

Zawartość rtęci w osadach dennych rzek Rudawa i Prądnik

Beata Kłojzy-Karczmarczyk¹, Janusz Mazurek¹

Mercury content in the bottom sediments from the Rudawa and Prądnik rivers. *Prz. Geol.*, 63: 820–824.

Abstract. Aquatic ecosystems, including river sediments, are particularly vulnerable to contamination with mercury compounds. One of the most visible effects of increased mercury pollution are changes in the concentration of this element in the bottom sediments of rivers that collect surface water from industrial areas, where numerous sources of mercury emissions are found. The aim of the study conducted in 2014, was to assess mercury contamination of the bottom sediments in the Rudawa and Prądnik rivers in areas with different land use: urban-industrial and agricultural, and thus to recognize the possibility of a potential threat to the environment including the groundwater. For the purpose of comparison, results of research conducted by the authors for the Chechło river bottom sediments in 2007 were used.

Mercury contamination of bottom sediments of the Rudawa, Prądnik rivers and the previously studied Chechło river is characterized by considerable diversity and variability from the spring to their mouth. The highest mercury contamination was found in the sediments of the Chechło river, especially in the mining area. Average mercury content in the sediments of the Chechło river is 0.380 mg/kg. The studies have shown the lowest mercury content in the Rudawa river sediments, where the mean values are between 0.066 mg/kg and 0.071 mg/kg, depending on the depth of sampling. The mean levels of mercury in the sediments of the Prądnik river are higher at between 0.203 and 0.246 mg/kg. Mercury contamination in the river Prądnik's sediments increases in the lower course, particularly in the vicinity of Krakow metropolitan area. No observed a clear correlation between total mercury content in the test samples and the share of silt and clay fractions in the bottom sediments.

Keywords: mercury, river bottom sediments, Rudawa river, Prądnik river, groundwater

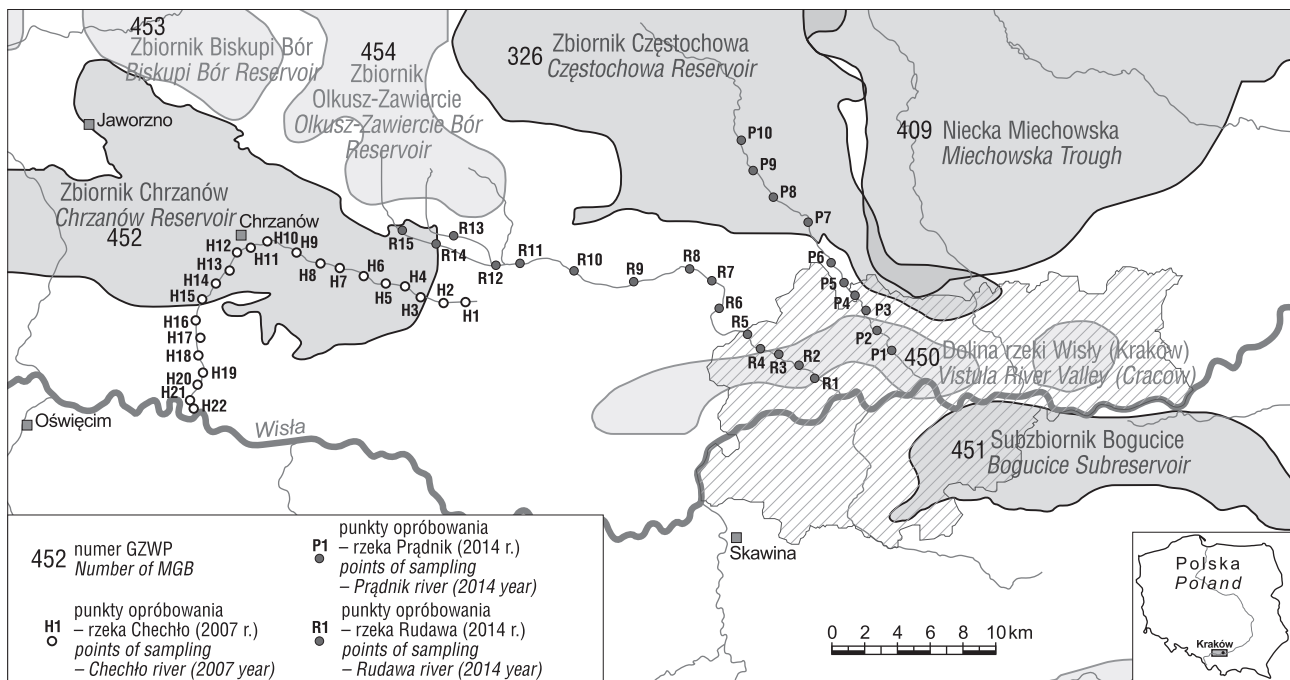
Na przeważającym obszarze Polski zawartość rtęci w glebach poziomu powierzchniowego z obszarów niezanieczyszczonych nie przekracza 0,05 mg/kg (Pasieczna, 2003). Szczególnie narażone na zanieczyszczenie związkami rtęci są ekosystemy wodne, w tym osady rzeczne (Kabata-Pendias & Pendias, 1993). Głównym źródłem rtęci w glebach, a także w osadach dennych rzek i zbiorników wodnych, jest depozycja zanieczyszczeń z atmosfery, stosowane dawniej rtęciowe zaprawy nasienne, zrzuty ścieków, a także wykorzystywanie osadów ściekowych do nawożenia gleb (m.in. Kabata-Pendias & Pendias, 1993; Witczak & Adamczyk, 1995; Macioszczyk & Dobrzyński, 2002; Pasieczna, 2003; Leśniewska i in., 2009). Jednym z bardziej widocznych efektów zwiększonego zanieczyszczenia rtęcią są zmiany w stężeniu tego pierwiastka w osadach dennych rzek zbierających wody powierzchniowe z terenów przemysłowych, na których znajdują się liczne źródła emisji tego pierwiastka. W warunkach laboratoryjnych wymywalność związków rtęci z gruntów lub osadów kształtuje się na poziomie od kilku do kilkunastu procent zawartości całkowitej. Dane literaturowe dotyczące mobilności rtęci są zróżnicowane, wynika z nich jednak, że rtęć zgromadzona w osadach może w sprzyjających warunkach przechodzić do roztworu (Witczak & Adamczyk, 1995; Macioszczyk & Dobrzyński, 2002; Boszke i in., 2003; Kłojzy-Karczmarczyk & Mazurek, 2005). Zanieczyszczone osady denne stanowią zatem, w sprzyjających warunkach, potencjalne ognisko zanieczyszczenia zarówno dla wód powierzchniowych, jak i podziemnych. W szczególności zagrożenie to dotyczy wód czwartorzędowych ze względu na płytkie ich występowanie, częsty brak dostatecznej izolacji od powierzchni, a tym samym sprzyjające warunki migracji zanieczyszczeń.

CEL PRACY

Celem przeprowadzonych badań jest ocena zanieczyszczenia rtęcią osadów dennych rzeki Rudawy oraz rzeki Prądnik w okolicach Krakowa. Obszary te, o zróżnicowanym zagospodarowaniu zarówno miejsko-przemysłowym, jak i rolniczym, częściowo znajdują się w granicach Głównych Zbiorników Wód Podziemnych. W celach porównawczych wykorzystano wyniki analogicznych badań przeprowadzonych przez autorów w 2007 r. dla osadów dennych rzeki Chechło.

Okolo 40% powierzchni zlewni Rudawy to tereny uprzemysłowione i zurbanizowane. Rzeka ta przepływa wzdłuż dwóch ważnych szlaków komunikacyjnych o znacznym natężeniu ruchu oraz jest odbiornikiem częściowo oczyszczonych ścieków komunalnych z Krzeszowic i Zabierzowa. Rudawa odcinkami znajduje się w zasięgu czwartorzędowego zbiornika GZWP 450 – Dolina rzeki Wisły (Kraków) o charakterze porowym oraz triasowego zbiornika GZWP 452 – Chrzanów o charakterze szczelinowo-krasowym (ryc. 1). Na obszarze zlewni Prądnika dominuje działalność rolnicza – okolo 80% powierzchni. Działalność przemysłowa połączona z wysoką urbanizacją terenu ma miejsce w dolnym odcinku rzeki, od Zielonek aż po ujście do Wisły w Krakowie. W górnym biegu potok Prądnik znajduje się w zasięgu górnourajskiego zbiornika GZWP 326 – Częstochowa (E) o charakterze szczelinowo-krasowym. W dolnym biegu potok jest w zasięgu czwartorzędowego zbiornika GZWP 450 – Dolina rzeki Wisły (Kraków) o charakterze porowym (ryc. 1). Okolo 70% powierzchni zlewni rzeki Chechło to tereny uprzemysłowione i zurbanizowane. Na obszarze zlewni od kilkadziesiąt lat dominował przemysł wydobywczy, metalurgiczny i chemiczny, z głównym ośrodkiem w Trzebini-Sierszy. Znaczna część

¹ Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, ul. Wybickiego 7, 31-261 Kraków; beatakk@min-pan.krakow.pl, jan@min-pan.krakow.pl.



Ryc. 1. Lokalizacja punktów poboru osadów dennych w strefie brzegowej rzek w okolicach Krakowa na tle granic zbiorników wód podziemnych (stan na marzec 2012 r.) (wykorzystano mapę GZWP wykonaną przez PIG-PIB w 2012; <http://epsh.pgi.gov.pl/epsh/>)
Fig. 1. Location of bottom sediment sampling points in the coastal zone of rivers in the vicinity of Krakow against the limits of groundwater basin (as of March 2012) (with the use of MGB map by the PGI-NRI in 2012; <http://epsh.pgi.gov.pl/epsh/>)

dorzecza Chechła jest położona w zasięgu triasowego piętra wodonośnego ze zbiornikiem GZWP 452 – Chrzanów (ryc. 1). Warstwę izolującą dla tego poziomu wodonośnego stanowią utwory neogeńskie i czwartorzędowe.

LOKALIZACJA PUNKTÓW POBORU I METODYKA BADAŃ

Dla każdego ciekę wytypowano kilkanaście miejsc poboru próbek, począwszy od stref źródłkowych aż po odcinki ujściowe rzek do Wisły (ryc. 1). Opróbowanie osadów dennych Rudawy i Prądnika przeprowadzono jesienią 2014 r. Pobór próbek prowadzono na odcinku ok. 30 km rzeki Rudawa, przy całkowitej jej długości ok. 35 km, oraz na odcinku ok. 17 km rzeki Prądnik, przy całkowitej jej długości ok. 34 km. Osady denne rzeki Chechło opróbowano w 2007 r. na odcinku ok. 22 km, przy całkowitej jej długości ok. 26 km (Klojzy-Karczmarczyk & Mazurek, 2007). Osady pobierano na ogół jako pojedyncze próbki, jedynie w wybranych punktach po dwie, bezpośrednio przy linii brzegowej ciekę, w miejscach, gdzie następuje naturalna akumulacja przybrzeżnych osadów dennych. Pozyskiwano je za pomocą przystosowanych do szlamu próbników rdzeniowych Eijkelkamp. W 2014 r. analizie poddano materiał osadów dennych pochodzący z dwóch przedziałów głębokości: 0,2–0,4 oraz 0,8–1,0 m.

Próbki osadów, przed poddaniem analizom, zostały wysuszone do stanu powietrzno-suchego w temperaturze poniżej 40°C, co pozwoliło na ograniczenie strat rtęci w materiale w wyniku parowania w procesie suszenia. Po rozdrobnieniu i homogenizacji oznaczono w próbkach zawartość całkowitą rtęci. Przeprowadzone eksperymenty dalszego suszenia w temperaturze 105°C nie prowadziły do istotnego obniżenia wilgotności próbek (wilgotność higroskopijna <1%), dlatego uznano przeprowadzone ozna-

czenia rtęci jako zawartość w suchej masie próbek. Do analiz wykorzystano modyfikację klasycznej metody AAS, umożliwiającą pomiar progowych ilości rtęci (rzędu nanogramów) w próbkach stałych i ciekłych różnego pochodzenia. Zastosowana metoda polega na połączeniu aparatury do mineralizacji z wysokiej czułości spektrometrem, co gwarantuje minimalne straty rtęci w procesie mineralizacji i analizy. Badania wykonano spektrometrem absorpcji atomowej AMA 254 Altec (Mazurek, 2001). Zastosowana metoda analityczna daje wynik oznaczania rtęci, jako sumę wszystkich form Hg obecnych w próbce. Wysokotemperaturowa mineralizacja oraz zastosowanie odpowiedniego katalizatora pozwala osiągnąć dobre rezultaty dla większości specjacji rtęci, współwystępujących w próbkach środowiskowych.

UZYSKANE WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Wyniki analiz całkowitej zawartości rtęci w pobranych próbkach osadów dennych z rzek Chechło, Rudawa i Prądnik zestawiono w tabeli 1 i podano w mg/kg suchej masy próbki. Najwyższe zawartości rtęci stwierdzono w osadach rzeki Chechło z 2007 r. (tab. 1), wyniki mieści się w granicach 0,006–1,226 mg/kg. Analiza zagospodarowania dorzecza rzeki Chechło pozwala przypuszczać, że wpływ na zanieczyszczenie rtęcią mają zrzuty wód kopalnianych oraz odprowadzenia ścieków komunalnych i przemysłowych. Badania przeprowadzone w 2014 r. wykazały niższe, w porównaniu do Chechła, zawartości rtęci w osadach dennych rzek Rudawa oraz Prądnik (tab. 1). Brak jest ponadto zdecydowanych różnic w próbkach pobranych z różnych przedziałów głębokości. Najniższe zawartości rtęci stwierdzono w próbkach osadów pobranych z rzeki Rudawa. Pomierzone wielkości wahają się w granicach 0,008–0,167 mg/kg. W punktach poboru R1–R4, zlokaliz-

Tab. 1. Wyniki analiz całkowitej zawartości rtęci w pobranych próbkach osadów dennych
Table 1. The results of analyzes of total mercury content in the samples of bottom sediments

Rtęć w osadach dennych – Hg _{total} [mg/kg s.m.] Mercury in bottom sediments – Hg _{total} [mg/kg DM]							
Rzeka Chechło 2007 r. **		Rzeka Rudawa 2014 r.			Rzeka Prądnik 2014 r.		
Punkty Points	0,3–0,5 m p.p.t./	Punkty Points	0,2–0,4 m p.p.t./	0,8–1,0 m p.p.t.	Punkty Points	0,2–0,4 m p.p.t./	0,8–1,0 m p.p.t.
H1	0,0115	R1	0,0604	0,0432	P1	0,1438	0,1024
H2	0,0072		0,0251	0,0271		(0,0116)	0,1519
H3	0,0058	R2	0,0438	0,0531	P2	0,1334	0,2190
H4	0,0093		0,0472	0,0472		0,2175	0,8537
H5	0,0107	R3	0,0355	0,0427	P3	0,0853	0,1067
H6	0,0951		(0,008)*	0,0608		0,2099	0,1604
H7	0,1957		0,0509			(0,0131)*	
H8	0,0944	R4	0,0543	0,0697	P4	0,0246	0,0291
H9	0,0993		0,0687	0,0542		0,0356	0,0466
H10	0,1076	R5	(0,0021)*		P5	0,0472	0,0232
H11	0,2796		0,0539	0,0324		(0,0017)*	0,4992
H12	0,1548		0,0470	0,0505		0,3343	
H13	0,5277	R6	0,0435	0,0389	P6	0,0597	0,0673
H14	0,7833	R7	0,0273	0,0255	P7	0,0432	0,0390
H15	0,6029	R8	0,0388	0,0358	P8	0,0372	
H16	0,5722	R9	0,0806	0,0890		(0,0009)*	0,0506
H17	0,7924	R10	0,1065	0,0922	P9	0,0309	0,0422
H18	0,4820		(0,0097)*				
H19	0,7410	R11	0,0545	0,0640	P10	0,0705	0,0674
H20	0,9825	R12	0,0138	0,0185		(0,0014)*	
H21	1,2260			(<0,0001)*	Średnio	0,2026	0,2459
H22	0,5727	R13	0,0433	0,0406			
Średnio	0,3797	R14	0,0938	0,1675			
				(0,0075)*			
		R15	0,0076	0,0106			
		Średnio	0,0664	0,0709			

** Wg Klojzy-Karczmarczyk & Mazurka, 2007; (0,0008)* test wymywalności 1:10 [Hg mg/kg s.m.]; szary kolor – przekroczone standardy dla grupy A zgodnie z rozporządzeniem (Dz.U. z 2002 r. Nr 165, poz. 1359).

** After Klojzy-Karczmarczyk & Mazurek, 2007; (0,0008)* leaching test 1:10 [Hg mg/kg s.m.]; gry colour – exceeded limits for group A in accordance with the Regulation (OJ 2002 No. 165, item 1359).

zowanych w zasięgu GZWP 450 – Dolina rzeki Wisły (Kraków), oraz w punktach R14, R15, zlokalizowanych w zasięgu GZWP 452 – Chrzanów, nie obserwowano podwyższonych zawartości rtęci w osadach. Nieco wyższe zawartości rtęci stwierdzono w osadach dennych rzeki Prądnik. Oznaczone wielkości wahają się w granicach 0,023–0,853 mg/kg. Wyraźnie podwyższone zawartości rtęci stwierdzono w punktach poboru P1–P3, zlokalizowanych w zasięgu GZWP 450, gdzie stężenia Hg osiągają 0,553 i 0,854 mg/kg. Podwyższenie zawartości rtęci na obszarze miejskim Krakowa wynika z kumulacji wieloletniego oddziaływania licznych źródeł zanieczyszczeń. Należy je wiązać zarówno z działalnością gospodarczą, jak i oddziaływaniem źródeł związanych z sektorem komunalnym.

Dodatkowo oznaczono zawartość rtęci w wodach rzek Rudawa i Prądnik na podstawie trzykrotnego pomiaru. Wody rzeki Rudawa w punkcie R1 charakteryzują się niską zawartością rtęci na poziomie 0,00029 mg/dm³ (pH 7,7), natomiast wody rzeki Prądnik w punkcie P2 na poziomie 0,00039 mg/dm³ (pH 7,6). Biorąc pod uwagę zapisy rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części

wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych (Dz.U. z 2011 r. Nr 257, poz. 1545) zawartość rtęci w wodach analizowanych rzek przekracza ok. 5-krotnie środowiskowe normy jakości dla rtęci, jako substancji priorytetowej. Maksymalne dopuszczalne stężenie rtęci i jej związków w wodach powierzchniowych wynosi 0,00007 mg/dm³.

Stężenia rtęci pomierzone przez autorów pracy dla osadów dennych rzek okolic Krakowa są zróżnicowane i jednocześnie zbieżne z podawanymi w literaturze przez innych autorów dla obszaru Polski. W osadach dennych rzeki Warta na obszarze Poznania zawartości rtęci mieszczą się w przedziale 0,047–0,283 mg/kg, średnio 0,118 mg/kg (Boszke & Kowalski, 2006). W osadach Kanału Bydgoskiego pomierzone zawartości rtęci kształtują się w granicach 0,008–0,575 mg/kg, średnio 0,105 mg/kg (Bojakowska i in., 2010). W pracy Bojakowskiej i Gliwicz (2008) podano natomiast średnie zawartości rtęci w 18 punktach zlokalizowanych na rzece Warta, pomierzone w latach 1991–2005. Zawartości uśrednione na przestrzeni lat wahają się od 0,29 do 0,43 mg/kg w zależności od lokalizacji punktu. W porównaniu z przytoczonymi danymi jedynie osady rzeki Chechło wykazują wyższe

wartości, gdzie zawartość rtęci w osadach z obszaru uprzemysłowionego przekracza 1 mg/kg. Tak wysokie zawartości rtęci podają Rubin i in. (2011) dla osadów dennych rzeki Stoły na terenie Tarnowskich Gór. Zawartość rtęci w osadach tej rzeki mieści się w szerokim przedziale 0,175–6,13 mg/kg, średnio 2,2 mg/kg, co jest wynikiem kilkusetletniego obciążenia obszaru działalnością górniczą oraz oddziaływaniem przemysłu. Podobne wyniki są również charakterystyczne dla dolnego odcinka rzeki Chechło. Ponadto tak duże wartości wynikają z zastosowanej w pracy Rubin i in. metodyki, gdzie badaniom poddano wydzieloną frakcję pyłowo-iłową o średnicach ziaren <0,063 mm (Rubin i in., 2011). Frakcja ta najczęściej zawiera najwyższe zawartości rtęci w całej masie próbki, co potwierdzają także inne, całkowicie niezależne, badania rozkładu zawartości tego pierwiastka w poszczególnych frakcjach gruntu (Klojzy-Karczmarczyk, 2014).

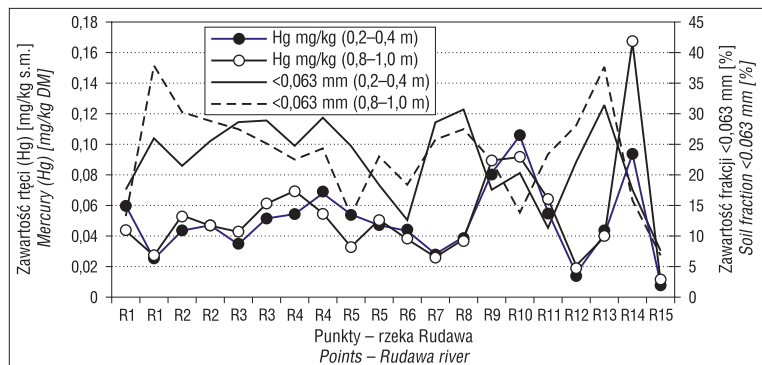
Osady dennie rzeki Rudawa i Prądnik należą do gruntów drobnoziarnistych. W osadach Prądnika zawartość frakcji o średnicach ziaren >1 mm kształtuje się w szerokich granicach 4,5–36,7%, zawartość frakcji piaszczystej, o średnicach ziaren 0,063–1,000 mm – w przedziale 40,9–77,2%, natomiast zawartość wydzielonej najdrobniejszej frakcji pylasto-ilastej, o średnicach cząstek <0,063 mm, w granicach od 6,3 do 45,5%. Osady Rudawy charakteryzują się niższym udziałem frakcji >1mm, wynoszącym 1,5–22,5%, natomiast udział frakcji piaszczystej wynosi 50,0–85,4%, a frakcji pylasto-ilastej – 6,5–38,1%. Nie obserwuje się wyraźnej zależności pomiędzy zawartością całkowitą rtęci w badanych próbkach a udziałem wydzielonej frakcji pylasto-ilastej (ryc. 2, 3). Obecność minerałów ilastych oraz substancji organicznej jest czynnikiem podstawowym, wpływającym na możliwość akumulacji metali w gruntach (Choma-Moryl & Rinke, 2005). Zdecydowana część rtęci jest związana z frakcją o najdrobniejszych średnicach cząstek i ziaren, jednak w tym przypadku nie można pomijać faktu obecności rtęci związanej z grubszymi frakcjami piaszczystymi, a przede wszystkim z substancją organiczną.

Przeprowadzone w warunkach laboratoryjnych klasyczne badania wymywalności (test 1:10) wykazały, że udział formy wymywalnej związków rtęci w całkowitej jej zawartości dla osadów rzek Prądnik oraz Rudawa kształtuje się na poziomie od 2,0 do 10,5% (pH roztworów 7,8–8,2) (tab. 1). Uzyskane wyniki są potwierdzeniem wymywalności rtęci na poziomie podawanym we wcześniejszych pracach.

W pracy Rubin i in. (2011) w celu oceny zanieczyszczenia osadów posłużono się m.in. wartościami wskaźników zanieczyszczenia CF, obliczanych jako stosunek zawartości metalu w osadzie dennym do tła geochemicznego (Hokanson, 1980). Na podstawie wartości wskaźnika zanieczyszczenia ocenia się, czy osad jest wzbogacony w dany składnik ($CF > 1$) lub nie występuje wzbogacenie ($CF < 1$). Analogicznie obliczono wskaźniki zanieczyszczenia CF rtęcią dla osadów z analizowanego obszaru. Na całym badanym odcinku rzeki Rudawa

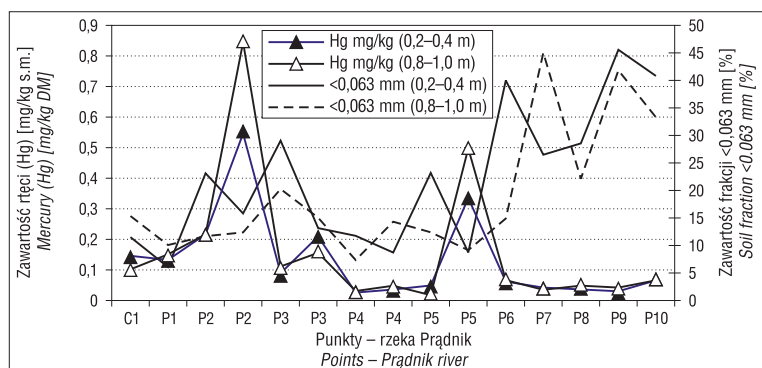
wskaźnik CF jest mało zróżnicowany i mieści się w granicach 0,2–2,1 (średnio 1,3). Takie wartości wskaźnika pozwalają na zaliczenie osadów do kategorii niskiego i umiarkowanego zanieczyszczenia. Dla osadów rzeki Prądnik wskaźnik CF jest natomiast zróżnicowany i mieści się w przedziale 0,5–11,0 (średnio 4,0). W obszarze źródłiskowym uzyskany wskaźnik pozwala na określenie zanieczyszczenia jako niskie, natomiast na obszarze Krakowa jako znaczne, a sporadycznie bardzo wysokie. Podobnie wygląda rozkład wskaźnika CF dla osadów rzeki Chechło, przyjmujący wartości 0,1–24,5 (średnio 7,6). W górnym i środkowym biegu rzeki uzyskane wartości wskaźnika pozwalają zaliczyć osady do kategorii niskiego i umiarkowanego zanieczyszczenia, jednak na obszarach górniczych osady należy zaliczyć już do kategorii bardzo wysokiego zanieczyszczenia. W obliczeniach wskaźnika CF za tło geochemiczne dla rtęci przyjęto wartość 0,05 mg/kg (Pasiczna, 2003).

W pracy Bojakowskiej & Sokołowskiej (1998) jest podana propozycja klasyfikacji osadów wodnych na podstawie kryteriów geochemicznych. Jest to pierwsza w Polsce propozycja geochemicznej klasyfikacji osadów rzecznych i jeziornych. Wartości graniczne dla I, II i III klasy jakości osadów określono, kierując się przede wszystkim biogeochemicznymi właściwościami pierwiastków. W cytowanej powyżej klasyfikacji, w przypadku zanieczyszczenia osadów rtęcią, autorzy pracy przyjęli wartości graniczne dla I klasy na poziomie 0,1 mg/kg, dla



Ryc. 2. Całkowita zawartości rtęci w próbkach osadów dennych rzeki Rudawa w odniesieniu do zawartości frakcji o uziarnieniu <0,063 mm

Fig. 2. The total mercury content in the samples of the Rudawa river bottom sediments with respect to the content a grain size fraction <0.063 mm



Ryc. 3. Całkowita zawartości rtęci w próbkach osadów dennych rzeki Prądnik w odniesieniu do zawartości frakcji o uziarnieniu <0,063 mm

Fig. 3. The total mercury content in the samples of the Prądnik river bottom sediments with respect to the content a grain size fraction <0.063 mm

II klasy – 0,5 mg/kg, natomiast dla III klasy 1,0 mg/kg. Zgodnie z proponowaną klasyfikacją można stwierdzić, że osady rzeki Rudawa mają I klasę czystości, natomiast osady rzeki Prądnik kwalifikują się do I i II klasy czystości. Jedynie sporadycznie osady rzeki Prądnik (punkty P2 i P5) należą do bardziej zanieczyszczonych i mieszczą się w III klasie. Na podstawie przeprowadzonych badań za najbardziej zanieczyszczone można uznać osady pobrane z rzeki Chechło. Wprawdzie w górnym biegu rzeki osady te można zaklasyfikować do I i II klasy czystości, jednak w dolnym biegu, na obszarach górniczych czystość osadów wyraźnie spada do III klasy, a w jednym przypadku nawet poza tę klasę.

Biorąc pod uwagę rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U. z 2002 r. Nr 165, poz. 1359), można stwierdzić, że osady rzeki Rudawa nie przekraczają standardów dla grupy A („nieruchomości gruntowe wchodzące w skład obszaru poddanego ochronie na podstawie przepisów ustawy Prawo wodne”). Osady rzeki Prądnik przekraczają standardy dla grupy A na odcinku zlokalizowanym na obszarze Krakowa. Największe przekroczenia obserwuje się w osadach rzeki Chechło, zwłaszcza na odcinku uprzemysłowionym w dolnym biegu rzeki (tab. 1).

WNIOSKI

Zanieczyszczenie rtęcią osadów dennych rzek Rudawa i Prądnik oraz wcześniej badanych osadów z rzeki Chechło charakteryzuje się znacznym zróżnicowaniem i zmiennością od źródeł do ujścia. Obserwowane wartości są zbliżone do opisywanych w literaturze wyników badań stężenia rtęci w osadach innych rzek na terenie Polski. Najwyższe stężenie rtęci stwierdzono w osadach rzeki Chechło, zwłaszcza na terenie związanym z działalnością górniczą. Uśredniona zawartość rtęci w osadach rzeki Chechło kształtuje się na poziomie 0,380 mg/kg. Najniższe zawartości rtęci wykazały badania przeprowadzone w 2014 r. dla osadów rzeki Rudawa, gdzie wartości uśrednione wynoszą 0,066 oraz 0,071 mg/kg w zależności od głębokości poboru. Średnie zawartości rtęci w osadach rzeki Prądnik są wyższe – na poziomie 0,203 oraz 0,246 mg/kg.

Biorąc pod uwagę obliczone wskaźniki zanieczyszczenia oraz klasyfikację opartą na kryteriach geochemicznych, osady rzeki Chechło należy uznać za znacząco zanieczyszczone w dolnym biegu oraz niezanieczyszczone w górnym biegu. Podobny rozkład charakteryzuje osady rzeki Prądnik, gdzie w szczególności na obszarze Krakowa zanieczyszczenie osadów zdecydowanie wzrasta. Wzbogacone w rtęć osady rzeki Chechło oraz Prądnik mogą stanowić ogniska zanieczyszczenia dla wód podziemnych, szczególnie dla zbiorników czwartorzędowych. Osady

rzeki Rudawa można natomiast zaliczyć do niezanieczyszczonych lub słabo zanieczyszczonych, co pozwala sądzić, że osady te nie stanowią obecnie większego zagrożenia dla wód podziemnych.

Publikacja zrealizowana w ramach badań statutowych Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk.

LITERATURA

- BOJAKOWSKA I. & GLIWICZ T. 2008 – Trace metals in sediments of the Warta River Basin. Polish Geol. Inst. Spec. Paper, 24: 23–28.
- BOJAKOWSKA I. & SOKOŁOWSKA G. 1998 – Geochemiczne klasy czystości osadów wodnych. *Prz. Geol.*, 46 (1): 49–54.
- BOJAKOWSKA I., DOBEK P. & WOŁKOWICZ S. 2010 – Pierwiastki śladowe w osadach Kanału Bydgoskiego. *Górnictwo i Geologia*, 5 (4): 41–50.
- BOSZKE L. & KOWALSKI A. 2006 – Spatial Distribution Mercury in Bottom Sediments and Soils from Poznań, Poland. *Pol. J. Environ. Stud.*, 15 (2): 211–218.
- BOSZKE L., KOWALSKI A., GŁOSIŃSKA G., SZAREK R. & SIEPAK J. 2003 – Environmental Factors Affecting Speciation of Mercury in the Bottom Sediments; an Overview. *Pol. J. Environ. Stud.*, 12 (1): 5–13.
- CHOMA-MORYL K. & RINKE M. 2005 – Ocena możliwości sorpcyjnych Cd i Pb przez wybrane grunty spoiste z terenu Dolnego Śląska (Polska) w aspekcie ich wykorzystania do uszczelniania składowisk odpadów. *Gosp. Sur. Miner.*, 21(2): 69–82.
- HOKANSON L. 1980 – Ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach. *Water Research* 14; 975–1001.
- KABATA-PENDIAS A. & PENDIAS H. 1993 – Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa.
- KŁOJZY-KARCZMARCZYK B. & MAZUREK J. 2005 – Rtęć w strefie aeracji otoczenia drogi krajowej 79 na odcinku Chrzanów–Kraków. [W:] *Współczesne Problemy Hydrogeologii*, XII: 337–343.
- KŁOJZY-KARCZMARCZYK B. & MAZUREK J. 2007 – Rtęć w osadach dennych rzeki Chechło w strefie zasilania poziomu triasowego. [W:] *Współczesne Problemy Hydrogeologii*, XIII (3): 563–570.
- KŁOJZY-KARCZMARCZYK B. 2014 – Zmienność zawartości rtęci w poszczególnych frakcjach gruntów z otoczenia odcinka obwodnicy Krakowa. *Rocz. Ochr. Śr.*, 16: 363–375.
- LEŚNIEWSKA E., SZYŃKOWSKA M. I. & PARYJCZAK T. 2009 – Główne źródła rtęci w organizmach ludzi nie narażonych zawodowo. *Rocz. Ochr. Śr.*, 11: 403–419.
- MACIOSZCZYK A. & DOBRZYŃSKI D. 2002 – Hydrogeochemia strefy aktywnej wymiany wód podziemnych. PWN, Warszawa.
- Mapa głównych zbiorników wód podziemnych (wg stanu NAG na marzec 2012 r.) na terenie Polski w skali 1 : 50 000 [<http://epsh.pgi.gov.pl/epsh/>]. PIG-PIB.
- MAZUREK J. 2001 – Występowanie rtęci w środowisku przyrodniczym oraz sposoby jej oznaczania. *Czasopismo Techniczne*, Kraków.
- PASIECZNA A. 2003 – Atlas zanieczyszczeń gleb miejskich w Polsce. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 roku w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. *Dz.U.* z 2002 r. Nr 165, poz. 1359.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 roku w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych. *Dz.U.* z 2011 r. Nr 257, poz. 1545.
- RUBIN H., RUBIN K., SIODŁAK A. & SKUZA P. 2011 – Ocena zanieczyszczenia wybranymi metalami i metaloidami osadów dennych rzeki Stoły na terenie miejsko-przemysłowym Tarnowskich Gór. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 445: 615–624.
- WITCZAK S. & ADAMCZYK A.F. 1995 – Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania. Biblioteka Monitoringu Środowiska, t. II, Warszawa.