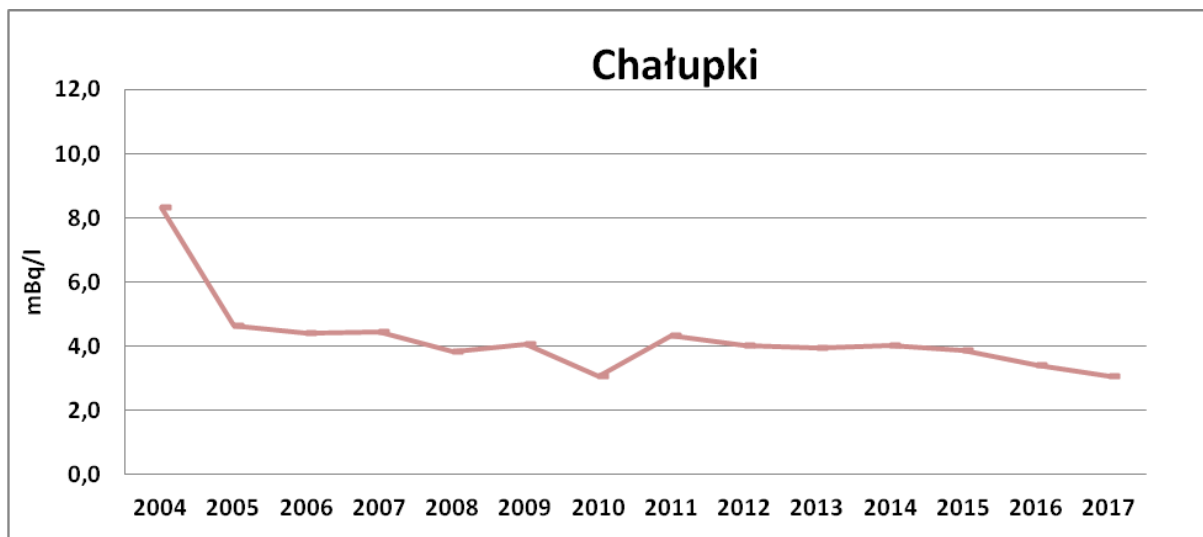
Rys. 3. Zawartość ^{137}Cs w wodach Odry pobranej w Chałupkach w latach 2004-2017.

Rysunek 3 przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w wodach dorzecza Odry dla punktu pomiarowe w Chałupkach w latach 2004 – 2017. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.

Średni poziom stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs w wodzie pobieranej w Chałupkach przez wszystkie lata obserwacji był dosyć wyrównany. Jedynie w roku 2012 zanotowano niewielki wzrost zawartości ^{137}Cs . Podwyższona wartość średniej rocznej ^{137}Cs w wodzie spowodowana została oznaczonym stężeniem promieniotwórczego tego izotopu w próbce wiosennej (40,72 mBq/l), można to tłumaczyć czasowym wpływem wód np. deszczowych, nanoszących w to miejsce gleby o większej zawartości ^{137}Cs , który przenika do wody rzecznej. Trwałości tej zmiany nie potwierdziły badania jesienne, w których oznaczone stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w wodzie wynosiło 4,95 mBq/l.

Należy jednak podkreślić, że pomimo odnotowanej zmiany zawartość, ^{137}Cs w wodzie z Odry w Chałupkach pozostaje na niskim poziomie. Potwierdza to również wynik uzyskany w roku bieżącym - 3,70 mBq/l.

5.1.2. Analiza zawartości ^{90}Sr w wodzie pobranej z Odry w Chałupkach na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.



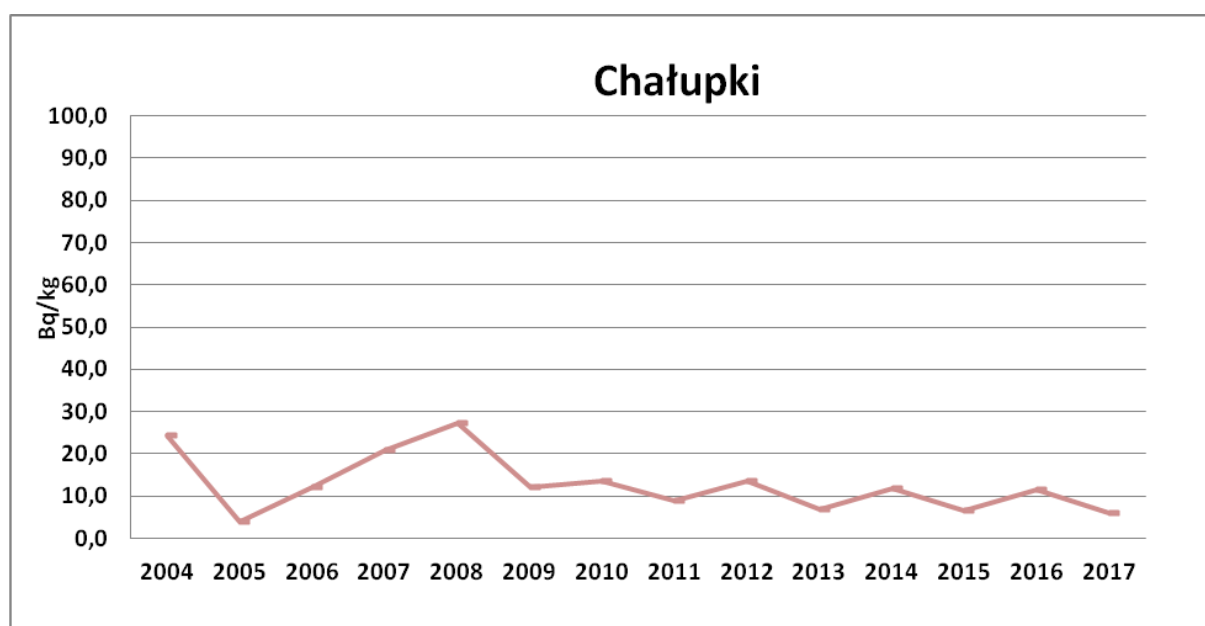
Rys. 4. Zawartość ^{90}Sr w wodach Odry pobranej w Chałupkach w latach 2004-2017.

Rysunek 4. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr w wodach Odry pobranej w Chałupkach w latach 2004-2017. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.

Na przestrzeni lat średnie stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr mieści się w zakresie od 3,1 (rok 2017) do 8,3 mBq/l (rok 2004). Można przyjąć, że stężenie ^{90}Sr w latach 2004-2017 przy nieznacznych fluktuacjach pozostaje na wyrównanym poziomie z tendencją spadkową od roku 2014.

5.1.3. Analiza zawartości ^{137}Cs w osadach pobranych z Odry w Chałupkach na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Rysunek 5 przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w osadach dorzecza Odry dla punktu pomiarowego w Chałupkach w latach 2004 – 2017. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.



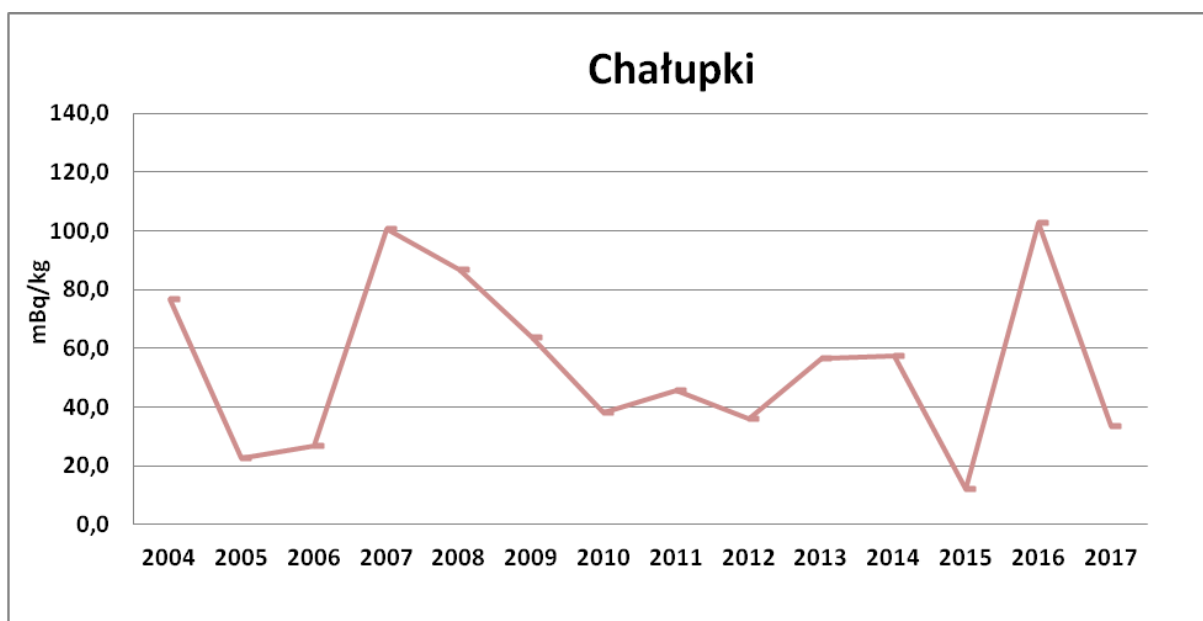
Rys. 5. Zawartość ^{137}Cs w osadach z Odry pobranych w Chałupkach w latach 2004-2017.

W przypadku punktu poboru w Chałupkach występują zmiany zawartości izotopu ^{137}Cs w poszczególnych latach obserwacji. Szczególnie jest to widoczne w początkowych sześciu latach obserwacji. Na te fluktuacje mogła mieć wpływ zaobserwowana duża zmienność poziomu wód podczas poboru prób, zarówno pomiędzy poszczególnymi latami, jak nawet pomiędzy poborem wiosennym i jesiennym. Wyższe poziomy wód wiążą się z większym przedostawaniem się różnego rodzaju gleb do rzeki. Mogą się one charakteryzować większą w stosunku do osadu zawartością ^{137}Cs . Od 2009 roku obserwujemy mniejsze wahania zawartości izotopu ^{137}Cs . Mieszczą się one w granicach od 5,9 Bq/kg w roku 2017 do 13,6 Bq/kg w roku 2010.

5.1.4. Analiza zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach pobranych z Odry w Chałupkach na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Rysunek 6. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach z Odry pobranych w Chałupkach w latach 2004-2017. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.

W przypadku punktu poboru w Chałupkach występują znaczne zmiany zawartości izotopów $^{239,240}\text{Pu}$ w poszczególnych latach obserwacji. Podobnie, jak w przypadku ^{137}Cs na te fluktuacje może mieć wpływ zaobserwowana dla tych punktów duża zmienność poziomów wód podczas poboru prób, zarówno pomiędzy poszczególnymi latami, jak nawet pomiędzy poborem wiosennym i jesiennym. Wyższe poziomy wód wiążą się z większym przedostawaniem się różnego rodzaju gleb do rzeki. Mogą się one charakteryzować większą zawartością izotopów $^{239,240}\text{Pu}$ w stosunku do osadu. Najwyższą zawartość izotopów $^{239,240}\text{Pu}$ w osadzie oznaczono roku 2016 i wynosiła ona 102,8 mBq/kg, najniższą zaś w roku 2015- 12,1 mBq/kg. W bieżącym roku oznaczono izotopy plutonu na poziomie 33,6 mBq/kg.



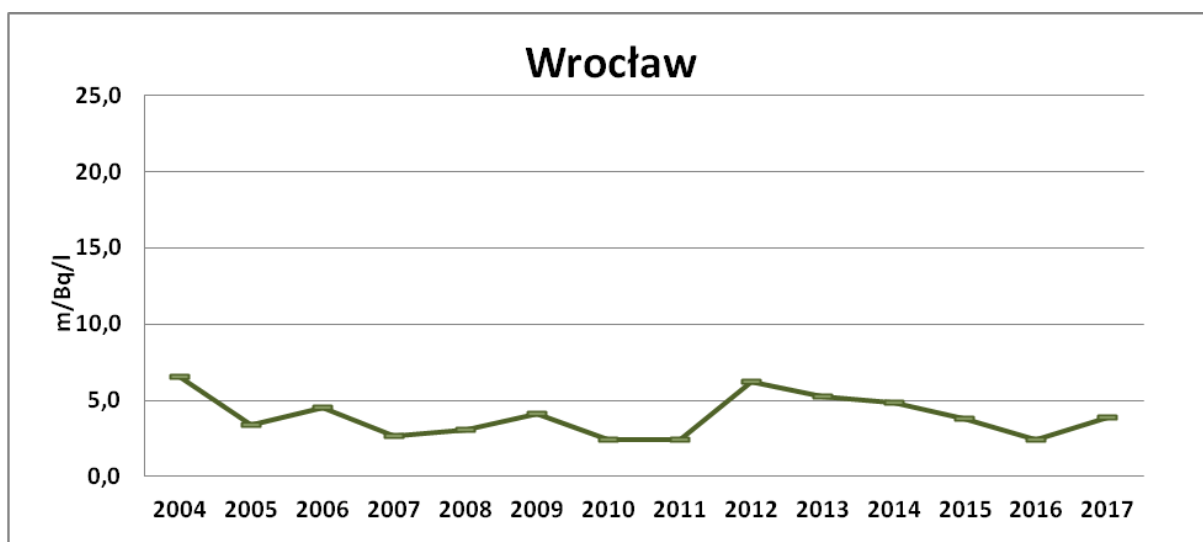
Rys.6. Zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach z Odry pobranych w Chałupkach w latach 2004-2017

5.2. Zmiany warunków radiologicznych na przestrzeni lat dla punktu na rzece Odrze we Wrocławiu.

5.2.1. Analiza zawartości ^{137}Cs w wodzie pobranej na rzece Odrze we Wrocławiu na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Rysunek 7. Przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w wodach Odry pobranej we Wrocławiu w latach 2004-2017. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.

Na przestrzeni lat średnie stężenie promieniotwórcze izotopu ^{137}Cs mieści się w wąskim zakresie od 2,4 (rok 2010, 2011 i 2016) do 6,5 mBq/l (rok 2004). Można zatem stwierdzić, że zawartość ^{137}Cs w wodzie z Odry we Wrocławiu pozostaje na niskim, nieznacznie zmieniającym się poziomie.



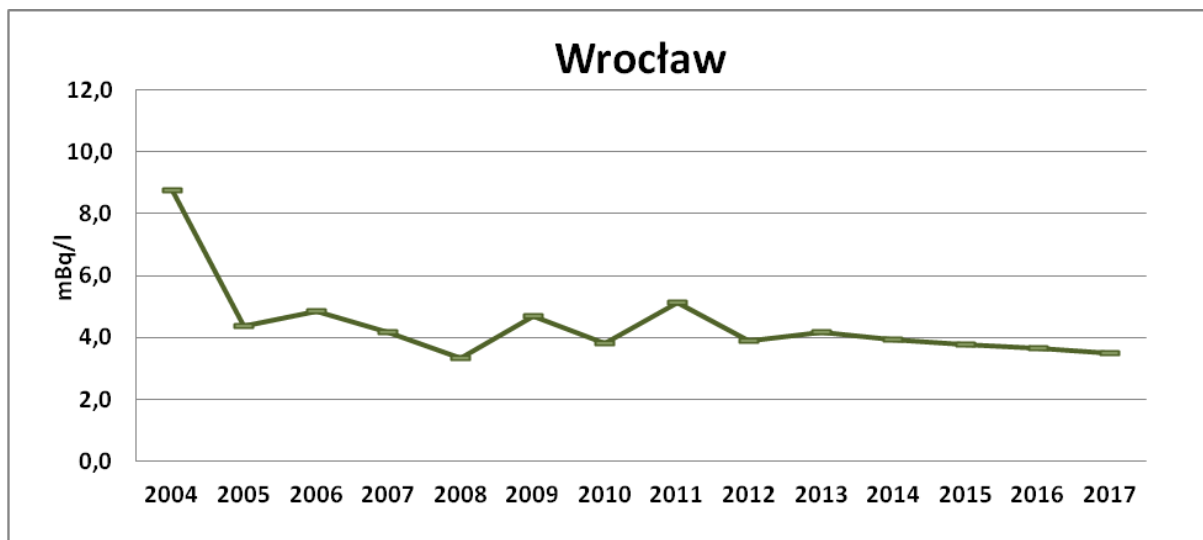
Rys. 7. Zawartość ^{137}Cs w wodach Odry pobranej we Wrocławiu w latach 2004-2017.

5.2.2. Analiza zawartości ^{90}Sr w wodzie pobranej na rzece Odrze we Wrocławiu na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr w wodach Odry pobranej we Wrocławiu w latach 2004-2017. 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. Z wyjątkiem pierwszego roku badań, w którym odnotowano stężenie promieniotwórczych ^{90}Sr o wartości 8,8 mBq/l. Poza tym, zakres w jakim obserwowano fluktuacje to ok. 2 mBq/l. Od 2013 roku obserwujemy ciągły, nieznaczny

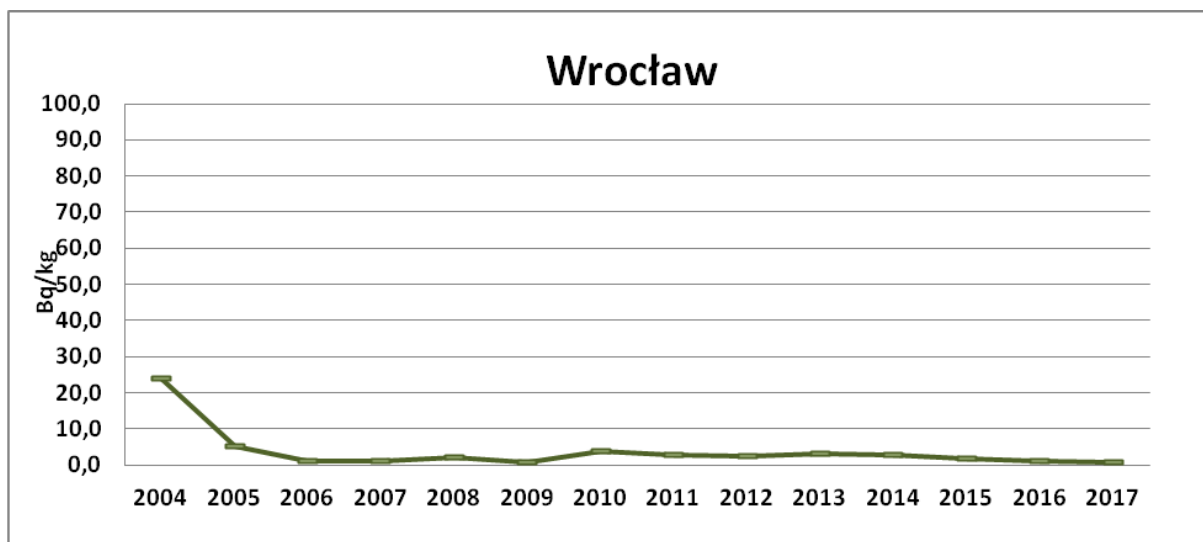
spadek zawartości badanego izotopu. Można zatem stwierdzić, że zawartość ^{90}Sr w wodach z Odry w badanym punkcie jest niezmienna od kilkunastu lat i jest na niskim poziomie.



Rys. 8. Zawartość ^{90}Sr w wodach Odry pobranej we Wrocławiu w latach 2004-2017.

5.2.3. Analiza zawartości ^{137}Cs w osadach pobranych na rzece Odrze we Wrocławiu na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Zawartość ^{137}Cs w osadach Odry pobranych we Wrocławiu w latach 2004-2017 przedstawiona została na Rysunku 9.

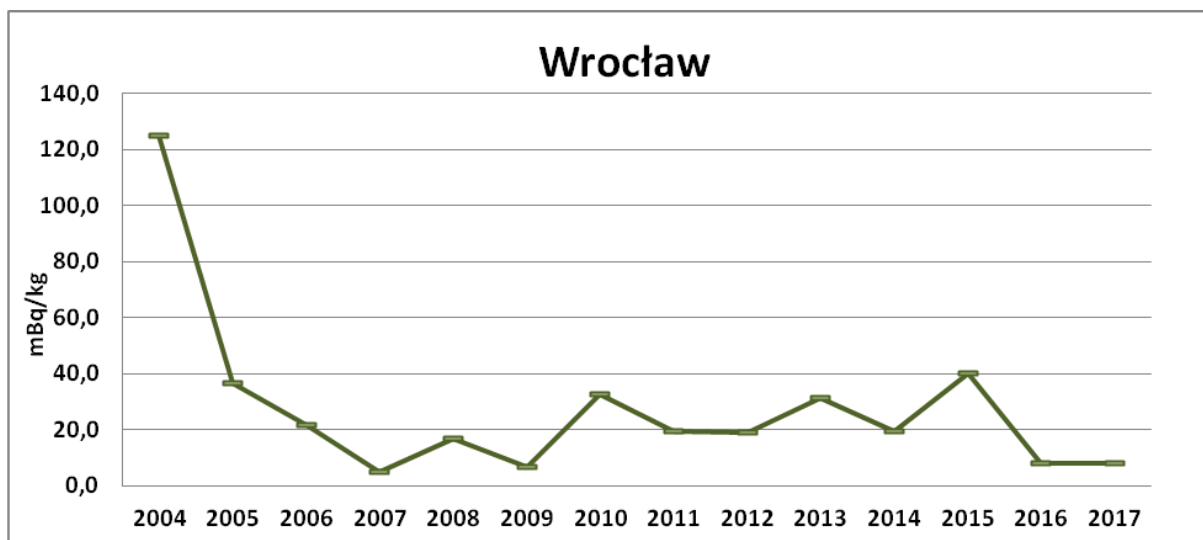


Rys. 9. Zawartość ^{137}Cs w osadach Odry pobranych we Wrocławiu w latach 2004-2017.

W punkcie poboru we Wrocławiu, nieco wyższe wartości średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs odnotowano w pierwszych latach obserwacji: rok 2004 - 23,9 Bq/kg i w roku 2005 - 5,3 Bq/kg. W kolejnych latach zawartość ^{137}Cs w osadach była na

niskim poziomie i jednocześnie była bardzo stabilna. Minimalną wartość odnotowano w bieżącym roku - wynosiła ona 0,6 Bq/kg, zaś maksymalną w roku 2010 – 3,8 Bq/kg.

5.2.4. Analiza zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach pobranych na rzece Odrze we Wrocławiu na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.



Rys. 10. Zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach Odry pobranych we Wrocławiu w latach 2004-2017.

Rysunek 10. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach Odry pobranych we Wrocławiu w latach 2004-2017. 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. Podwyższoną średnią zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ odnotowano jedynie w osadzie pobranym w roku 2004, która wynosiła 125,0 mB/kg. Poza tym, zakres w jakim obserwowano zmiany to od 7,8 Bq/kg w roku 2016 do 39,9 w roku 2015. W 2017 roku w osadach oznaczono izotopy $^{239,240}\text{Pu}$ na bardzo niskim poziomie – 8,0 Bq/kg, podobnie jak rok wcześniej.

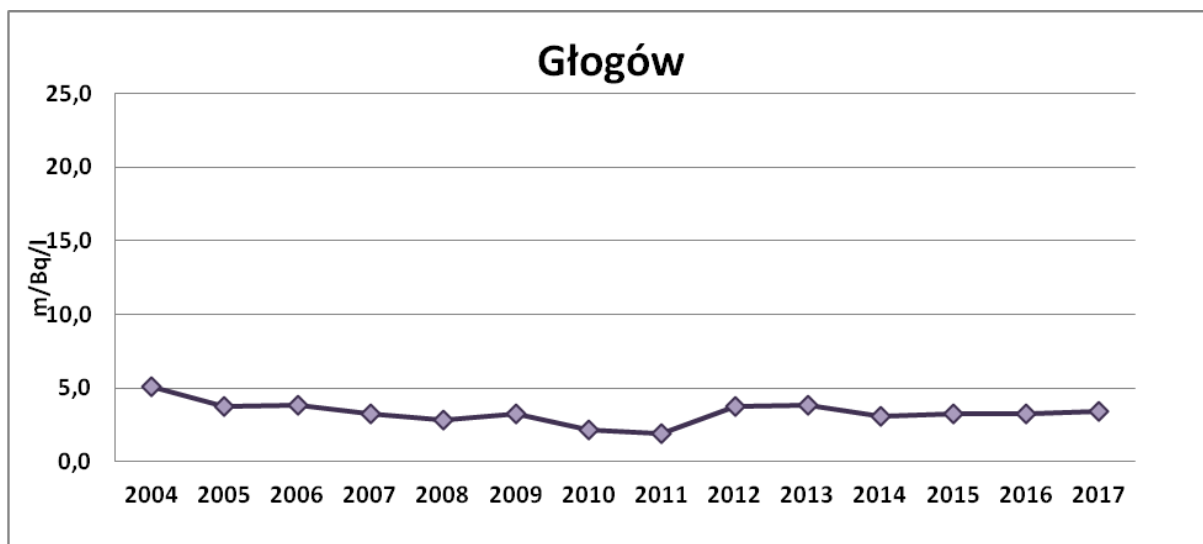
5.3. Zmiany warunków radiologicznych na przestrzeni lat dla punktu na rzece Odrze w Głogowie.

5.3.1. Analiza zawartości ^{137}Cs w wodzie pobranej na rzece Odrze w Głogowie na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Średni poziom stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs w wodzie pobieranej w Odrze w Głogowie w lata 2004-2017 był wyrównany (Rysunek 11.). Tylko w roku 2004 zanotowano

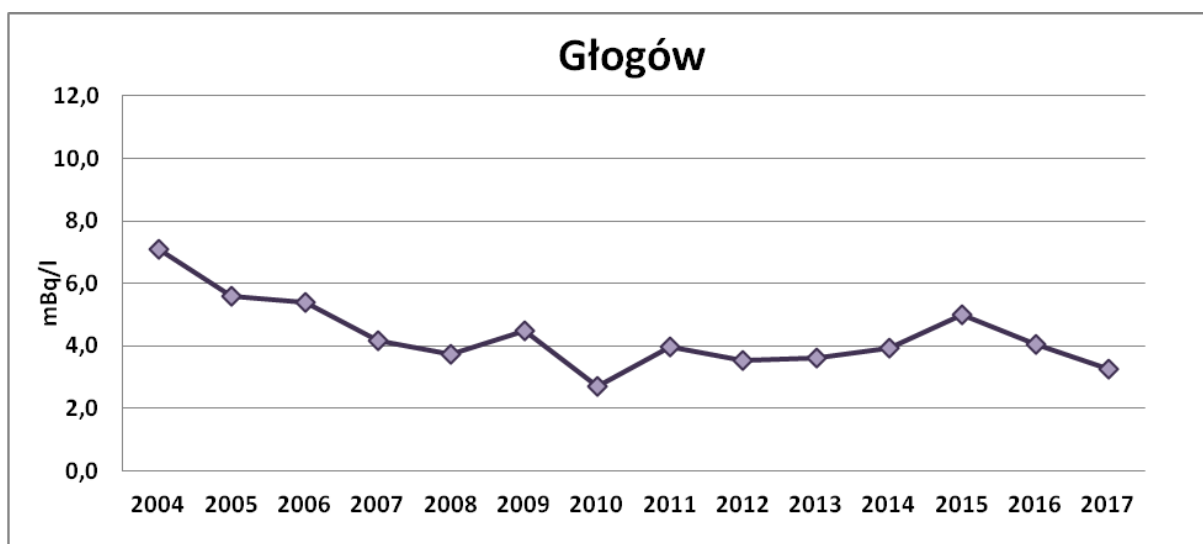
nieznacznie wyższą zawartości ^{137}Cs – 5,1 mBq/l. Średnia roczna zawartość ^{137}Cs w wodzie pobieranej w Głogowie w latach 2004-2017 mieści się w zakresie od 1,9 do 5,1 mBq/l.

Ten wyrównany poziom średnich rocznych stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs szczególnie jest widoczny w czterech ostatnich latach prowadzenia monitoringu. Być może jest to spowodowane bardzo zbieżnymi warunkami atmosferycznymi, a w konsekwencji podobnymi poziomami wód podczas poboru prób w latach 2014-2017.



Rys. 11. Zawartość ^{137}Cs w wodach Odry pobieranych w Głogowie w lata 2004-2017.

5.3.2. Analiza zawartości ^{90}Sr w wodzie pobranej na rzece Odrze w Głogowie na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.



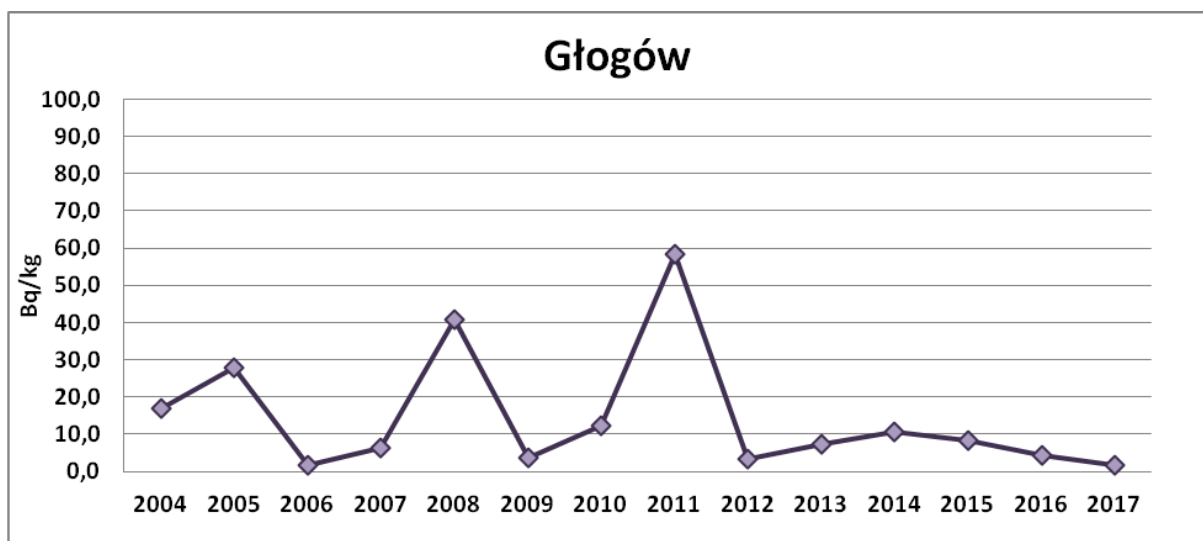
Rys. 12. Zawartość ^{90}Sr w wodach Odry pobieranych w Głogowie w lata 2004-2017.

Rysunek 12 przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr w wodach dorzecza Odry pobieranych w Głogowie w lata 2004-2017. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu.

Na przestrzeni lat średnie stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr dla punktu pomiarowego w Głogowie mieści się w dość wąskim zakresie od 2,7 w roku 2010 do 7,1 mBq/l w 2004 roku. Tą najwyższą wartość, podobnie jak w przypadku ^{137}Cs , odnotowano dla w pierwszego roku obserwacji.

5.3.3. Analiza zawartości ^{137}Cs w osadach pobranych na rzece Odrze w Głogowie na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

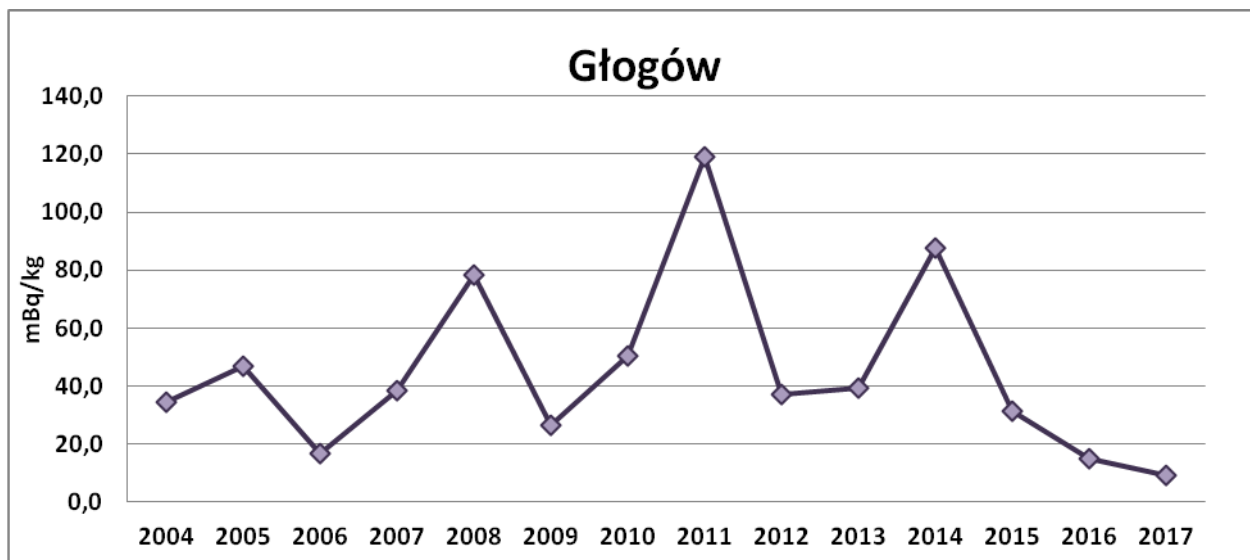
W osadach pobieranych w Głogowie, w latach 2004 -2011, występują znaczne zmiany zawartości izotopów ^{137}Cs (Rysunek 13). W tym okresie najwyższe wartości średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs odnotowano w 2011 roku (58,4 Bq/kg), a najniższe w 2006 roku (1,7 Bq/kg). Być może, w tym okresie obserwowano większą zmienność warunków atmosferycznych, zarówno pomiędzy poszczególnymi latami, jak nawet pomiędzy poborem wiosennym i jesiennym. Od roku 2012 stężenie promieniotwórcze izotopu ^{137}Cs utrzymuje się na zbliżonym niskim poziomie i mieści się w zakresie od 1.6 Bq/kg (2017) do 10,7 Bq/kg (2014).



Rys. 13. Zawartość ^{137}Cs w osadach Odrzy pobieranych w Głogowie w lata 2004-2017.

5.3.4. Analiza zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach pobranych na rzece Odrze w Głogowie na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Rysunek 14. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach z Odry pobieranych w Głogowie w lata 2004-2017.



Rys. 14. Zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach Odry pobieranych w Głogowie w latach 2004-2017.

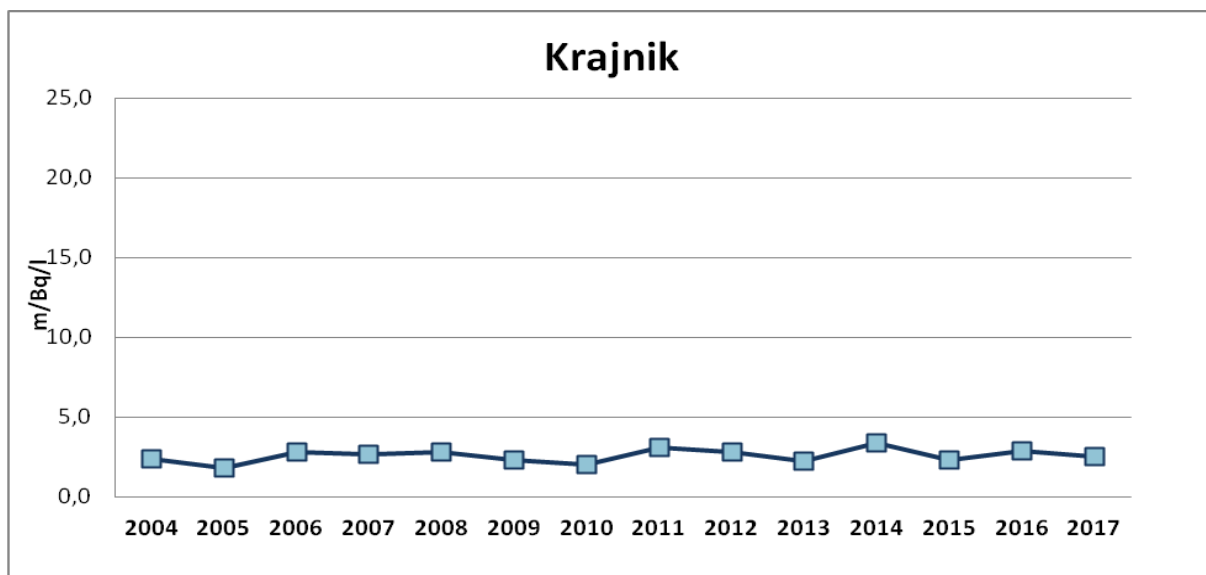
W przypadku zawartości izotopów $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych z Odry pobieranych w Głogowie obserwujemy analogiczną sytuację jak w przypadku zawartości ^{137}Cs . Na przestrzeni wszystkich lat badań widzimy najbardziej zróżnicowany poziom zawartości izotopów $^{239,240}\text{Pu}$ w tym punkcie poboru. Różnice te wahają się od 9,3 mBq/kg w roku 2017 do 118,9 mBq/kg w roku 2011. Istnieje możliwość, że punkt poboru usytuowany jest w miejscu, w którym występuje zwiększone ryzyko przedostawania się różnego rodzaju gleb do rzeki. Mogą się one charakteryzować większą zawartością izotopu zarówno ^{137}Cs jak i izotopów $^{239,240}\text{Pu}$ w stosunku do osadu.

5.4. Zmiany warunków radiologicznych na przestrzeni lat dla punktu na rzece Odrze w Krajniku.

5.4.1. Analiza zawartości ^{137}Cs w wodzie pobranej na rzece Odrze w Krajniku na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

W przypadku punktu poboru w Krajniku występują nieznaczne zmiany zawartości izotopu ^{137}Cs w wodzie poszczególnych latach obserwacji (Rysunek 15.). Zmiany te mieszczą

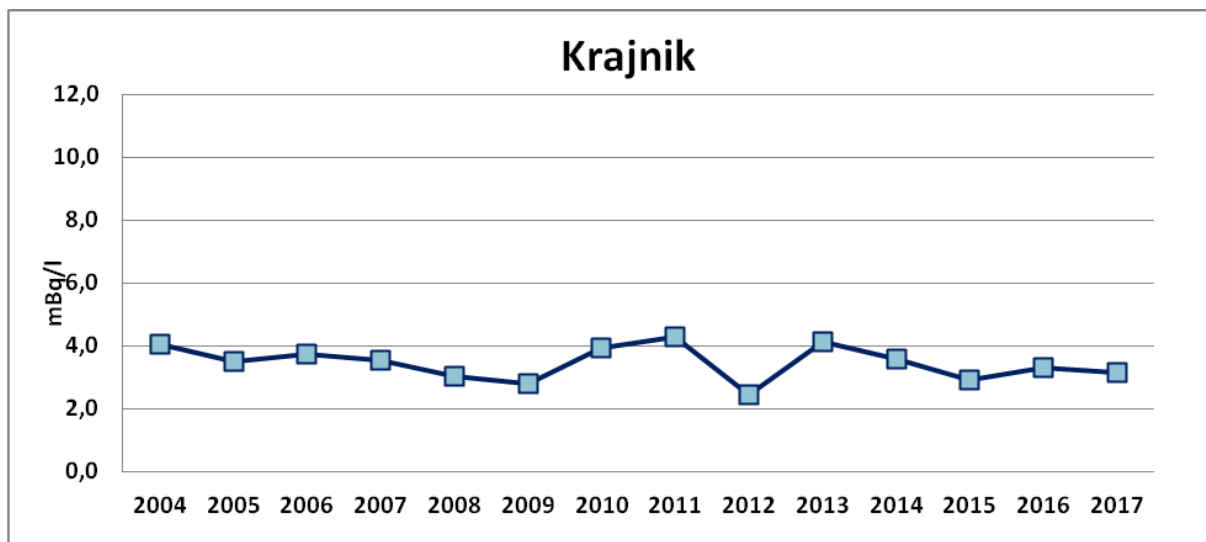
się w granicach od 1,8 (rok 2005) do 3,4 mBq/l (rok 2014). Z pośród wszystkich monitorowanych miejsc w Krajniku rejestrujemy najbardziej stabilne zawartości wszystkich analizowanych radionuklidów.



Rys. 15. Zawartość ¹³⁷Cs w wodach Odry pobranej w Krajniku w latach 2004-2017.

5.4.2. Analiza zawartości ⁹⁰Sr w wodzie pobranej na rzece Odrze w Krajniku na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

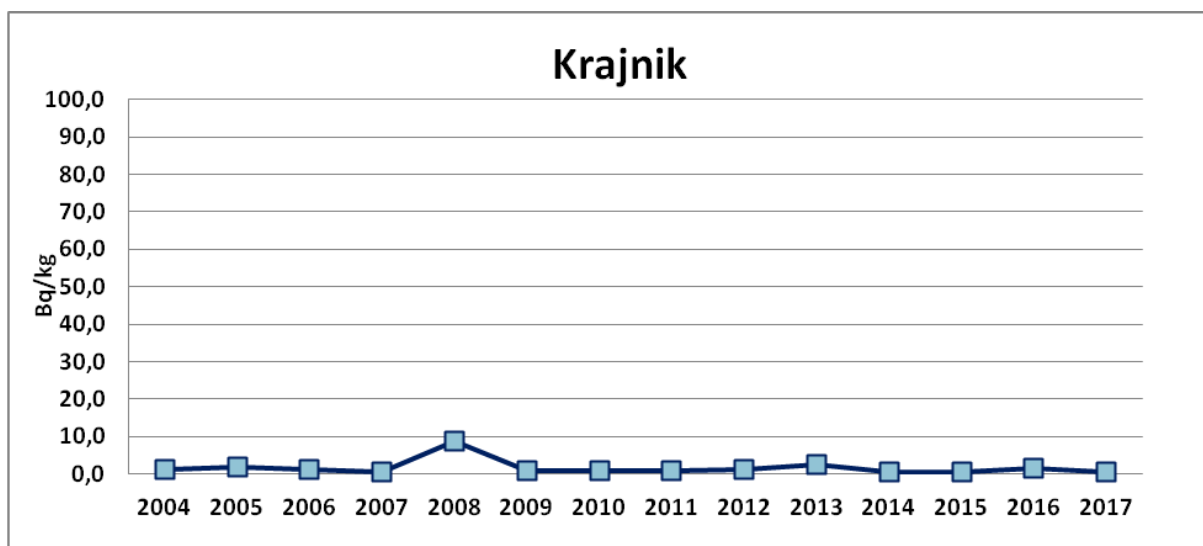
Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ⁹⁰Sr w wodach Odry pobranej w Krajniku w latach 2004-2017 obrazuje Rysunek 16. Przedstawione wartości są średnimi rocznymi w kolejnych latach monitoringu. W tym punkcie poboru nie zanotowano znaczących zmian na przestrzeni 14 lat pomiarowych, a średnie roczne zawartości ⁹⁰Sr w wodzie są na bardzo niskim poziomie i mieszczą się w zakresie od 2,4 w roku 2012 do 4,3 mBq/kg w roku 2011.



Rys. 16. Zawartość ⁹⁰Sr w wodach Odry pobranej w Krajniku w latach 2004-2017.

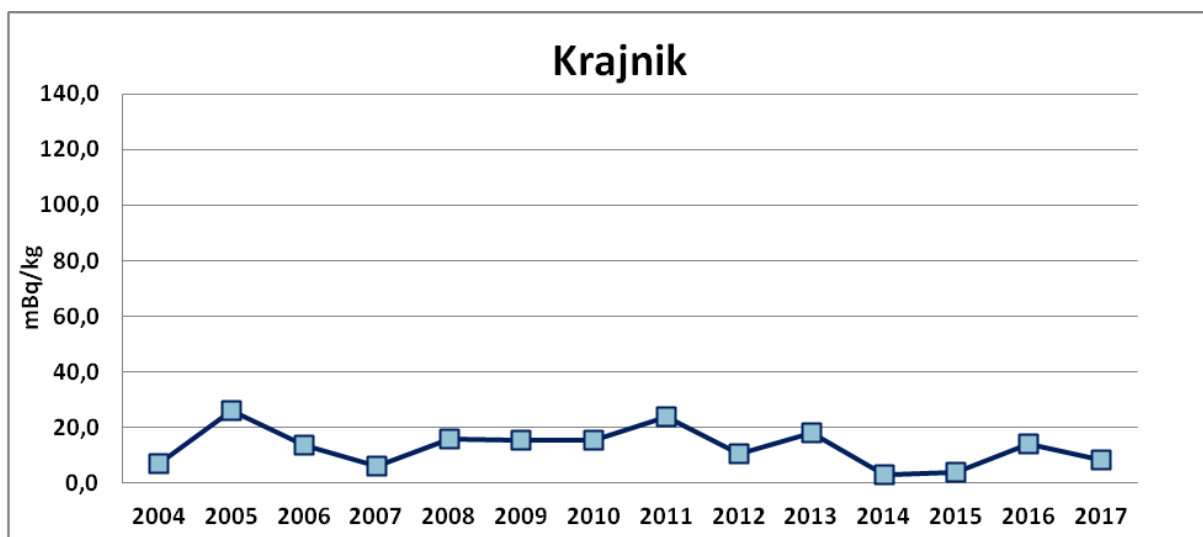
5.4.3. Analiza zawartości ^{137}Cs w osadach pobranych na rzece Odrze w Krajniku na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

Na przestrzeni wszystkich lat badań bardzo wyrównany poziom zawartości ^{137}Cs w osadach dennych obserwowano w punkcie poboru usytuowanym w Krajniku (Rysunek 17.). Zmiany mieszczą się w zakresie 8 Bq/kg. Prawdopodobnie spowodowane jest to bardziej stabilną sytuacją hydrologiczną niż w przypadku pozostałych punktów poboru.



Rys. 17. Zawartość ^{137}Cs w osadach z Odry pobranej w Krajniku w latach 2004-2017.

5.4.4. Analiza zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach pobranych na rzece Odrze w Krajniku na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.



Rys. 18. Zawartość $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach Odry pobranych w Krajniku w latach 2004-2017.

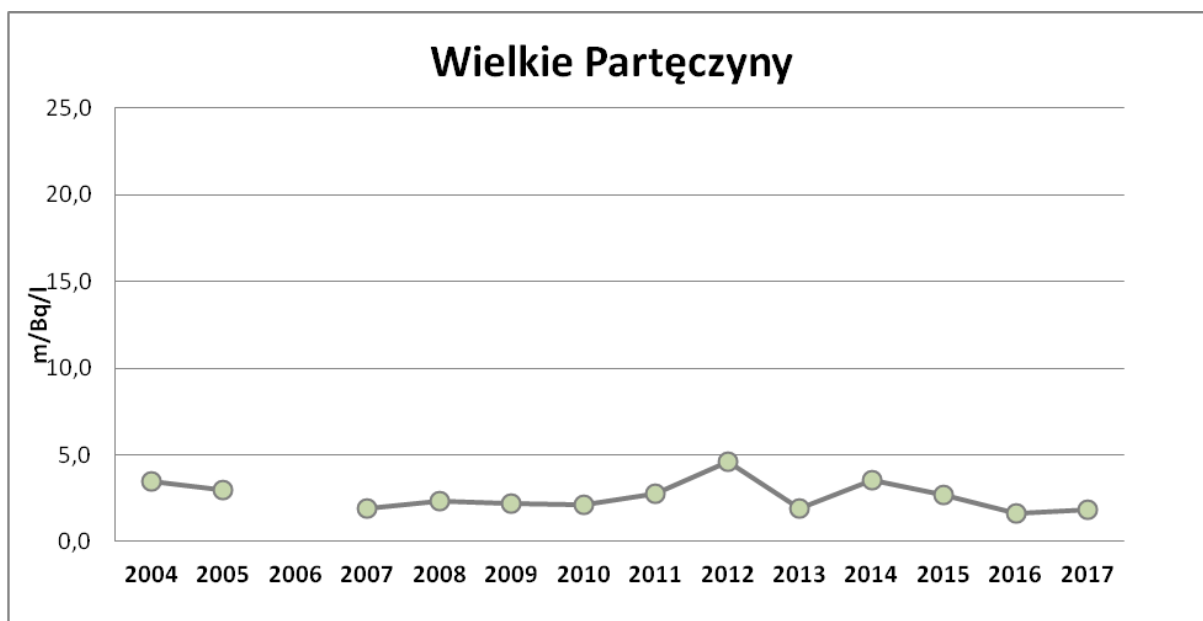
Rysunek 18. przedstawia przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach z Odry pobieranych w Krajniku w lata 2004-2017.

Średni poziom stężeń promieniotwórczego $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach pobieranych w Krajniku w lata 2004-2017 był mniej wyrównany niż dla pozostałych izotopów oznaczanych w tym punkcie. Jednocześnie był bardziej stabilny niż dla innych punktów poboru, co może potwierdzać bardziej stabilną sytuację hydrologiczną. Występujące nieznaczne zmiany zawartości izotopów $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach w poszczególnych latach obserwacji mieszczą się w granicach od 3,0 (rok 2014) do 26,1 mBq/kg (rok 2005). Wartość określona w bieżącym roku to 8,4 mBq/kg.

5.5. Zmiany warunków radiologicznych na przestrzeni lat dla jeziora Wielkie Partęczyny.

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

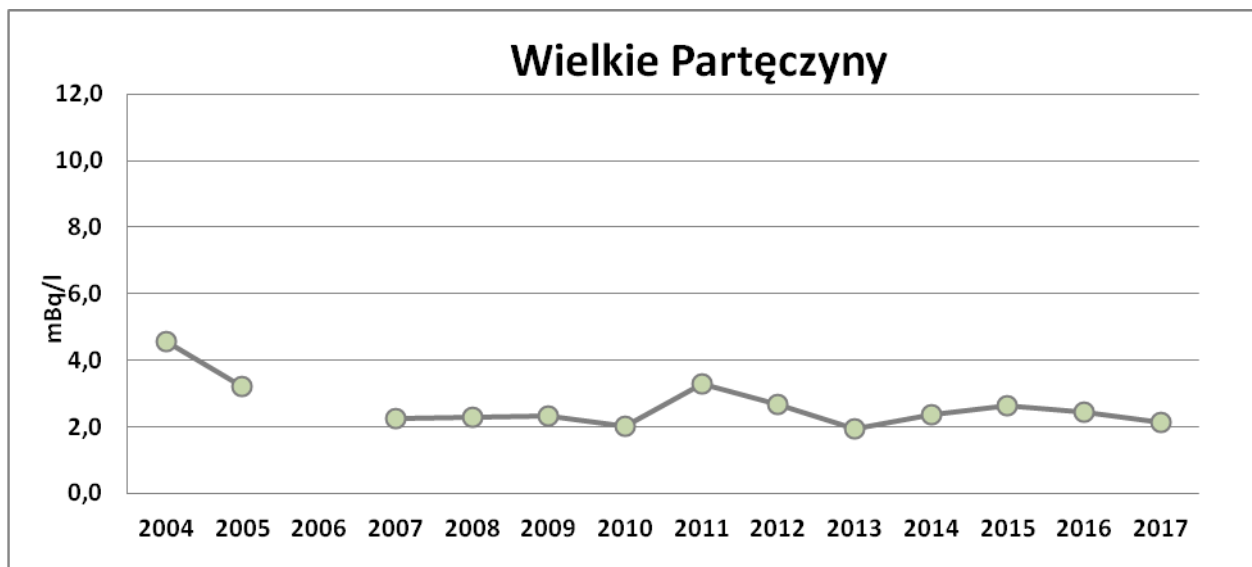
Przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w wodach z jeziora Wielkie Partęczyny w latach 2004 – 2017 przedstawiono na Rysunku 19. Podane wartości są średnimi rocznymi w poszczególnych latach.



Rys. 19. Zawartość ^{137}Cs w wodzie z jeziora Wielkie Partęczyny w latach 2004-2017.

Z przedstawionej zależności wynika, że w przeciągu kilkunastu lat zmiany zawartości ^{137}Cs w wodach były nieznaczne. Zakres w jakim obserwowano fluktuacje to ok. 3 mBq/l, a maksymalna oznaczona wartość w 2012 roku nie przekroczyła 5 mBq/l. Można zatem stwierdzić, że zawartość ^{137}Cs w wodach monitorowanego jeziora jest niezmienna od 14 lat i jest na niskim poziomie.

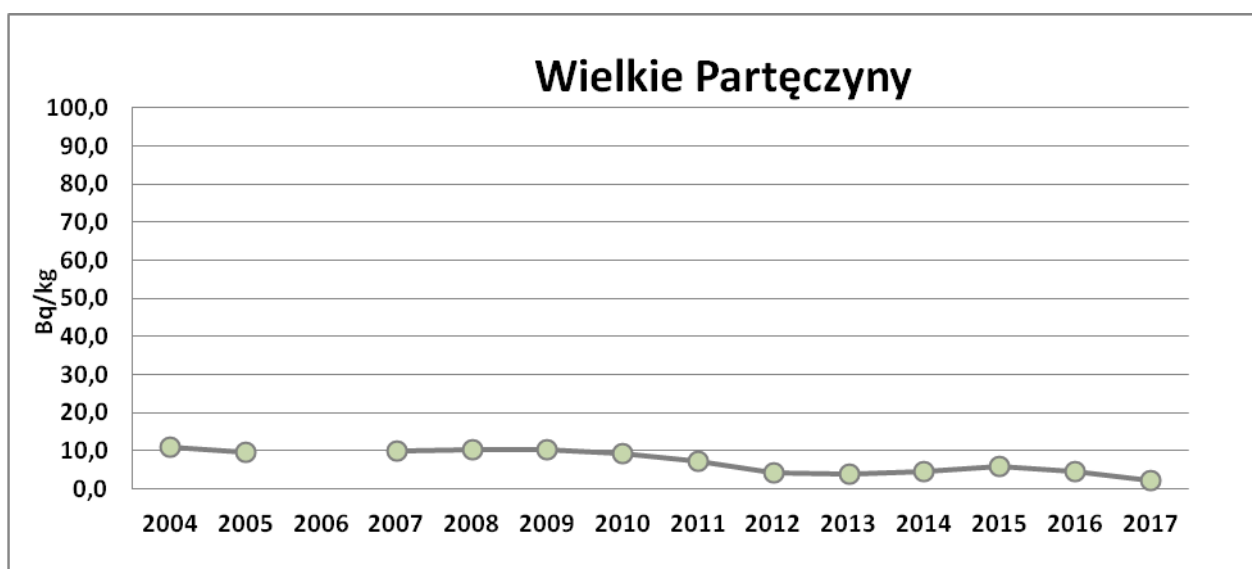
5.5.2. Analiza zawartości ^{90}Sr w wodzie pobranej z jeziora Wielkie Partęczyny na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.



Rys. 20. Zawartość ^{90}Sr w wodach jeziora Wielkie Partęczyny w latach 2004-2017.

Podobnie jak dla ^{137}Cs średnie roczne stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach jeziora Wielkie Partęczyny w latach 2004-2017 było bardzo wyrównane. Wyższy wynik otrzymano w 2004 roku, wartość stężenia izotopu ^{137}Cs była ok. dwukrotnie wyższa od wartości uzyskanych w kolejnych latach, pozostając jednak na bardzo niskim poziomie.

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



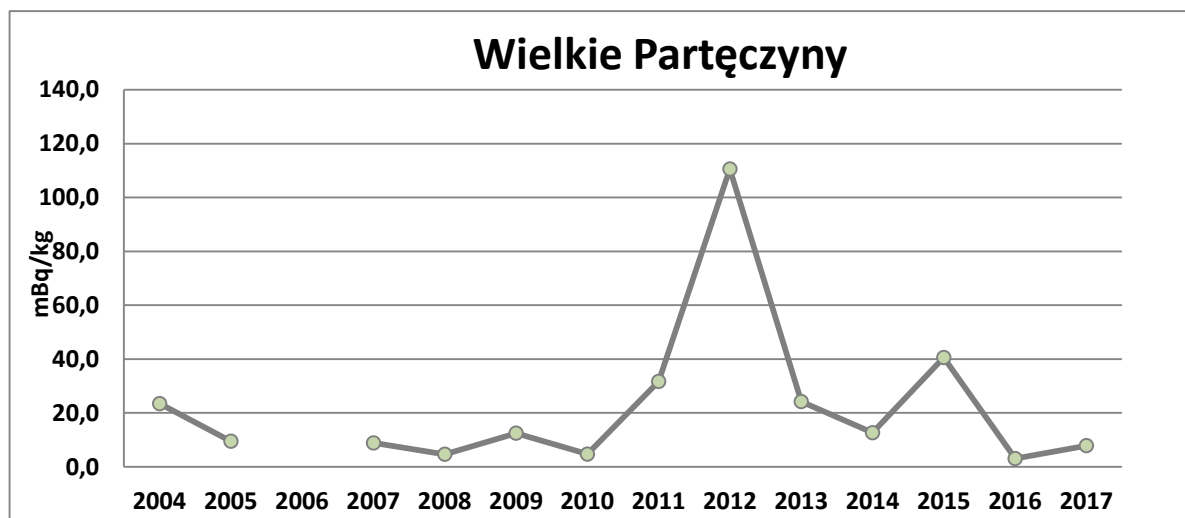
Rys. 21. Zawartość ^{137}Cs w osadach jeziora Wielkie Partęczyny pobranych w latach 2004-2017.

Na Rysunek 21. pokazano przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w osadach jeziora Wielkie Partęczyny w latach 2004 – 2017. Od początku prowadzenia badań do roku 2010 obserwujemy dla jeziora Wielkie Partęczyny bardzo wyrównany poziom stężenia promieniotwórczego badanego izotopu. Przez kolejne dwa lata (2011 i 2012) obserwujemy nieznaczny spadek zawartość ^{137}Cs , a od roku 2012 stężenie promieniotwórcze utrzymuje się na zbliżonym poziomie.

Nieznaczne zmiany stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs mieszczą się w zakresie od 2,1 Bq/kg w roku 2017 do 11,0 Bq/kg w pierwszym roku obserwacji.

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

Z przedstawionej na Rysunku 22. zależności wynika, że w przeciągu trzynastu lat zmiany zawartości $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach jeziora Wielkie Partęczyny miały bardziej zmienny przebieg niż w przypadku izotopu cezu. Z przedstawionej zależności wynika, że w przeciągu pierwszych siedmiu lat zmiany zawartości $^{239, 240}\text{Pu}$ w osadach miały bardzo zbliżony przebieg, a średnie stężenie promieniotwórcze $^{239, 240}\text{Pu}$ w było na niskim poziomie.



Rys. 22. Zawartość $^{239, 240}\text{Pu}$ w osadach z jeziora Wielkie Partęczyny pobranych w latach 2004-2017.

Podwyższoną zawartość $^{239, 240}\text{Pu}$ odnotowano w osadzie z jeziora Wielkie Partęczyny w roku 2012, gdzie w próbce pobranej wiosną oznaczono stężenie promieniotwórcze izotopów plutonu na poziomie 179,44 mBq/kg. Tendencja ta nie utrzymała się, gdyż próbce jesiennej nie odnotowano już tak dużej wartości. Podobną sytuację odnotowano jeszcze raz 2015 roku, ale średnie stężenie izotopu cezu było znacznie niższe i wynosiło 40,6 mBq/kg. W roku 2017

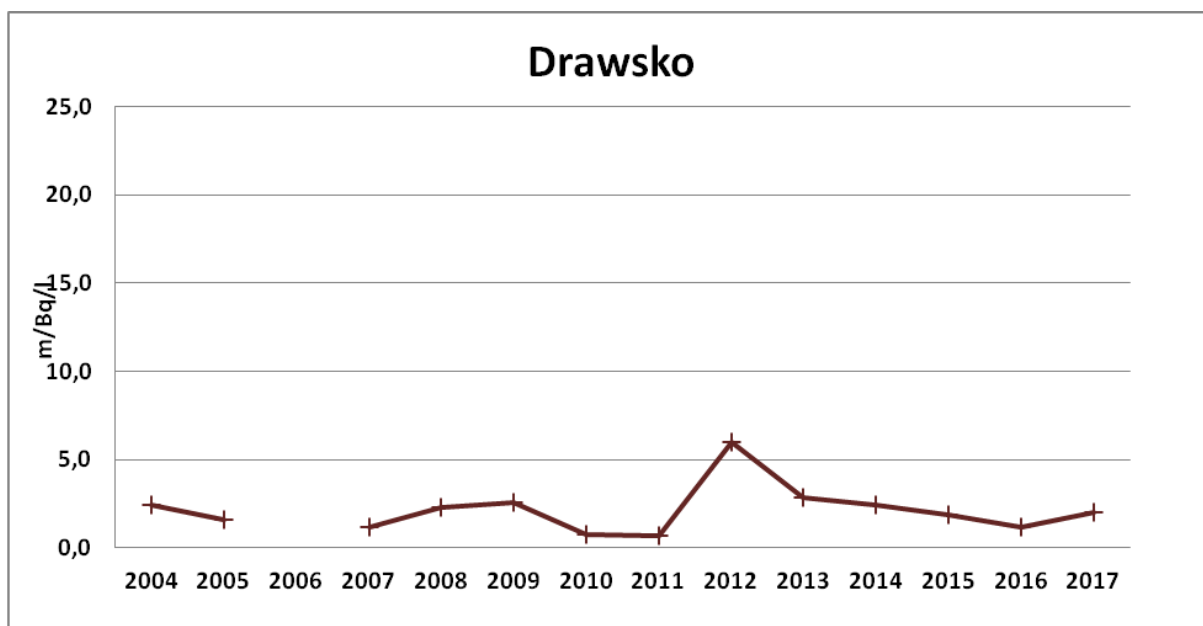
zawartość badanego izotopu wyniosła 7,9 mBq/kg i była nieznacznie wyższa niż rok wcześniej.

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

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

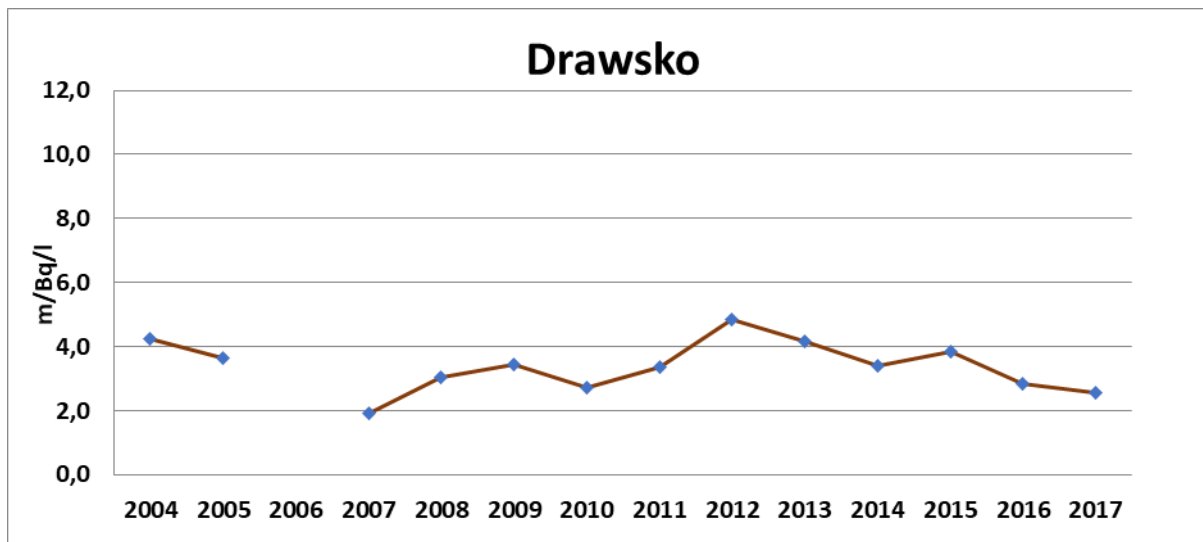
Przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w wodach jeziora Drawsko w latach 2004 – 2017 przedstawiono na Rysunku 23.

Z przedstawionej zależności wynika, że w przeciągu czternastu lat zmiany zawartości ^{137}Cs w wodach miały podobny przebieg i mieściły się w zakresie od 0,8 do 6,0 mBq/l. Nieznaczny wzrost zawartości badanego izotopu odnotowano w roku 2012. Jednak przy tak niskich stężeniach nie można mówić o znaczących zmianach. Można zatem stwierdzić, że zawartość ^{137}Cs w wodach jeziora Drawsko jest wyrównana od 14 lat i jest na niskim poziomie.



Rys. 23. Zawartość ^{137}Cs w wodzie z jeziora Drawsko w latach 2004-2017.

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

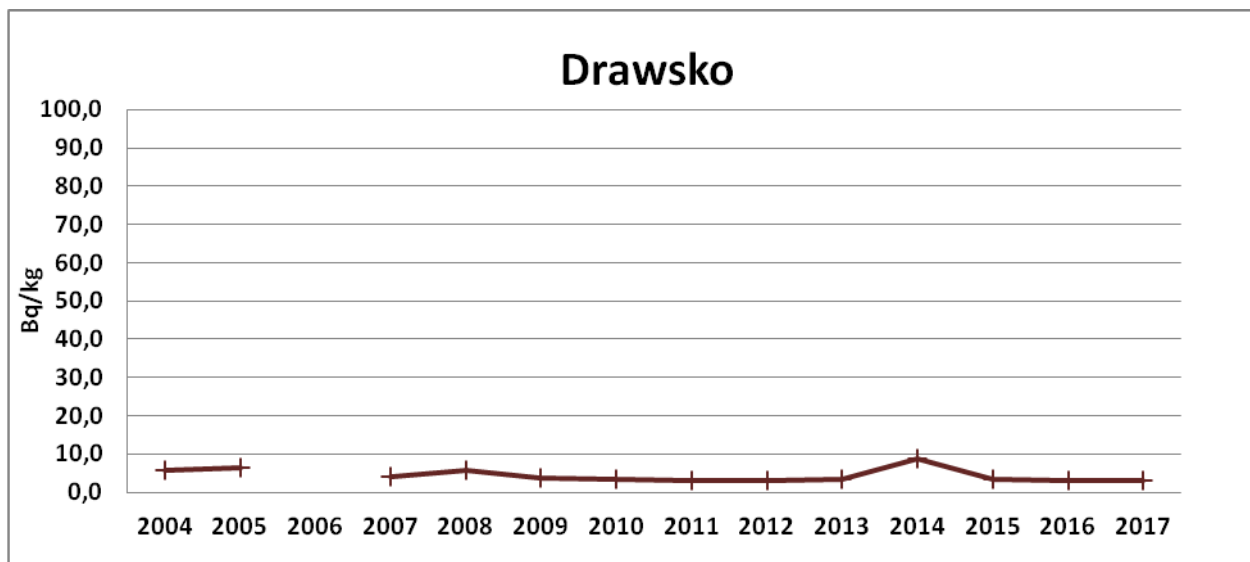


Rys. 24. Zawartość ^{90}Sr w wodach jeziora Drawsko w latach 2004-2017.

Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w badanych wodach pobieranych z jeziora Drawsko były na wyrównanym poziomie i zawierały się w granicach od 1,9 mBq/l (2007 rok) do 4,9 mBq/l (2012 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 . Można jednak zauważyć, że od 2012 roku obserwujemy nieznaczną tendencję spadkową, a w roku bieżącym średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr wyniosło 2,9 mBq/l.

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

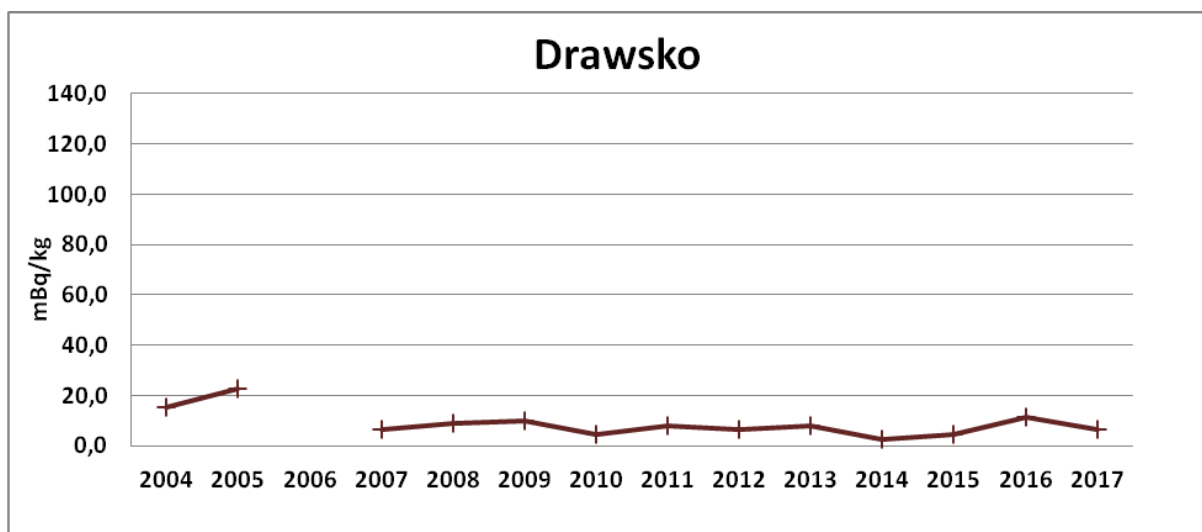
Na Rysunku 25. pokazano przebieg czasowy średnich stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs w osadach pobranych z jeziora Drawsko w latach 2004 – 2017. Od początku prowadzenia badań obserwujemy bardzo wyrównany poziom zawartości ^{137}Cs . Nieznacznie podwyższoną zawartość ^{137}Cs oznaczono w roku 2014, a wynosiła ona 8,7 Bq/kg. Mogło wówczas wystąpić czasowe naniesienie w to miejsce osadu, który łatwiej kumulował zanieczyszczenie z wody.



Rys. 25. Zawartość ¹³⁷Cs w osadach jeziora Drawsko pobranych w latach 2004-2017.

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

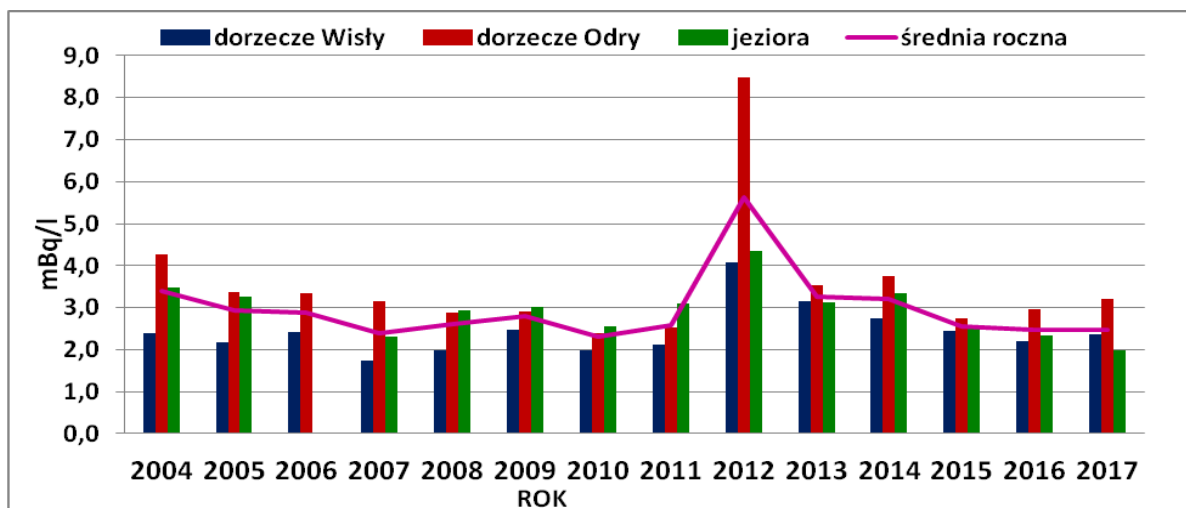
Z przedstawionej na Rysunku 26 zależności wynika, że w przeciągu wszystkich lat zawartość ^{239,240}Pu w osadach była na niskim poziomie. Podwyższoną zawartość ^{239,240}Pu odnotowano jedynie w pierwszych dwóch latach i wynosiła ona odpowiednio: w roku 2004 – 15,5 i w roku 2005 – 22,6 mBq/kg. W kolejnych latach stężenie izotopów ^{239,240}Pu przeważnie nie osiągało wartości 10 mBq/kg, a najniższą wartość oznaczono w roku 2016 - 2,6 mBq/kg.



Rys. 26. Zawartość ^{239,240}Pu w osadach z jeziora Drawsko pobranych w latach 2004-2017.

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.



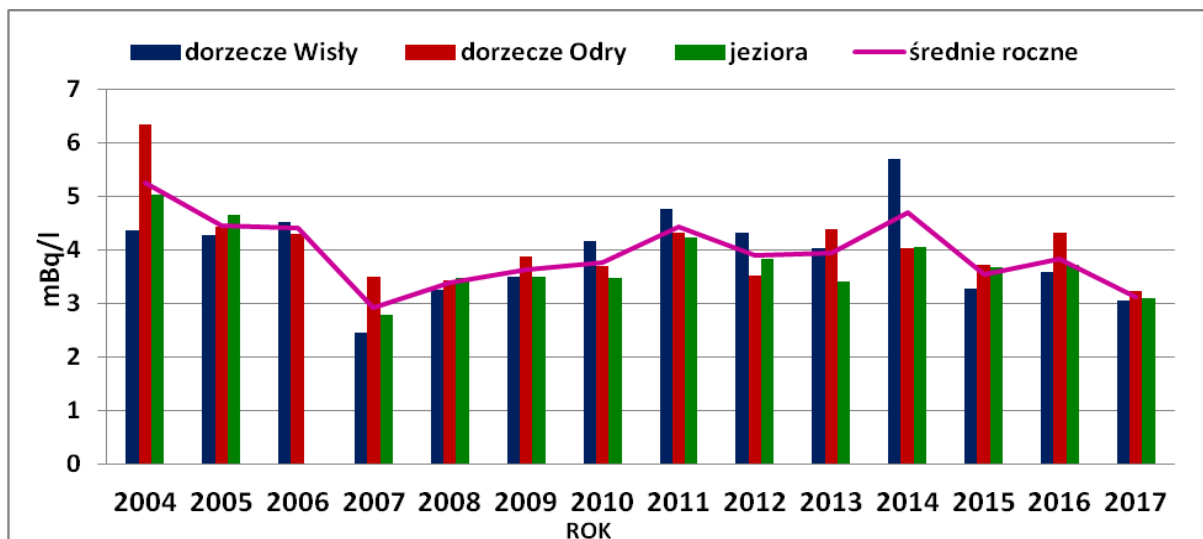
Rys. 27. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2017.

Rysunek 27. przedstawia wykres obrazujący średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodzie dla dorzecza Wisły, Odry i jezior w odniesieniu do ogólnej średniej rocznej w latach 2004-2017. Najniższe wartości średniego rocznego stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs w każdym roku monitoringu obserwujemy dla dorzecza Wisły. Wyjątek stanowi bieżący rok, w którym najniższą wartość odnotowano dla wód jeziornych. 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 2016 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 2015 roku. Biorąc pod uwagę

ok.15% błąd oznaczenia można stwierdzić, że średnia zawartość ^{137}Cs w wodach rzek i jezior zarówno w 2017 roku jak i dwóch ubiegłych latach jest na bardzo zbliżonym poziomie. Wartość średniej rocznej stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach w latach 2015-2017 utrzymuje się na stałym poziomie.

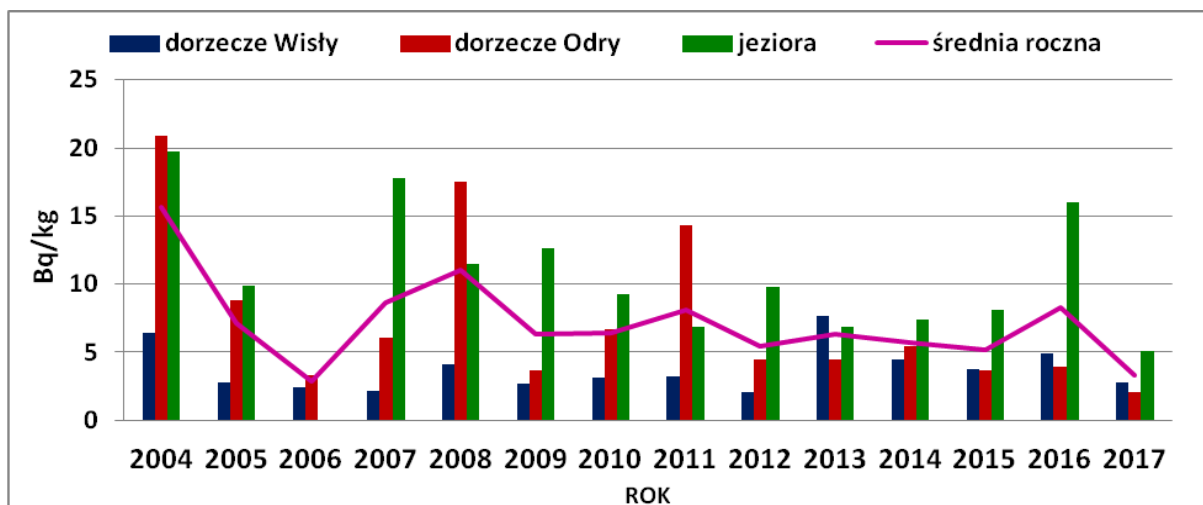
5.7.2 Analiza zawartości ^{90}Sr w wodach rzecznych w układzie dorzeczy oraz ich porównanie do wód jeziornych na przestrzeni dostępnych lat pomiarowych.

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 2004-2017. W przypadku ^{90}Sr na przestrzeni czternastu 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. W bieżącym roku odnotowano bardzo zbliżone wartości średniego stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior i nieznacznie niższą wartość średniej rocznej w stosunku do kilku ubiegłych lat.



Rys. 28. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2017.

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 2004-2017.

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 2004-2017.

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) i 2011 (14,3 Bq/kg). Prawie 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 2017 ma najniższą wartość – 3,35 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.

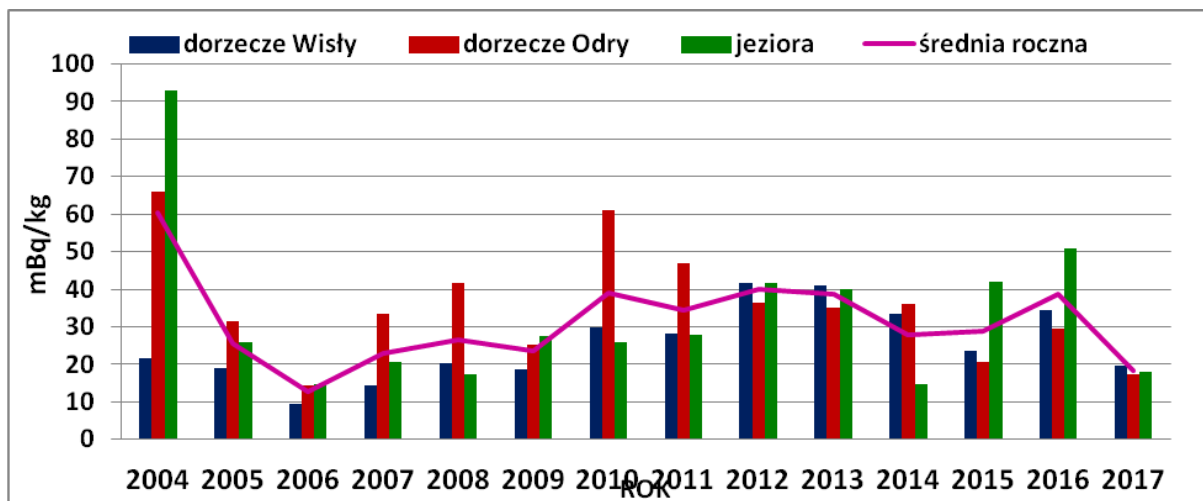
Rysunek 30. przedstawia wykres obrazujący średnie roczne stężenia promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych dla dorzeczy Wisły, Odry i jezior w odniesieniu do ogólnej średniej rocznej w latach 2004-2017.

W przypadku 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).

Podobnie jak dla 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 dorzecza Odry (66,1 mBq/kg) oraz w 2010 dla dorzecza Odry (61,1 mBq/kg).



Rys. 30. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dorzecza Wisły, Odry i jezior w latach 2004-2017.

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 2016 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.

W roku 2017 odnotowano najniższą wartość ogólnej średniej rocznej izotopów $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych – 18,47 mBq/kg (z pominięciem roku 2006, w którym nie były monitorowane jeziora).

6. PODSUMOWANIE.

Monitoring skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych w 2017 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.

Podstawą do ogólnej oceny sytuacji radiologicznej wód powierzchniowych w Polsce są średnie stężenia izotopów promieniotwórczych w badanych komponentach środowiska wodnego. Ocena skażeń promieniotwórczych na podstawie wyników uzyskanych w poszczególnych lokalizacjach wiosną i jesienią przysparza trudności ze względu na różniące się warunki atmosferycznych zaistniałe w okresach pomiędzy poborem prób- Szczególny wpływ mogą mieć ilości wód spływających do badanych rzek i jezior (np.: powódzie, wysokie stany wód). Duże masy wody mogą powodować jednocześnie spływ gleb do zbiorników wodnych. 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 wynosiły odpowiednio 2,37 mBq/l, 3,20 mBq/l i 1,88 mBq/l. Średnie roczne stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr były na wyrównanym poziomie i zawierały się w granicach od 3,06 mBq/l dla dorzecza Wisły do 3,24 mBq/l dla dorzecza Odry.

W osadach dennych rzek i jezior obserwuje się większe różnice w stężeniach promieniotwórczych ^{137}Cs niż $^{239,240}\text{Pu}$. 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 2,09 Bq/kg, a najwyższe dla jezior 5,09 Bq/kg.

W przypadku $^{239,240}\text{Pu}$ wartości średnich rocznych stężeń promieniotwórczych były zbliżone i wynosiły odpowiednio: dla dorzecza Wisły – 19,61 mBq/kg, dla dorzecza Odry – 17,32 mBq/kg i dla jezior – 18,09 mBq/kg.

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.