

**MONITORING PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO REALIZOWANY W
RAMACH PAŃSTWOWEGO MONITORINGU ŚRODOWISKA W LATACH
2018-2020**

ZADANIE 2:

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

ETAP I

Raport

Rok 2019

M. Kardaś, M. Suplińska, A. Fulara, B. Rubel, K. Pachocki, E. Starościak, A. Matysiak,
K. Wiatr, K. Wojtkowski



Opracowanie wykonano na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska (umowa nr 32/2019/F z dnia 27.08.2019r.) finansowane ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej



Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej

Kwiecień 2020

WSTĘP

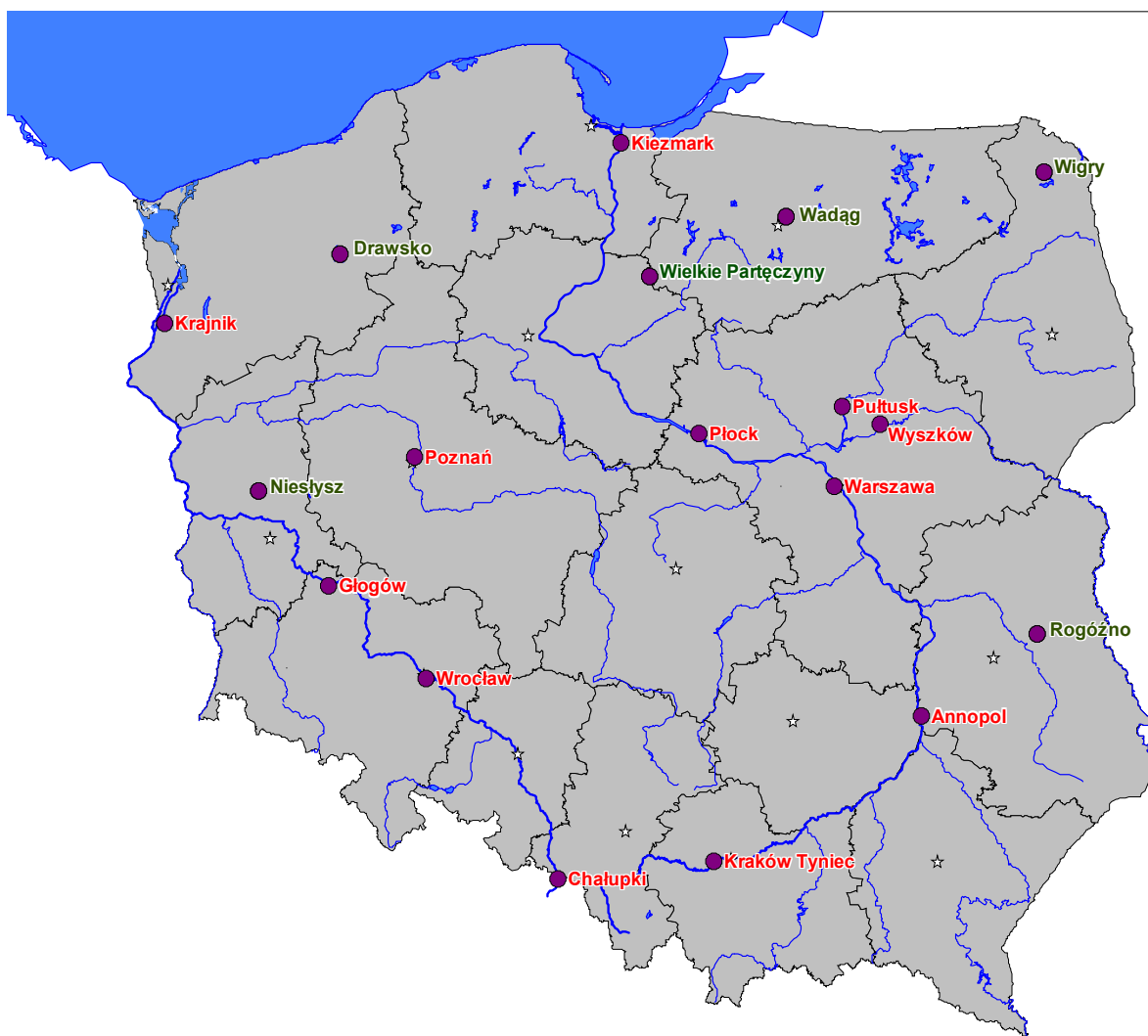
Celem pracy było oznaczenie skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych. W ramach Programu Monitoringu oznaczono ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach oraz ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$ i ^{238}Pu w osadach dennych.

Raport za rok 2019 obejmuje wyłącznie ocenę wyników uzyskanych jesienią, dlatego ze względów merytorycznych nie ma możliwości analizy porównawczej danych z wartościami uzyskiwanymi w poprzednich latach, gdyż są to wartości średnie roczne.

Próbki wody i osadów dennych pobierano w 18 punktach, usytuowanych w dorzeczu Wisły (7 punktów), w dorzeczu Odry (5 punktów) i w sześciu jeziorach. Pobór próbek w roku 2019 odbył się tylko w sezonie jesiennym w terminie od 23 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 jesień 2019	Długość geograficzna wschodnia DMS	Szerokość geograficzna północna DMS
Drawsko, Stare Drawsko	<i>zachodnio-pomorskie</i>	26.09	16°11'39"	53°36'08"
Wadąg, Myki	<i>warmińsko-mazurskie</i>	22.10	20°33'44"	53°51'02"
Partęczyny, Wielkie Partęczyny	<i>kujawsko-pomorskie</i>	23.10	19°25'21"	53°23'06"
Rogóżno, Rogóżno	<i>lubelskie</i>	23.09	22°58'20"	51°22'50"
Niesłysz, Niesulice	<i>lubuskie</i>	25.09	15°23'54"	52°12'57"
Wigry, Stary Folwark	<i>podlaskie</i>	22.10	23°05'08"	54°04'38"

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

Rzeka	Miejsce poboru próbek	Data poboru próbek jesień 2019	Długość geograficzna wschodnia DMS	Szerokość geograficzna północna DMS
Wisła	Kraków Tyniec	23.09	19°48'05"	50°01'11"
	Annopol	23.09	21°50'02"	50°53'11"
	Warszawa	28.10	21°00'48"	52°15'43"
	Płock	23.10	19°41'13"	52°32'00"
	Kieźmark	23.10	18°56'57"	54°15'20"
Narew	Pułtusk	22.10	21°05'38"	52°42'00"
Bug	Wyszków	22.10	21°27'33"	52°35'24"
Odra	Chalupki	24.09	18°19'43"	49°55'22"
	Wrocław	24.09	16°59'19"	51°08'07"
	Głogów	24.09	16°05'08"	51°40'12"
	Krajnik	25.09	14°18'46"	53°02'02"
Warta	Poznań	26.09	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 zakwaszano kwasem azotowym. Osady denne pobierano używając szufelki, z trzech miejsc oddalonych od siebie o ok. 50 m i sporządzano próbkę zbiorczą o masie ok. 1 kg. 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 , ^{238}Pu i $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych oraz ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach oznaczano zgodnie z metodami akredytowanymi.

Wszystkie metody wykorzystywane w oznaczaniu izotopów promieniotwórczych w tej pracy posiadają zatwierdzenie Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki.

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 żyjącego izotopu ($T_{1/2}$ - 64,2 h) powstającego w wyniku rozpadu ^{90}Sr . Analizę prowadzono w obecności, ^{85}Sr , co pozwoliło na określenie wydajności oznaczenia ^{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⁻¹. Granica oznaczalności stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr dla czasu pomiaru 120 min wynosi 0,45 mBq l⁻¹.

^{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⁻¹ 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 jego elektrodepozycję 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 250000 s, a granica detekcji wynosiła 0,15 mBq/ próbkę.

3. ANALIZA WYNIKÓW OZNACZEŃ STĘŻEŃ ^{137}Cs I ^{90}Sr W PRÓBKACH WODY POBRANEJ JESIENIĄ W PUNKTACH BADAWCZYCH W 2019 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 jesiennym 2019 roku przedstawione są w Tabeli 3. Stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach rzek mieściły się w granicach od 1,80 mBq l⁻¹ w Wiśle (Warszawa) do 8,38 mBq l⁻¹ w Odrze (Chałupki). Zakres stężeń promieniotwórczych ^{137}Cs dla dorzecza Odry mieścił się w przedziale od 3,00 (Odra, Głogów) do 8,38 mBq l⁻¹ (Odra, Chałupki), a dla dorzecza Wisły od 1,80 (Wisła, Warszawa) do 4,16 mBq l⁻¹ (Wisła, Tyniec)

Tabela 3. Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach dorzecza Wisły i Odry w okresie jesiennym w 2019 r.

Lp.	Miejsce poboru próbki	^{137}Cs , jesień, mBq l ⁻¹
DORZECZE WISŁY		
1.	Wisła <i>Kraków Tyniec</i>	4,16 ± 0,47 ^{a)}
2.	Wisła <i>Annopol</i>	3,41 ± 0,40
3.	Wisła <i>Warszawa</i>	1,80 ± 0,23
4.	Wisła <i>Płock</i>	3,75 ± 0,43
5.	Wisła <i>Kieżmark</i>	3,48 ± 0,40
6.	Narew <i>Pułtusk</i>	2,39 ± 0,29
7.	Bug <i>Wyszaków</i>	2,22 ± 0,28
DORZECZE ODRY		
8.	Odra <i>Chałupki</i>	8,38 ± 0,88
9.	Odra <i>Wrocław</i>	3,39 ± 0,43
10.	Odra <i>Głogów</i>	3,00 ± 0,35
11.	Odra <i>Krajnik</i>	3,80 ± 0,48
12.	Warta <i>Poznań</i>	3,76 ± 0,42

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

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 jesiennym w 2019 roku.

Zakres stężeń promieniotwórczych ^{90}Sr wynosił odpowiednio: dla dorzecza Wisły od 1.44 do 2.96 mBq l⁻¹, a dla dorzecza Odry od 1.96 do 3,57 mBq l⁻¹.

Najwyższą wartość stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr odnotowano w próbce wody pobranej z Odry w Głogowie – 3,57 mBq l⁻¹, najniższą zaś w próbce wody pobranej z Bugu w Wyszku – 1,44 mBq l⁻¹.

Tabela 4. Stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach dorzecza Wisły i Odry w okresie jesiennym w 2019 r.

Lp.	Miejsce poboru próbek	^{90}Sr , jesień, mBq l ⁻¹
DORZECZE WISŁY		
1.	Wisła Kraków Tyniec	2,96 ± 0,35
2.	Wisła Annopol	2,07 ± 0,22
3.	Wisła Warszawa	2,67 ± 0,26
4.	Wisła Płock	2,30 ± 0,25
5.	Wisła Kiezmark	1,94 ± 0,22
6.	Narew Pultusk	1,74 ± 0,21
7.	Bug Wyszku	1,44 ± 0,17
DORZECZE ODRY		
8.	Odra Chałupki	3,16 ± 0,32
9.	Odra Wrocław	2,94 ± 0,30
10.	Odra Głogów	3,57 ± 0,40
11.	Odra Krajnik	2,30 ± 0,23
12.	Warta Poznań	1,96 ± 0,24

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

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 jesiennym 2019 roku.

Stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs oznaczone w wodach jezior mieściły się w granicach od 1,28 mBq l^{-1} w jeziorze Wadąg do 4,18 mBq l^{-1} w jeziorze Rogóźno.

Podobnie jak w latach ubiegłych, w tym roku najwyższą wartość stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs odnotowywano w próbkach wody z jeziora Rogóźno. Takie różnice wartości notowane są od lat i są charakterystyczne dla tego jeziora

Tabela 5. Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach jezior w okresie jesiennym w 2019 r.

Lp.	Miejsce poboru próbki	^{137}Cs , jesień, mBq l^{-1}
1	Wigry Stary Folwark	$2,08 \pm 0,27^{\text{a}}$
2	Wadąg Myki	$1,28 \pm 0,18$
3	Wielkie Partęczyny Partęczyny	$3,10 \pm 0,37$
4	Drawsko Stare Drawsko	$1,75 \pm 0,27$
5	Niesłysz Niesulice	$1,73 \pm 0,23$
6	Rogóźno Rogóźno	$4,18 \pm 0,47$

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

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

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

Tabela 6. Stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach jezior w okresie jesiennym w 2019.r.

Lp.	Miejsce poboru próbki	^{90}Sr , jesień, mBq l ⁻¹
1	<i>Wigry Stary Folwark</i>	1,39 ± 0,16 ^{a)}
2	<i>Wadąg Myki</i>	1,92 ± 0,21
3	Wielkie Partęczyny <i>Partęczyny</i>	2,02 ± 0,22
4	<i>Drawsko Stare Drawsko</i>	2,48 ± 0,24
5	<i>Niesulice Niesłysz</i>	1,24 ± 0,16
6	<i>Rogóżno Rogóżno</i>	7,38 ± 0,84

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

Tabela 6. przedstawia stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach z poszczególnych miejsc poboru w jeziorach w okresie jesiennym 2019 roku.

Stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr w wodach badanych jezior wahało się od 1,24 mBq l⁻¹ w wodzie z jeziora Niesłysz do 7.38 mBq l⁻¹ w wodzie pobranej z Rogóżna.

Niezmiennie od wielu lat najwyższe wartości stężenia promieniotwórczego ^{90}Sr notuje się w próbkach wody z jeziora Rogóżno. W roku 2019 także najwyższą wartości stężenie promieniotwórcze ^{90}Sr oznaczono w tym jeziorze.

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 jesiennym oraz zakres stężenia promieniotwórcze tego izotopu.

Średnie stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach dorzeczy Wisły oraz Odry i jezior wynosiły odpowiednio: 3,03; 4,47; 2,81 mBq l⁻¹.

Podobnie jak w roku ubiegłym najniższe średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs oznaczono w wodach jeziornych i wynosiło ono 2,81 mBq l⁻¹.

Dla dorzecza Wisły średnie stężenie ^{137}Cs wynosiło $3,03 \text{ mBq l}^{-1}$, a więc jest ono porównywalne ze średnią wyliczoną w przypadku jezior.

Dla wód dorzecza Odry odnotowywano znaczne różnice w stężeniach promieniotwórczych ^{137}Cs ($3,00\text{--}8,38 \text{ mBq l}^{-1}$), a wyliczone średnie stężenie wynosiło $4,47 \text{ mBq l}^{-1}$.

Średnie stężenie ^{137}Cs wyliczone dla wszystkich badanych wód śródlądowych w Polsce wynosiło $3,20 \text{ mBq l}^{-1}$.

Tabela 7. Średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior w okresie jesiennym w 2019 r.

Lokalizacja poboru próbek	^{137}Cs mBq l^{-1} jesień	^{137}Cs mBq l^{-1} zakres
Dorzecze Wisły (7) ^{a)}	$3,03 \pm 0,89^{\text{b)}$	1,80–4,16
Dorzecze Odry (5)	$4,47 \pm 2,21$	3,00–8,38
Jeziora (6)	$2,81 \pm 1,57$	0,63–3,01
Średnia ogólna (18)	$3,20 \pm 1,58$	0,63–8,38

^{a)} Liczba próbek wody

^{b)} Wartość średnia \pm 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 jesiennym w 2019 r.

Lokalizacja poboru próbek	^{90}Sr mBq l^{-1} jesień	^{90}Sr mBq l^{-1} zakres
Dorzecze Wisły (7) ^{a)}	$2,10 \pm 0,58^{\text{b)}$	1,44–2,96
Dorzecze Odry (5)	$2,79 \pm 0,65$	1,96–3,16
Jeziora (6)	$2,74 \pm 2,32$	1,24–7,38
Średnia ogólna (18)	$2,50 \pm 1,38$	1,24–7,38

^{a)} Liczba próbek wody

^{b)} Wartość średnia \pm OS

Najniższe średnie stężenie promieniotwórcze oznaczono w wodach dorzecza Wisły i wynosiło 2,10 mBq l⁻¹. W wodach jeziornych i wodach dorzecza Odry średnie stężenie było na bardzo zbliżonym poziomie, i wynosiło odpowiednio 2,74 i 2,79 mBq l⁻¹. Największe różnice w stężeniach promieniotwórczych ⁹⁰Sr odnotowano dla wód jeziornych (1,24–7,38 mBq l⁻¹), najmniejsze zaś dla wód dorzecza Odry (zakres 1,96– 3,16 mBq l⁻¹), czyli wykazuje największą stabilizację stężeń strontu.

Średnie stężenie ⁹⁰Sr wyliczone dla wszystkich badanych wód śródlądowych w Polsce wynosiło 2,50 mBq l⁻¹.

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

Tabela 9. przedstawia średnie roczne wartości stosunku stężenia ⁹⁰Sr do ¹³⁷Cs w wodach dorzecza Wisły, dorzecza Odry i jezior w 2019 roku.

Stosunek średnich stężeń promieniotwórczych ⁹⁰Sr do ¹³⁷Cs w próbkach wody pobranej z rzek był bardzo zbliżony i wynosił odpowiednio: 0,69 dla dorzecza Wisły i 0,62 dla dorzecza Odry. W próbkach wody pobranej z jezior stosunek średnich stężeń promieniotwórczych ⁹⁰Sr do ¹³⁷Cs wynosił 0,98 ale mieścił się w szerokim zakresie (0,65-4,18) wyliczonych dla poszczególnych jezior.

Tabela 9. Średnie stężenia promieniotwórcze ¹³⁷Cs i ⁹⁰Sr w wodach dorzecza Wisły, Odry i jezior oraz stosunek średnich stężeń w 2019 r.

Lokalizacja poboru próbek	¹³⁷ Cs mBq l ⁻¹	⁹⁰ Sr mBq l ⁻¹	⁹⁰ Sr ¹³⁷ Cs
Dorzecze Wisły (7) ^{a)}	3,03 ± 0,89 ^{b)}	2,10 ± 0,58 ^{b)}	0,69
Dorzecze Odry (5)	4,47 ± 2,21	2,79 ± 0,65	0,62
Jeziora (6)	2,35 ± 1,57	2,74 ± 2,32	0,98
Średnia ogólna (18)	3,20 ± 1,58	2,50 ± 1,38	0,78

^{a)} Liczba próbek wody

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

4. ANALIZA WYNIKÓW OZNACZEŃ STĘŻEŃ ¹³⁷Cs, ²³⁸Pu I ^{239,240}Pu W ODSADACH DENNYCH POBRANYCH W PUNKTACH BADAWCZYCH W 2019 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 jesiennym w 2019 r.

Lp.	Miejsce poboru próbki	^{137}Cs , jesień, Bq kg ⁻¹
DORZECZE WISŁY		
1.	Wisła Kraków Tyniec	0,87 ± 0,06 ^{a)}
2.	Wisła Annopol	1,27 ± 0,08
3.	Wisła Warszawa	0,25 ± 0,04
4.	Wisła Płock	0,25 ± 0,03
5.	Wisła Kieźmark	0,63 ± 0,04
6.	Narew Pułtusk	4,34 ± 0,20
7.	Bug Wyszków	0,87 ± 0,05
DORZECZE ODRY		
8.	Odra Chałupki	19,61 ± 0,82
9.	Odra Wrocław	0,52 ± 0,04
10.	Odra Głogów	1,40 ± 0,07
11.	Odra Krajnik	0,57 ± 0,04
12.	Warta Poznań	0,75 ± 0,08

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

Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych Wisły, Odry ich dopływów w okresie jesiennym w 2019 roku przedstawiono w Tabeli 10.

Najniższe stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs dla dorzecza Wisły było oznaczone w osadzie pobranym w Płocku i w Warszawie i w obu przypadkach wynosiło 0,25 Bq kg⁻¹. Najwyższe zaś oznaczono w osadzie pobranym w Pułtusku (4,34 Bq kg⁻¹).

Dla dorzecza Odry stężenia promieniotwórcze tego izotopu zawierały się w granicach od 0,52 Bq kg⁻¹ do 19,61 Bq kg⁻¹ i odnosiły się odpowiednio do osadów pobranych we Wrocławiu i w Chałupkach.

Najwyższe stężenia promieniotwórcze ¹³⁷Cs były oznaczone jesienią w osadzie pobranym z Odry w Chałupkach (19,61 Bq kg⁻¹). Pomimo, że jest wyższe od pozostałych przedstawionych w tabeli, to wszystkie z oznaczonych stężeń pozostają jednak na niskim poziomie i nie odbiegają od wyników otrzymywanych w poprzednich latach. Sporadycznie otrzymywane podwyższone wartości dla pojedynczych pomiarów mogą wynikać z różnic w składzie osadów czasowo nanoszonych w miejscach poboru próbek (od typowo piaszczystych do ilasto gliniastych).

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

W Tabeli 11. przedstawiono stężenie promieniotwórcze ^{239,240}Pu w osadach dennych pobranych w okresie jesiennym w dorzeczu Wisły i Odry.

Dla dorzecza Wisły, podobnie jak w ubiegłym roku, najniższe stężenia promieniotwórcze ^{239,240}Pu były w osadzie pobranym w Płocku (<1,5 mBq kg⁻¹), najwyższe zaś w osadzie pobranym w Annopolu (21.07 mBq kg⁻¹). Wartości stężeń promieniotwórczych ^{239,240}Pu w osadach dennych dorzecza Odry zawierają się w granicach od 3,34 mBq/kg w osadzie z Wrocławia do 98,79 mBq kg⁻¹ w osadzie z Chałupek. Odnotowana wyższa wartość nie świadczy o zmianie warunków radiologicznych obserwowanych od wielu lat. Może jednak sugerować zmianę składu osadów nanoszonych w miejscach poboru prób w danym okresie badań.

Stężenie promieniotwórcze ²³⁸Pu w osadach dennych (podobnie jak w latach ubiegłych) było w większości przypadków mniejsze od granicy detekcji (1,5 mBq kg⁻¹). W przypadku dorzeczy Wisły i Odry ²³⁸Pu został oznaczony tylko w 1 z pośród 12 pobranych próbek osadów, a był to osad pobrany z Odry w Chałupkach i wynosił 1,59 mBq kg⁻¹ (charakteryzujący się jednocześnie wysokim stężeniem ^{239,240}Pu).

Tabela 11. Stężenie promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dorzecza Wisły i Odry w okresie jesiennym w 2019 r.

Lp.	Miejsce poboru próbki	$^{239,240}\text{Pu}$ jesień mBq kg^{-1}
DORZECZE WISŁY		
1.	Wisła Kraków Tyniec	$5,86 \pm 1,47^{\text{b}}$
2.	Wisła Annopol	$21,07 \pm 2,13$
3.	Wisła Warszawa	$4,29 \pm 1,61$
4.	Wisła Płock	<1,5
5.	Wisła Kieżmark	$3,01 \pm 1,29$
6.	Narew Pułtusk	$4,98 \pm 1,83$
7.	Bug Wyszaków	$10,96 \pm 2,12$
DORZECZE ODRY		
8.	Odra Chalupki	$98,79 \pm 4,80$
9.	Odra Wrocław	$3,34 \pm 1,55$
10.	Odra Głogów	$7,86 \pm 1,54$
11.	Odra Krajnik	$7,36 \pm 1,21$
12.	Warta Poznań	$5,77 \pm 1,65$

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

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

Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs w osadach dennych jezior w okresie jesiennym w 2019 roku przedstawiono w Tabeli 12.

Stężenia oznaczanego izotopu zawierały się w granicach od $0,32 \text{ Bq kg}^{-1}$ w osadzie pobranym z jeziora Wigry do $41,22 \text{ Bq/kg}$ w osadzie pobranym 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 ono 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 jesiennym w 2019 r.

Lp.	Miejsce poboru próbki	^{137}Cs , jesień, Bq kg^{-1}
1.	<i>Wigry</i> Stary Folwark	$0,32 \pm 0,03^{\text{a}}$
2.	<i>Wadąg</i> <i>Myki</i>	$1,86 \pm 0,09$
3.	<i>Wielkie Partęczyny</i> <i>Partęczyny</i>	$5,93 \pm 0,26$
4.	<i>Drawsko</i> Stare Drawsko	$1,68 \pm 0,08$
5.	<i>Niesłysz</i> <i>Niesulice</i>	$5,14 \pm 0,97$
6.	<i>Rogóżno</i> Rogóżno	$41,22 \pm 2,45$

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

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

Tabela 13. przedstawia stężenia promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dennych pobranych w jeziorach w okresie jesiennym 2019 roku.

Najniższe stężenie $^{239,240}\text{Pu}$ ($1,85 \text{ mBq kg}^{-1}$) było oznaczone w osadzie pobranym z jeziora Wigry, a największe $395,8 \text{ mBq kg}^{-1}$ w osadzie z jeziora Rogóżno. Charakterystyczne większe wartości stężenia promieniotwórczego oznaczanych izotopów (szczególnie izotopów oznaczanych w osadach) prawdopodobnie związane są z pochodzeniem tego jeziora, co zostało omówione w punkcie 4.3.

Tabela 13. Stężenie promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach w jeziorach w okresie

jesiennym w 2019 r.

Lp.	Miejsce poboru próbki	^{239,240} Pu jesień mBq kg ⁻¹
1.	<i>Wigry</i> Stary Folwark	1,85 ± 0,99 ^{a)}
2.	Wadąg <i>Myki</i>	5,72 ± 1,79
3.	Wielkie Partęczyny <i>Partęczyny</i>	2,48 ± 1,31
4.	Drawsko Stare Drawsko	4,26 ± 1,61
5.	<i>Niestysz</i> Niesulice	7,90 ± 1,97
6.	Rogóżno Rogóżno	395,8 ± 18,0

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

Stężenie ²³⁸Pu w osadach dennych było w większości przypadków mniejsze od granicy detekcji (1,5 mBq kg⁻¹). Zostało oznaczone tylko w 1 z pośród 6 próbek osadów, a był to osad pobrany z jeziora Rogóżno i wynosiło odpowiednio 6,78 mBq kg⁻¹.

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

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

Tabela 14. Średnie stężenie promieniotwórcze ¹³⁷Cs w osadach dennych dorzecza Wisły, Odry i jezior w okresie jesiennym w 2019 r.

Lokalizacja poboru próbek	¹³⁷ Cs Bq kg ⁻¹ jesień	¹³⁷ Cs Bq kg ⁻¹ zakres
Dorzecze Wisły (7)^{a)}	1,21 ± 1,43	0,25–4,34
Dorzecze Odry (5)	4,57 ± 8,41	0,52–19,61
Jeziora (6)	9,36 ± 15,76	0,32–41,22
Średnia ogólna (18)	4,86 ± 10,15	0,25–41,22

^{a)} Liczba próbek osadów dennych

^{b)} Wartość średnia ± OS

Średnie stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs dla dorzecza Wisły, Odry i jezior wynosiło odpowiednio 1,21; 4,57 i 9,36 Bq kg⁻¹. Największe różnice w stężeniach ^{137}Cs obserwowano dla jezior gdzie zakres oznaczanych stężeń wynosił od 0,32 do 41,22 Bq kg⁻¹, najmniejsze zaś dla dorzecza Wisły 0,25–4,34 Bq kg⁻¹.

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 jesiennym w 2019 r.

Lokalizacja poboru próbek	$^{239,240}\text{Pu}$ mBq kg ⁻¹ jesień	$^{239,240}\text{Pu}$ mBq kg ⁻¹ zakres
Dorzecze Wisły (7)^{a)}	7,27 ± 6,80	<1,5–21,07
Dorzecze Odry (5)	24,62 ± 41,50	3,34–98,79
Jeziora (6)	69,67 ± 159,79	1,85- 395,8
Średnia ogólna (18)	32,89 ± 93,26	<1,5–395,8

^{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 w okresie jesiennym oraz ich zakres.

Średnie stężenie promieniotwórcze $^{239,240}\text{Pu}$ w osadach dorzecza Wisły było na najniższym poziomie i wynosiły 7,27 mBq kg⁻¹. Natomiast dla dorzecza Odry wartość ta była wyższa i wynosiła 24,62 mBq kg⁻¹. Największe średnie stężenie oznaczanych izotopów wystąpiło w jeziorach i wynosiło 69,67 mBq kg⁻¹. Na najwyższą wartość średniej izotopów plutonu miał pojedynczy wynik uzyskany dla jeziora Rogóźno 395,8 mBq kg⁻¹. W przypadku pozostałych jezior wyniki były porównywalne do otrzymywanych dla wód dorzecza Wisły i Odry.

Stężenie promieniotwórcze ^{238}Pu w osadach dennych było w większości przypadków mniejsze od granicy detekcji (1,5 mBq kg⁻¹). W przypadku rzecznych osadów dennych ^{238}Pu został oznaczony tylko w 1 z pośród 12 pobranych próbek, a był to osad pobrany z Odry w Chałupkach i wynosił 1,59 mBq kg⁻¹. Dla jezior stężenie ^{238}Pu zostało oznaczone tylko w 1 z pośród 6 próbek osadów, a był to osad pobrany z Rogóźna i wynosiło odpowiednio: 6,78 mBq kg⁻¹.

6. PODSUMOWANIE.

Monitoring skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych i osadów dennych w 2019 roku obejmował próbki wody i osadów dennych pobranych 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 w sezonie jesiennym 2019 roku przeprowadzono na podstawie stężeń izotopów promieniotwórczych w badanych komponentach środowiska wodnego.

Średnie stężenia promieniotwórcze ^{137}Cs w wodach dorzecza Wisły i Odry wynosiły odpowiednio 3,03 i 4,47 mBq l^{-1} . Niższą wartość oznaczono dla jezior 2,35 mBq l^{-1} . Średnie stężenia promieniotwórcze ^{90}Sr dorzecza Wisły i Odry i jezior były na zbliżonym poziomie wynosiły odpowiednio: 2,10; 2,79; 2,74 mBq l^{-1} .

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

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 ($1,5 \text{ mBq kg}^{-1}$).

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 0,02-0,05.

Wartości średnich rocznych stężeń promieniotwórcze wszystkich analizowanych nuklidów jak i oznaczenia uzyskane dla pojedynczych próbek badanej wody i osadów dennych nie odbiegają od wyników uzyskiwanych w poprzednich latach.

6. 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.