

Magdalena Senze, Monika Kowalska-Górska, Anna Wondolowska-Grabowska

Ocena zanieczyszczenia osadów dennych metalami śladowymi na przykładzie nizinnego zbiornika zaporowego w miejscowości Słup na Dolnym Śląsku

Obecność metali śladowych w środowisku wodnym jest odzwierciedleniem warunków panujących w zlewni i problem ten jest szczególnie istotny w przypadku zbiorników retencyjnych wykorzystywanych jako źródło wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Na jakość wody retencjonowanej w zbiornikach zaporowych mają wpływ takie czynniki, jak charakter zlewni zbiornika, sąsiedztwo przemysłu, obszarów wykorzystywanych rolniczo czy oczyszczalni ścieków. Ma to również swoje odzwierciedlenie w obecności metali śladowych w wodzie i osadach dennych, a także roślinach czy zwierzętach wodnych. Jednakże głównym miejscem depozycji związków metali śladowych są osady denne odkładane w czaszy zbiornika, których skład i charakterystyka wynikają z oddziaływania zlewni na dany zbiornik.

Celem badań była ocena stopnia zanieczyszczenia osadów dennych zbiornika zaporowego metalami śladowymi, których potencjalnym źródłem może być wydobywanie i przerobka rudy miedzi na terenie Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego.

Teren badań

Nysa Szalona jest ciekim III rzędu, prawobrzeżnym dopływem Kaczawy, do której uchodzi w 53,40 km jej biegu. Źródła Nysy Szalonej lokalizuje się na południe od wsi Domanów w okolicy Góry Pustelnik na wysokości 628 m n.p.m. Obszar źródłowy tej rzeki stanowią tereny leśne i grunty orne chronione. Całkowita długość Nysy Szalonej wynosi 51,00 km, natomiast jej zlewnia zajmuje powierzchnię 443,10 km², z czego 374,81 km² stanowi zlewnię zbiornika retencyjnego, którego zaporą znajduje się w miejscowości Słup (województwo dolnośląskie, powiat jaworski, gmina Męcinka). Zbiornik zaporowy (tak zwany zbiornik Słup, zalew Słup, jezioro Słup) znajduje się w odległości około 50 km od kombinatu miedziowego, którego działalność (emisja wysoka, składowane żużle pohnitczne) może mieć wpływ na jakość retencjonowanych wód. Głównymi źródłami zanieczyszczeń w zlewni zbiornika i zasilającej go Nysy Szalonej są – oprócz przemysłu – drobne zakłady wytwórcze, gospodarka komunalna oraz rolnictwo. W zlewni

znajdują się pozostałości zabudowań PGR-owskich oraz składowiska odpadów. Nysa Szalona płynie w otoczeniu pól uprawnych i pastwisk. Wzdłuż niej rozciągają się grunty klasy III i VI o bardzo słabej przepuszczalności, skały lite, słabo uszczelnione oraz łąki. Zbiornik „Słup”, oddany do eksploatacji w 1986 r., został zaprojektowany jako rezerwuuar wody na potrzeby Legnicy oraz przyległych miejscowości. Pojemność zbiornika wynosi 31,52 mln m³, jego długość – 2,90 km, a głębokość przy maksymalnej rzędnej piętrzenia – 18,05 m. Zapora została zbudowana w formie nasypu ze żwirów, gleby, gliny, piasków pylastych i gliniastych nawiezionych z okolicy. Podłoże zapory stanowią gliny pylaste, ciężkie i piaszczyste [1–3].

Obecnie źródłem wody do zaopatrzenia aglomeracji legnickiej są zasoby Kaczawy, do której uchodzi Nysa Szalona, stanowiąc znaczne uzupełnienie mas wody, szczególnie podczas jej niższych stanów w Kaczawie [1]. Zlewnia Nysy Szalonej i zbiornika „Słup” znajduje się pod wpływem oddziaływań antropogenicznych, które są źródłem zanieczyszczeń komunalnych i rolniczych, a także przemysłowych.

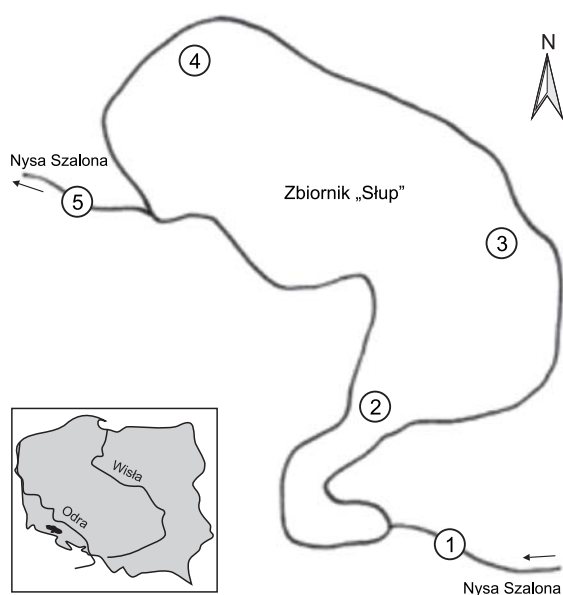
Materiały i metody

Materiał badawczy stanowiły próbki osadów dennych pobrane z czaszy zbiornika „Słup” oraz dopływu i odpływu Nysy Szalonej zasilającej zbiornik. Próbkę osadów z dna rzeki pobrano w odległości 300 m powyżej i 300 m poniżej zbiornika, natomiast w obrębie samego zbiornika usytuowano trzy stanowiska badawcze (rys. 1). Badania przeprowadzono w cyklu rocznym, pobierając próbki osadów w charakterystycznych porach roku (wiosna, lato, jesień i zima), mających istotny wpływ na zmiany jakości wody w zbiorniku zaporowym.

Próbki osadów dennych pobrano zgodnie z normą [4], z użyciem czerpacza Eckmana (15 cm × 15 cm) bezpośrednio do worków płóciennych, a następnie wysuszono w temperaturze około 20°C do stanu powietrznie suchego. Kolejnym etapem było roztrzenie próbek w moździerzu i przesianie ich przez sito o średnicy oczek 2 mm. Następnie odważono 2 g powietrznie suchej i zhomogenizowanej próbki do naczynia teflonowego HP-500. Po dodaniu 10 cm³ HNO₃:HClO₄ (3:1) (Sigma, Aldrich), próbki pozostawiono w temperaturze około 20°C na 24 h. Następnie umieszczono je w piecu mikrofalowym Mars 5 firmy CEM i poddano trzostopniowej mineralizacji. Zawartość ołowiu, miedzi, niklu, cynku, kadmu, chromu, kobaltu i glinu w próbkach oznaczono metodą płomieniowej absorpcyjnej spektrometrii atomowej (FAAS) [5, 6].

Dr M. Senze, dr inż. M. Kowalska-Górska: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Biologii i Hodowli Zwierząt, Zakład Hydrobiologii i Akwakultury, ul. J. Chelmońskiego 38c, 51-630 Wrocław
magdalena.senze@up.wroc.pl

Dr inż. A. Wondolowska-Grabowska: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Przyrodniczo-Technologiczny, Katedra Szczegółowej Uprawy Roślin, pl. Grunwaldzki 24a, 50-363 Wrocław



Rys. 1. Zarys zbiornika zaporowego „Slup” wraz z rozmieszczeniem miejsc pobierania próbek
Fig. 1. Outline of the Slup dam reservoir together with sampling points

Analiza wyników

Do analizy wyników wykorzystano programy Microsoft Office Excel oraz Statistica (ANOVA), natomiast analizę kanoniczną (CCA) wykonano korzystając z programu XLSTAT.

Ocenę stanu zanieczyszczenia osadów dennych metalami śladowymi przeprowadzono na podstawie wartości współczynnika geoakumulacji (I_{geo}) oraz współczynnika wzbogacenia osadów (EF). Wartość współczynnika I_{geo} wyliczono ze wzoru (i odniesiono do geochemicznych klas czystości osadów dennych) [7, 8]:

$$I_{geo} = \log_2(M_o/1,5M_t) \quad (1)$$

w którym:

M_o – zawartość metalu w osadzie, mg/g

M_t – tło geochemiczne metalu, mg/g

Znajomość wartości współczynnika geoakumulacji pozwalała na zakwalifikowanie danego osadu do jednego z siedmiu stopni czystości, począwszy od niezanieczyszczonego do bardzo silnie zanieczyszczonego (tab. 1) [8].

Tabela 1. Wartość współczynnika geoakumulacji (I_{geo}) – stopień czystości osadu [8]

Table 1. Geoaccumulation index (I_{geo}) – contamination level of bottom sediments [8]

I_{geo}	Stopień czystości osadu	Stan zanieczyszczenia osadu
<0	0	niezanieczyszczone
0÷1	1	niezanieczyszczone – umiarkowanie zanieczyszczone
1÷2	2	umiarkowanie zanieczyszczone
2÷3	3	umiarkowanie zanieczyszczone – silnie zanieczyszczone
3÷4	4	silnie zanieczyszczone
4÷5	5	silnie zanieczyszczone – bardzo silnie zanieczyszczone
>5	6	bardzo silnie zanieczyszczone

W celu określenia wpływu zanieczyszczeń antropogenicznych na zawartość metali śladowych w osadach dennych wyznaczono wartości współczynnika wzbogacenia (EF) z zależności (wykorzystując glin, jako czynnik normalizujący) [9]:

$$[EF] = ([Me]/[Al])_o / ([Me]/[Al])_t \quad (2)$$

w której:

$[Me]_o$ – zawartość danego metalu, mg/kg

$[Me]_t$ – tło geochemiczne danego metalu, mg/kg

Przyjęto wartości tła geochemicznego metali jako równe 0,5 mgCd/kg, 2,0 mgCo/kg, 5,0 mgCr/kg, 6,0 mgCu/kg, 5,0 mgNi/kg, 10,0 mgPb/kg i 48,0 mgZn/kg [7] oraz średnią zawartość glinu w osadach równą 0,65 mgAl/kg [10]. Wyniki badań poddano weryfikacji za pomocą certyfikowanych materiałów referencyjnych LKSD-2 (osad denny) – Canadian Certified Reference Materials Project (CANMET).

Dyskusja wyników

W tabeli 2 przedstawiono zawartość badanych metali w osadach dennych. W próbkach osadów pobranych z czasy zbiornika stwierdzono większą zawartość poszczególnych pierwiastków niż w próbkach pochodzących z Nysy Szalonej. We wszystkich badanych próbkach osadów odnotowano najmniejszą ilość kadmu oraz największą cynku. Zawartość poszczególnych metali w osadach z Nysy Szalonej układała się w szeregu Cd<Pb<Co<Cu<Cr<Ni<Zn, w przypadku zbiornika (stanowiska 2 i 3) szereg ten był następujący Cd<Co<Pb=Cu<Ni<Cr<Zn, a na stanowisku najbliżej zapory (st. 4) – Cd<Co<Cu<Cr<Ni<Pb<Zn. Na stanowisku usytuowanym najbardziej na północ (4), leżącym najbliżej kopalni miedzi, widoczny był wzrost zawartości miedzi w osadach.

Wartości współczynnika geoakumulacji metali w osadach (I_{geo}) zebrano w tabeli 3. Zgodnie z obecnie stosowaną klasyfikacją, kadm, ołów i cynk przyjmowały wartości mieszczące się w I klasie czystości osadów, kobalt i miedź w klasie I i II, natomiast nikiel i chrom w klasie II.

W całym rocznym cyklu badań zaobserwowano, że związki miedzi, cynku, chromu i glinu były zatrzymywane w zbiorniku, o czym świadczyła większa zawartość tych metali w osadach pobranych z rzeki powyżej zbiornika niż przed nim. Z kolei nikiel, kadm, ołów i kobalt były usuwane ze zbiornika. W obrębie zbiornika, zgodnie z kierunkiem przepływu wody, zmniejszała się ilość cynku i glinu w osadach, a wzrastała zawartość pozostałych metali. To przemieszczanie się metali w profilu poziomym w sprzyjających warunkach hydrologicznych, często nagłych – gwałtowny rzut wody ze zbiornika lub szybki przepływ dużych mas wody podczas wysokiego stanu wód – może stać się przyczyną wynoszenia osadów ze zbiornika i wzbogacenia wody w Nysie Szalonej w metale śladowe. Wyniki analizy kanonicznej zobrazowane na rysunku 2 wykazały, że zawartość metali w osadach zależała od położenia stanowiska badawczego, co było najbardziej widoczne w przypadku stanowisk 2 i 4. Po wyeliminowaniu ze zbioru danych wyników dotyczących osadów rzecznych, na podstawie wyników analizy kanonicznej można wnioskować, że cynk i glin najbardziej gromadziły się w rejonie cofki (stanowisko 2), a pozostałe metale głównie w pobliżu zapory (stanowisko 4).

W celu określenia wpływu zanieczyszczeń antropogenicznych i źródła pochodzenia metali w osadach dennych, w tabeli 4 zebrano wartości współczynnika wzbogacenia

Tabela 2. Zawartość metali śladowych w osadach dennych zbiornika „Słup” i Nysy Szalonej
Table 2. Trace metal content in bottom sediments of the dam reservoir and Nysa Szalona river

Metal		Zawartość metali w miejscach pobierania próbek, mg/kg*				
		1 Nysa Szalona (dopływ)	2 zbiornik „Słup”	3 zbiornik „Słup”	4 zbiornik „Słup”	5 Nysa Szalona (odpływ)
Cu	min.+maks.	5,46÷12,09	22,31÷40,16	23,06÷38,82	36,91÷47,84	5,75÷9,94
	śr. ±odch. st.	7,94±2,05	31,69±5,63	30,05±3,76	40,89±3,13	7,72±1,33
Ni	min.+maks.	24,15÷47,91	30,45÷61,52	34,50÷49,78	42,09÷66,32	21,67÷43,06
	śr. ±odch. st.	29,27±6,52	43,45±11,05	40,31±4,56	51,25±7,06	31,50±5,55
Cd	min.+maks.	0,02÷0,10	0,18÷0,86	0,39÷0,90	0,34÷1,31	0,10÷0,69
	śr. ±odch. st.	0,06±0,03	0,48±0,16	0,57±0,18	0,77±0,32	0,38±0,18
Pb	min.+maks.	4,26÷12,83	20,07÷38,48	20,79÷41,36	36,23÷101,99	2,41÷9,99
	śr. ±odch. st.	6,61±2,50	31,69±5,58	30,83±4,68	54,08±22,69	6,70±2,29
Zn	min.+maks.	29,55-54,24	70,07÷164,61	73,27÷139,90	44,52÷143,96	26,57÷40,03
	śr. ±odch. st.	36,94±7,61	117,35±24,50	102,85±15,10	96,62±35,24	36,01±3,37
Cr	min.+maks.	15,70÷49,47	30,74÷67,78	32,12÷57,75	35,65÷59,00	8,78÷36,63
	śr. ±odch. st.	27,43±9,16	45,06±8,81	44,99±7,64	49,57±8,60	21,53±7,72
Co	min.+maks.	7,17÷8,10	10,06÷16,34	9,07÷18,50	13,75÷18,50	5,82÷11,66
	śr. ±odch. st.	7,66±0,30	12,56±2,21	12,73±2,53	16,31±1,21	7,99±1,59
Al	min.+maks.	2771,00÷19405,10	1942,50÷4822,00	3963,00÷5249,50	759,36÷1537,00	695,10÷23672,60
	śr. ±odch. st.	7528,18±6313,00	3622,25±893,07	4627,46±322,69	1080,20±220,19	5676,06±7852,87

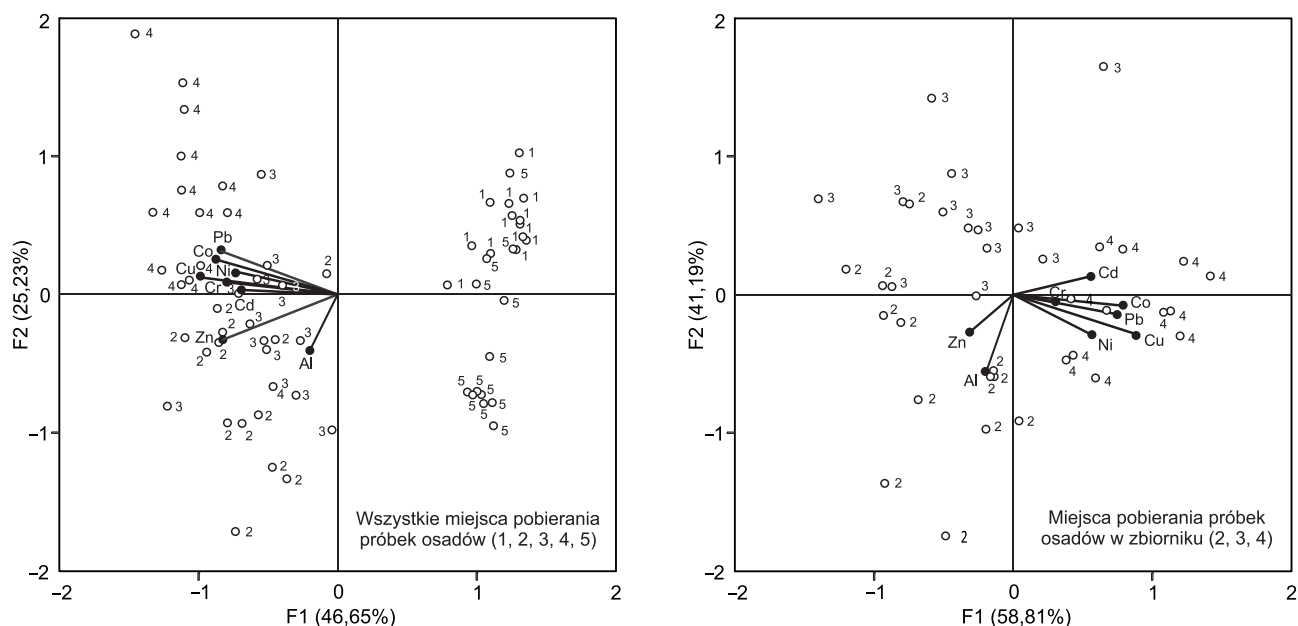
*w odniesieniu do suchej masy osadu

Tabela 3. Wartości współczynnika geoakumulacji (I_{geo}) metali oraz klasa czystości osadów w zbiorniku „Słup” i Nysie Szalonej
Table 3. Geoaccumulation index of metals and purity classes of sediments from the dam reservoir and Nysa Szalona river

Metal		Wskaźnik geoakumulacji metali w miejscach pobierania próbek				
		1	2	3	4	5
Cu	I_{geo}	2	2	2	0	0
	klasa	II	II	II	I	I
Ni	I_{geo}	3	3	3	2	2
	klasa	II	II	II	II	II
Cd	I_{geo}	0	0	0	0	0
	klasa	I	I	I	I	I
Pb	I_{geo}	1	1	1	0	0
	klasa	I	I	I	I	I
Zn	I_{geo}	0	0	0	0	0
	klasa	I	I	I	I	I
Cr	I_{geo}	3	3	3	2	2
	klasa	II	II	II	II	II
Co	I_{geo}	2	2	2	1	1
	klasa	II	II	II	I	I

Tabela 4. Średnie wartości współczynnika wzbogacenia osadów (EF)
Table 4. Mean values of bottom sediment enrichment factor (EF)

Metal	Współczynnik wzbogacenia osadów (EF) w miejscach pobierania próbek				
	1	2	3	4	5
Cu	0,0008	0,0007	0,0009	0,0009	0,0006
Ni	0,0037	0,0012	0,0016	0,0014	0,0029
Cd	0,0001	0,0001	0,0002	0,0002	0,0004
Pb	0,0004	0,0004	0,0006	0,0007	0,0004
Zn	0,0005	0,0003	0,0004	0,0003	0,0003
Cr	0,0036	0,0013	0,0017	0,0014	0,0017
Co	0,0024	0,0008	0,0013	0,0011	0,0017



Rys. 2. Wyniki analizy kanonicznej (CCA) zawartości metali śladowych w miejscach pobierania próbek osadów dennych
 Fig. 2. Canonical correlation analysis (CCA) of trace metal concentrations at the bottom sediment sampling points

osadów (EF). Do oceny przyjęto wartość $EF \leq 1,0$ jako pochodzenie naturalne danego metalu (tło), natomiast wartości $EF > 1,0$ sklasyfikowano jako pochodzenie antropogeniczne. Okazało się, że wszystkie badane próbki osadów mieściły się w przedziale $EF \leq 1,0$, czyli zawartość w nich metali należy uznać za naturalną, co nie pozwala potwierdzić wpływu przemysłu miedziowego na zawartość metali w osadach dennych na badanym terenie. Najmniejszą zawartość wszystkich metali stwierdzono w odpływie ze zbiornika, co potwierdza, że pełni on rolę osadnika. Największą zawartość niklu, cynku, chromu i kobaltu stwierdzono w dopływie do zbiornika, miedzi na stanowisku 2, ołowiu na stanowisku 3, a kadmu w odpływie ze zbiornika.

Wartości współczynnika korelacji zestawione w tabeli 5 pozwalają na stwierdzenie zależności ($p < 0,05$) między miejscem pobierania próbek osadów a zawartością prawie wszystkich badanych metali (oprócz cynku i glinu), przy czym pora roku nie znalazła odzwierciedlenia w związku korelacyjnym. Z kolei zawartość metali w osadach okazała

się być w przeważającej liczbie grup wysoko skorelowana z innymi badanymi metalami. Dotyczyło to wszystkich analizowanych metali z wyjątkiem glinu, w przypadku którego takiej zależności nie stwierdzono. Analiza zawartości metali w badanych osadach pozwoliła na zaliczenie ich do dwóch grup – w pierwszej znalazły się nikiel, kadm, ołów, miedź, kobalt i glin, a w drugiej cynk i chrom.

Pierwszą grupę charakteryzowała większa obecność metali śladowych niż odnotowana w osadach pochodzących z południowego i północno-zachodniego pasa Polski (tab. 6) [11–20]. Jedynie w zestawieniu z Odrą, która jako odbiornik gromadzi zanieczyszczenia z obszarów objętych silną antropopresją, zawartość wymienionych metali była większa [21]. Wskazuje to na możliwość wpływu lokalnej emisji zanieczyszczeń pochodzenia antropogenicznego. Można zatem przypuszczać, że wpływ przemysłu miedziowego – choć niewielki – nie jest bez znaczenia, jednakże wymaga to wykonania szerszych badań w celu potwierdzenia jego oddziaływania na obecność metali w osadach.

Tabela 5. Wartości współczynnika korelacji zawartości metali w osadach z uwzględnieniem pory roku i miejsca pobierania próbek
 Table 5. Correlation coefficient of sediment metal content taking into account seasons and sampling points

Dane	Stanowisko	Pora roku	Cu	Ni	Cd	Pb	Zn	Cr	Co	Al
Stanowisko	1,00	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Pora roku	–0,27*	1,00	–	–	–	–	–	–	–	–
Cu	0,51*	–0,17	1,00	–	–	–	–	–	–	–
Ni	0,55*	–0,44*	0,87*	1,00	–	–	–	–	–	–
Cd	0,99*	–0,28*	0,59*	0,60*	1,00	–	–	–	–	–
Pb	0,37*	–0,18	0,89*	0,79*	0,43*	1,00	–	–	–	–
Zn	–0,02	0,05	0,67*	0,49*	0,08	0,53*	1,00	–	–	–
Cr	0,44*	–0,06	0,86*	0,73*	0,51*	0,68*	0,65*	1,00	–	–
Co	0,93*	–0,28	0,78*	0,76*	0,96*	0,62*	0,28*	0,65*	1,00	–
Al	–0,13	0,05	0,02	–0,01	–0,11	0,03	0,15	0,03	–0,06	1,00

*korelacja istotna przy $p < 0,05$

Tabela 6. Zawartość metali śladowych w osadach dennych wybranych rzek w Polsce
Table 6. Trace metal content of bottom sediments from selected rivers in Poland

Teren badań	Zawartość metalu w osadzie, mg/kg*										Pozycja literatury
	Ni	Cd	Pb	Zn	Cu	Al	Cr	Co			
Potoki południowo-zachodniej Polski	2÷16	0,12÷2,18	3÷20	10÷214	2÷9	-	3,63÷14,00	0,33÷13,60	[11]		
Zbiorniki zaporowe w Sudetach	4,07÷56,80	0,08÷7,24	4,33÷479	14,70÷422	4,11÷327	-	-	-	[12]		
Rzeki południowo-zachodniej Polski, w tym zlewni zbiornika „Słup”	5,8÷34,4	0,1÷0,44	21÷274	40÷152	9÷576	2220÷6060	9÷576	2,90÷22,60	[13]		
Dopływy Jeziora Goczałkowickiego	-	2÷4	5÷60	40÷514	9÷60	7700÷24200	-	-	[14]		
Rzeki Pomorza Zachodniego	1,39÷14,39	0,04÷1,51	4,80÷18,25	5,23÷47,12	0,67÷11,46	-	-	-	[15]		
Czeska Struga, Katkonosze	6÷11	0,88÷1,49	36÷64	47÷122	8÷11	3700÷5400	5,70÷12,40	2,70÷5,90	[16]		
Rzeka Kłodnica	3÷16	2,6÷6,4	8÷54	114÷480	5÷42	-	-	-	[17]		
Rzeka Grabowa, Pomorze Zachodnie	-	-	-	-	-	3,96-26,15	-	-	[18]		
Rzeka Czerwona, Pomorze Zachodnie	-	-	-	-	-	6,74-47,06	-	-	[18]		
Rzeka Parsęta, Pomorze Zachodnie	1,36÷7,57	0,01÷0,70	2,54÷17,57	4,87÷30,87	0,47÷7,37	-	-	-	[19]		
Rzeka Radew, Pomorze Zachodnie	0,56÷7,48	0,002÷1,01	3,17÷14,13	3,71÷50,57	0,18÷8,43	-	-	-	[19]		
Rzeka Biała Łądecka, Sudety	8,94÷18,94	-	10,39÷134,41	45,35÷116,58	6,66÷20,37	-	-	-	[20]		
Rzeki w zlewni Odry	<350	8÷42	61-426	10÷811	4÷361	6170÷29900	4÷375	9,50÷59,60	[21]		

* w odniesieniu do suchej masy osadu

Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, że osady dennie pobrane z czaszy zbiornika zaporowego „Słup” oraz z koryta Nysy Szalonej nie są zanieczyszczone metalami śladowymi. Wskazują na to małe wartości współczynnika geoakumulacji, co pozwala zaliczyć te osady do I i II klasy czystości. Obecna zawartość analizowanych metali w osadach ma raczej charakter naturalny, co potwierdzają niewielkie wartości współczynnika wzbogacenia.

Sąsiedztwo przemysłu miedziowego nieznacznie wpływa na zawartość metali śladowych w osadach dennych. Odnotowano nieco większą zawartość miedzi na stanowisku badawczym najbardziej wysuniętym w kierunku kopalni miedzi, lecz nie była ona na tyle wysoka, aby wnioskować o istotnym wpływie emisji z terenu kopalni na jakość osadów dennych.

Badania były współfinansowane ze środków Krajowego Naukowego Ośrodka Wodącego, przeznaczonych na lata 2014–2018 dla Wrocławskiego Centrum Biotechnologii.

LITERATURA

- M. WIATKOWSKI, C. ROSIK-DULEWSKA: Hydrologiczne i hydrauliczne uwarunkowania budowy zbiornika wstępnego w cofce zbiornika Słup. *Rocznik Ochrona Środowiska* 2016, vol. 18, ss. 468–479.
- L. BARANIECKI, J. BIEROŃSKI, E. KUŹNIEWSKI, W. PAWLAK: Mapa sozologiczna. Arkusz M-33-33-C. Jawor, Arkusz M-33-45-A. Bolków 1999.
- J. BIEROŃSKI, W. PAWLAK, J. TOMASZEWSKI: Mapa hydrograficzna. Arkusz M-33-33-C. Jawor, Arkusz 33-45-A. Bolków 2001.
- PN-EN ISO 5667-15:2009: Jakość wody – Pobieranie próbek – Część 15: Wytyczne dotyczące utrwalania i postępowania z próbkami osadów ściekowych i osadów dennych.
- PN-ISO 11047:2001: Jakość gleby – Oznaczanie kadmu, chromu, kobaltu, miedzi, ołowiu, manganu, niklu i cynku w ekstraktach gleby wodą królewską – Metody płomieniowej i elektrotermicznej absorpcyjnej spektrometrii atomowej.
- PN-EN ISO 12020:2002: Jakość wody – Oznaczanie glinu – Metody atomowej spektrometrii absorpcyjnej.
- I. BOJAKOWSKA, G. SOKOŁOWSKA: Geochemiczne klasy czystości osadów wodnych. *Przegląd Geologiczny* 1998, vol. 46, nr 1, ss. 49–54.
- G. MÜLLER: Die Schwermetallbelastung der Sedimenten des Neckars und Seiner Nebenflüsse. *Chemiker-Zeitung* 1981, Vol. 6, pp.157–164.
- C. REIMANN, P. de CARITAT: Distinguishing between natural and antropogenic sources for elements in the environment: Regional geochemical surveys versus enrichment factors. *Science of the Total Environment* 2005, Vol. 337, pp. 91–107.
- A. PASIECZNA, J. SIEMIĄTKOWSKI, J. LIS: Atlas geochemiczny Wałbrzyska i okolic. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa 1996.
- A. KLINK, A. MACIOŁ, M. WISŁOCKA, J. KRAWCZYK: Metal accumulation and distribution in the organs of *Typhalatifolia* L. (cattail) and their potential use in bioindication. *Limnologia* 2013, Vol. 43, pp. 164–168.
- U. DMITRUK, A. JANCEWICZ, U. TOMCZUK: Występowanie niebezpiecznych związków organicznych i pierwiastków śladowych w osadach dennych zbiorników zaporowych. *Ochrona Środowiska* 2013, vol. 35, nr 2, ss. 63–68.
- A. SAMECKA-CYMERMAN, K. KOLON, A.J. KEMPERS: A comparison of native and transplanted *Frontalis antipyretica* Hedw. as biomonitors of water polluted with heavy metals. *Science of the Total Environment* 2005, Vol. 341, pp. 97–107.
- E. SZALIŃSKA, A. KOPERCZAK, A. CZAPLIKA-KOTAS: Badania zawartości metali ciężkich w osadach dennych dopływów Jeziora Goczałkowskiego. *Ochrona Środowiska* 2010, vol. 32, nr 1, ss. 21–25.
- P. POKORNY, M. SENZE, W. DOBICKI, M. KOWALSKA-GÓRSKA, R. POLECHOŃSKI: Ocena geochemiczna cieków wodnych Pomorza Zachodniego. *Przemysł Chemiczny* 2013, vol. 92, nr 9, ss. 1768–1771.
- A. SAMECKA-CYMERMAN, A.J. KEMPERS: Bioindication of heavy metals by *Mimulus guttatus* from the Czeska Struga Stream in the Karkonosze Mountains. *Bulletin of Environmental Contamination Toxicology* 1999, Vol. 63, pp. 65–72.
- K. BARBUSIŃSKI, W. NOCON: Zawartość związków metali ciężkich w osadach dennych Kłodnicy. *Ochrona Środowiska* 2011, vol. 33, nr 1, ss. 13–17.
- M. SENZE, M. KOWALSKA-GÓRSKA, H. BIAŁOWAŚ: Evaluation of the aluminium load in the aquatic environment of two small rivers in the Baltic Sea catchment area. *Journal of Elementology* 2015, Vol. 20, No. 4, pp. 987–998.
- M. SENZE, M. KOWALSKA-GÓRSKA, P. POKORNY, W. DOBICKI, R. POLECHOŃSKI: Accumulation of heavy metals in bottom sediments of Baltic Sea catchment rivers affected by operation of petroleum and natural gas mines in Western Pomerania, Poland. *Polish Journal of Environmental Studies* 2015, Vol. 24, No. 5, pp. 2167–2175.
- P. POKORNY, J. POKORNY, W. DOBICKI, M. SENZE, M. KOWALSKA-GÓRSKA: Bioaccumulations of heavy metals in submerged macrophytes in the mountain river Biała Łądecka (Poland, Sudety Mts.). *Archives of Environmental Protection* 2015, Vol. 41, No. 4, pp. 81–90.
- A. SAMECKA-CYMERMAN, A.J. KEMPERS: Biomonitoring of water pollution with *Elodea canadensis*. A case study of three small Polish rivers with different levels of pollution. *Water Air Soil Pollution* 2003, Vol. 145, pp. 139–153.

Senze, M., Kowalska-Górska, M., Wondolowska-Grabowska, A. Evaluation of Trace Metal Contamination of Bottom Sediments Based on the Example of Lowland Dam Reservoir in Słup in the Lower Silesia Region. *Ochrona Środowiska* 2017, Vol. 39, No. 4, pp. 51–56.

Abstract: Degree of trace metal contamination (lead, copper, nickel, zinc, cadmium, chromium, cobalt) of bottom sediments from the Słup dam reservoir in Lower Silesia was analyzed considering potential effect of copper mine emissions. It was determined that the trace metal content in bottom sediments of the Nysa Szalona river feeding to the reservoir is arranged at the reservoir inflow and outflow in the following series: Cd<Pb<Co<Cu<Cr<Ni<Zn. In the south-east part of the reservoir the series was arranged as follows: Cd<Co<Pb=Cu<Ni<Cr<Zn. However, there was a visible increase in the copper level in the sediments from its north part located in close proximity to the mine: Cd<Co<Cu<Cr<Ni<Pb<Zn.

Degree of bottom sediment contamination was determined on the basis of a geoaccumulation factor for metals (I_{geo}). Among the analyzed trace metals, values for cadmium, lead and zinc were within the limits for the uncontaminated sediment group (class I). Cobalt and copper content were at the “uncontaminated” and “moderately contaminated” level (class I and II), while that of nickel and chrome — within limits for the moderately contaminated group (class II). The research pointed towards a negligible copper mine impact on the water environment of the dam reservoir. This could be explained by the inflow of air masses over the Lower Silesia Region mostly from the west and south-west. Therefore, the copper mine located to the north of the reservoir does not have a major effect on quality of the dam reservoir water.

Keywords: Bottom sediments, copper industry (copper mine), trace metals, dam reservoir, geoaccumulation index, enrichment factor.