

Witold Nocoń, Krzysztof Barbusiński, Katarzyna Nocoń, Joanna Kernert

## Analiza zmian ładunku metali śladowych transportowanych wraz z zawiesinami wzdłuż biegu rzeki

Obecność związków metali śladowych w środowisku wodnym stanowi realne zagrożenie zdrowia ludzi [1,2]. Naturalnym źródłem tych pierwiastków w wodach rzecznych są formacje skalne oraz minerały ulegające erozji i wietrzeniu [3–6]. Jednak w przeważającej części rozpuszczalne związki metali śladowych w wodach powierzchniowych są pochodzenia antropogenicznego [7,8].

Osady denne stanowią ważną, integralną i dynamiczną część ekosystemu rzeczno-egzogenicznego. Pozwalają na istnienie w nim życia, ale równocześnie stanowią sorbent wielu niebezpiecznych składników, w tym toksycznych związków metali śladowych [9,10]. Skład chemiczny osadów w wodach powierzchniowych, w tym także zawartość w nich składników szkodliwych dla organizmów żywych, uwarunkowany jest czynnikami naturalnymi i antropogenicznymi [11–13]. Zanieczyszczenie osadów rzecznych w regionie górnośląskim potęgowane jest historyczną i współczesną działalnością przemysłów wydobywczego i hutniczego [14]. Badacze podkreślają, że zawartość związków metali śladowych w osadach dennych jest dobrym wskaźnikiem zanieczyszczenia środowiska wodnego [11, 15–20].

Wspólnym czynnikiem charakteryzującym wody rzeczne i osady denne są cząstki zawiesin. Z jednej strony są one ciałem stałym, nierozpuszczonym w roztworze wodnym, z drugiej zaś podlegają transportowi wraz z przepływającą wodą na znaczne odległości. Zawiesiny stanowią nieodłączny element ekosystemu rzeczno-egzogenicznego, mający znaczny wpływ na kształtowanie się warunków fizyczno-chemicznych panujących w przemieszczających się masach wody. Zawiesiny są jednym z czynników, który kształtuje warunki życia biologicznego w ekosystemach wodnych. Choć same stanowią element zanieczyszczenia mogący negatywnie oddziaływać na środowisko wodne, są także jednym z czynników transportujących inne rodzaje zanieczyszczeń. W skład zawiesin wchodzi związki organiczne i nieorganiczne. Zmienny jest skład jakościowy i ilościowy zawiesin oraz różne są ich właściwości fizyczno-chemiczne. Zróznicowana powierzchnia właściwa cząstek zawiesin jest przyczyną ich różnych właściwości sorpcyjnych. Istotny wpływ na zmniejszenie stopnia przemieszczania się związków metali śladowych w środowisku wodnym

mają procesy współstrącania oraz sorpcji na powierzchni minerałów ilastych oraz na cząstkach organicznych [21]. Zmienny skład mineralny, jak również źródła pochodzenia (naturalne, antropogeniczne) wywierają istotny wpływ na ilość zanieczyszczeń transportowanych wraz z zawiesinami. Wśród zagranicznych badaczy coraz częściej pojawiają się opinie, że zawiesiny stanowią istotny element transportu związków metali ciężkich w rzekach i potokach, szczególnie podczas wysokich stanów wody [22].

Rejon Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego to najsilniej przekształcony antropogenicznie obszar Polski, również w odniesieniu do wód przepływających przez te tereny. Największą rzeką regionu górnośląskiego jest Kłodnica, która od źródeł do ujścia do zbiornika zaporowego Dzierżono Duże przepływa przez silnie zurbanizowany i uprzemysłowiony teren, stanowiąc jednocześnie główny odbiornik ścieków. Z uwagi na odprowadzanie do rzeki znacznych ilości ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych, większość wskaźników fizyczno-chemicznych wody w Kłodnicy wskazuje na silne zanieczyszczenie rzeki [23].

W pracy [24] omówiono szerzej rolę zawiesin, jako elementu transportu metali śladowych. W niniejszej pracy przedstawiono natomiast możliwości praktycznego wykorzystania wiedzy dotyczącej zmian ładunku zawiesin i transportowanych wraz z nimi związków metali śladowych pod kątem określania potencjalnych odcinków koryta rzeki, na których występuje zwiększona sedymentacja zanieczyszczeń.

### Przedmiot i metodyka badań

Na odcinku Kłodnicy od źródeł do jej ujścia do zbiornika zaporowego Dzierżono Duże wyznaczono 8 stanowisk, w których pobrano próbki wody i osadów dennych. Zlokalizowano je w taki sposób, aby możliwa była analiza zmian jakości wody poniżej naturalnych dopływów Kłodnicy oraz punktów odprowadzania ścieków. W tabeli 1 przedstawiono lokalizację stanowisk badawczych, a ich dokładniejszą charakterystykę przedstawiono w pracach [15,24].

W miejscach pobierania próbek wyznaczano wartość chwilowego strumienia objętości wody. Zawartość zawiesin ogólnych oznaczono metodą wagową, zgodnie z metodyką własną [25], opartą na normie PN-EN 872:2005 z tą różnicą, że do filtracji używano filtry membranowe o średnicy porów 0,45 µm. Przygotowanie zawiesin i osadów dennych do oznaczenia zawartości jonów metali śladowych obejmowało odwirowanie zawiesin w wirówce laboratoryjnej,

Dr inż. W. Nocoń, dr hab. inż. K. Barbusiński: Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Zakład Technologii Wody i Ścieków, ul. Stanisława Konarskiego 18, 44-100 Gliwice  
wknocon@polsl.pl, krzysztof.barbusinski@polsl.pl

Mgr inż. K. Nocoń, mgr inż. J. Kernert: Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN, ul. Marii Skłodowskiej-Curie 34, 41-819 Zabrze  
glowala@ipis.zabrze.pl, joanna.kernert@ipis.zabrze.pl

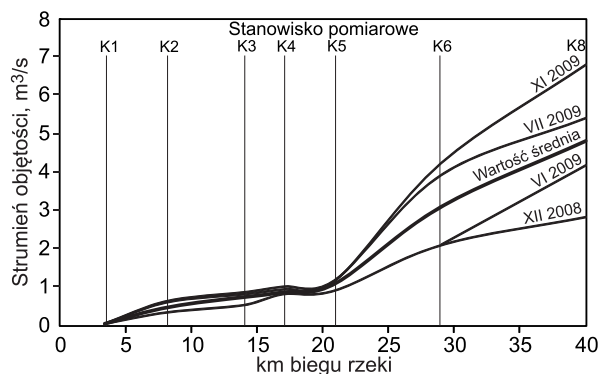
Tabela 1. Lokalizacja stanowisk pomiarowych  
Table 1. Location of sampling sites

Stanowisko	Kilometr biegu rzeki	Lokalizacja
K1	3,5	Katowice (Ligota)
K2	8,2	Katowice/Ruda Śląska (Kochłowice)
K3	14,0	Ruda Śląska (Halemba)
K4	17,0	Ruda Śląska (Halemba)
K5	21,0	Zabrze/Paniówki
K6	29,0	Gliwice (Sośnica)
K7	32,0	Gliwice (centrum)
K8	40,0	Gliwice (Łabędy)

suszenie i przesiewanie próbek, rozcieranie w moździerzu agatowym, a następnie ekstrakcję metali śladowych stężonym kwasem chlorowodorowym (spektralnie czystym) w mineralizatorze mikrofalowym. Stosunek masy próbki do objętości HCl wynosił 1:10. Zawartość jonów metali śladowych oznaczono metodą F-AAS wykorzystując aparat firmy Perkin-Elmer.

## Wyniki badań

Na rysunku 1 przedstawiono zmiany strumienia objętości wody w Kłodnicy wzdłuż jej biegu. Wartość strumienia objętości na stanowisku K1 zmieniała się w bardzo niewielkim zakresie ( $0,03 \pm 0,04 \text{ m}^3/\text{s}$ ), natomiast 5 km niżej była już kilkukrotnie większa, co było spowodowane z jednej strony odprowadzaniem ścieków z oczyszczalni miejskiej, z drugiej zaś dopływem ścieków z terenu kopalni węgla kamiennego. Na stanowisku K3 na przepływ Kłodnicy wpływa również największy lewobrzeżny dopływ tej rzeki – potok Jamna. Pomiędzy stanowiskami K3 i K5 do rzeki odprowadzane są ścieki z terenu kopalni węgla kamiennego oraz miejskiej oczyszczalni ścieków. Obserwowany jest niewielki wzrost przepływu wody. Natomiast pomiędzy stanowiskami K5 i K6 do Kłodnicy uchodzą dwa prawobrzeżne dopływy – Potok Bielszowicki oraz Czarniawka. Obserwuje się przy tym 2÷3-krotne zwiększenie wartości strumienia objętości wody, co wskazuje na istotny udział wód tych dopływów w sumarycznym przepływie rzeki Kłodnicy. Do rzeki poniżej stanowiska K6 uchodzi największy prawobrzeżny dopływ – rzeka Bytomka. Na stanowisku K8 średni obliczony strumień objętości wody w Kłodnicy wynosił poniżej  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ , przy czym w trakcie prowadzenia pomiarów zmieniał się w przedziale  $3 \div 7 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Rys. 1. Zmiana strumienia objętości wody wzdłuż biegu rzeki  
Fig. 1. Change in water flow rate along the course of the Kłodnica River

## Zawiesiny ogólne

Zawartość zawiesin w Kłodnicy (tab. 2) zmieniała się od  $1,2 \text{ g}/\text{m}^3$  do  $70 \text{ g}/\text{m}^3$ . Najmniejszą ilość zawiesin zanotowano na stanowisku K1. Wraz z biegiem rzeki stwierdzono wzrost ilości zawiesin ogólnych, przy czym największe wartości zaobserwowano na stanowisku K6. Było to spowodowane odprowadzaniem ścieków z terenu kopalni węgla kamiennego, w skład których wchodził pył węglowy. Dalej następowało zmniejszenie zawartości zawiesin ogólnych w wodzie. Również incydentalne zrzuty ścieków przemysłowych w istotny sposób wpływały na ilość zawiesin w Kłodnicy. Zawartość zawiesin ogólnych w Kłodnicy należy uznać za wysokie lub bardzo wysokie. Wcześniejsze badania przeprowadzone w obrębie Kłodnicy potwierdziły, że ilość zawiesin zmieniała się w bardzo szerokich granicach [24], choć na przestrzeni lat obserwuje się tendencję do zmniejszania ilości zawiesin ogólnych, szczególnie w granicach Gliwic.

Tabela 2. Zawartość zawiesin ogólnych w wodzie  
Table 2. Total suspended solid content in the Kłodnica River

Stanowisko	Kilometr biegu rzeki	Seria I	Seria II	Seria III	Średnia
K1	3,5	1,2	4,4	10,7	5,4
K2	8,2	10,2	18,8	18,5	15,8
K3	14	26,5	30,5	49,3	35,4
K4	17	45,7	41,2	53,5	46,8
K5	21	48,4	42,8	47,9	46,4
K6	29	35,7	54,4	70,0	53,4
K7	32	43,4	34,5	–	39,0
K8	40	30,2	–	37,8	34,0

## Jony metali śladowych w zawiesinach

Wysuszone próbki zawiesin poddano ekstrakcji w roztworze kwasu chlorowodorowego, a następnie w otrzymanych ekstraktach metodą AAS oznaczono zawartość jonów Zn, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Mn i Fe. Uzyskane wyniki zawartości jonów metali śladowych odniesiono do suchej masy zawiesin (tab. 3).

Zawartość jonów cynku w suchej masie zawiesin zmieniała się w bardzo szerokim zakresie. Najmniejsze wartości odnotowano na stanowisku K6 ( $74 \text{ mgZn}/\text{kg}$ ), natomiast największe na stanowiskach K1–K4 (maks.  $3,57 \text{ gZn}/\text{kg}$  na st. K1). Na stanowiskach K1–K5 nie stwierdzono określonej tendencji zmian zawartości cynku związanego z zawiesinami. Wzrost zawartości tego pierwiastka następował począwszy od stanowiska K6. Ilość jonów ołowiu w zawiesinach zmieniała się od  $8 \text{ mgPb}/\text{kg}$  do  $222 \text{ mgPb}/\text{kg}$ . Zwykle obserwowano większą zawartość tego pierwiastka na stanowiskach K1–K5, wyraźnie mniejszą na stanowisku K6, po czym obserwowano wzrost zawartości ołowiu z biegiem rzeki na stanowiskach K7 i K8. Zawartość jonów kadmu w zawiesinach zmieniała się od wartości będącej granicą jego oznaczalności do  $32 \text{ mgCd}/\text{kg}$ . Największe ilości tego pierwiastka odnotowano na stanowiskach K2 i K3. Znacznie mniejszą zawartość kadmu w zawiesinach oznaczano w próbkach pobranych na stanowiskach K6–K8, przy czym na tym odcinku rzeki stwierdzono tendencję wzrostu jego ilości w zawiesinach. Zawartość jonów chromu związanego z zawiesinami mieściła się w zakresie

Tabela 3. Zawartość metali śladowych w zawiesinach  
Table 3. Trace metal content in suspended solids

Stanowisko	Cynk, mgZn/kg			Ołów, mgPb/kg			Kadm, mgCd/kg			Chrom, mgCr/kg		
	min.	maks.	śr.	min.	maks.	śr.	min.	maks.	śr.	min.	maks.	śr.
K1	200	3570	1339	20	213	89	0,2	5,71	2,6	9	67	32
K2	1530	2556	2183	144	195	175	18,08	32,3	26,4	35	61	48
K3	266	1720	1205	26	139	99	3,7	20,4	14,4	9	54	36
K4	345	1760	1042	8	128	75	2,3	17,11	9,7	10	46	30
K5	1256	1600	1465	83	127	112	8,2	14,7	12,4	37	46	41
K6	74	332	245	24	74	46	0,5	2,2	1,6	16	47	28
K7	440	1214	827	206	222	214	6,1	8,15	7,1	39	56	48
K8	509	1040	775	67	134	101	1,8	5,95	3,9	30	32	31
Stanowisko	Miedź, mgCu/kg			Nikiel, mgNi/kg			Mangan, mgMn/kg			Żelazo, mgFe/kg		
	min	maks.	śr.	min.	maks.	śr.	min.	maks.	śr.	min.	maks.	śr.
K1	11	254	97	7	57	24	87	7650	2707	2420	56090	21287
K2	113	141	130	24	34	30	1539	1899	1733	24340	32060	27670
K3	27	212	133	8	32	23	113	1340	775	5320	38530	24013
K4	26	172	97	6	35	22	213	1400	821	5280	33390	17983
K5	98	173	138	25	33	30	1064	1460	1242	16030	33100	23963
K6	20	51	35	9	21	15	13	639	256	2630	19430	10083
K7	87	92	90	21	29	25	17	1358	688	21790	23660	22725
K8	47	122	85	12	18	15	21	189	105	8740	16110	12425

9÷67 mgCr/kg, przy czym większą zawartość jonów chromu wykazywały zawiesiny pobrane na stanowiskach K1–K5. Ilość tego pierwiastka w trakcie prowadzenia badań nie przekraczała tła geochemicznego. Najmniejszą i największą zawartość jonów miedzi w zawiesinach zaobserwowano na stanowisku K1 (11 mgCu/kg i 254 mgCu/kg). Wynikało to jednakże z ogólnej dużej zmienności zawartości jonów metali w zawiesinach. Porównanie trzech serii pomiarowych zwraca jednak uwagę, że podobnie jak w przypadku jonów cynku, ołowiu i kadmu, większe ilości miedzi oznaczane były w zawiesinach pobranych na stanowiskach K1–K5. Największą zawartość jonów niklu w zawiesinach odnotowano na stanowisku K1 (57 mgNi/kg), natomiast najmniejszą na stanowisku K4 (6 mgNi/kg). Zawartość niklu w zawiesinach również nie przekraczała wartości tła geochemicznego. Największą ilością jonów manganu charakteryzowały się zawiesiny pobrane na stanowisku K1 (maks. 7,65 gMn/kg). Zdecydowanie mniejszą zawartość manganu (w trakcie pierwszej serii pomiarowej) zanotowano w zawiesinach pobranych na stanowiskach K6–K8. Najmniejsze i największe ilości jonów żelaza w zawiesinach odnotowano na stanowisku K1 (odpowiednio 2,42 gFe/kg oraz 56,09 gFe/kg). Zaobserwowano również nieznaczny spadek zawartości żelaza związanego z zawiesinami w trakcie pierwszej i trzeciej serii pomiarowej.

#### Jony metali śladowych w osadach dennych

W obrębie tych samych stanowisk pomiarowych pobrano także osady dennie, w których również oznaczano zawartość metali śladowych w odniesieniu do suchej masy osadu (tab. 4). Zawartość jonów cynku w osadach dennych Kłodnicy zmieniała się w przedziale 192÷607 mgZn/kg. Duże wahania zawartości tego pierwiastka w osadach dennych obserwowane były na stanowiskach K1–K5, natomiast na stanowiskach K6–K8 jego zawartość była bardziej

wyrównana. Zawartość jonów ołowiu zmieniała się od 10 mgPb/kg do 48 mgPb/kg, przy czym większe ilości tego pierwiastka wykazano w osadach pobranych na stanowiskach K6–K8. Zawartość jonów kadmu w osadach dennych Kłodnicy zmieniała się w przedziale 2,2÷5,2 mgCd/kg. Podobnie jak w przypadku jonów cynku i ołowiu, większą zmienność kadmu zaobserwowano na stanowiskach K1–K5. Ilości chromu w osadach dennych były niewielkie – zmieniały się od 2 mgCr/kg do 24 mgCr/kg, przy czym najmniejszą zanotowaną wartość traktować można jako granicę oznaczalności. Większą zawartością chromu charakteryzowały się osady pobrane na stanowiskach K6–K8. Również ilości jonów miedzi i niklu w osadach dennych Kłodnicy były niewielkie. Zawartość jonów miedzi zmieniała się od 9 mgCu/kg do 38 mgCu/kg, a niklu od 4 mgNi/kg do 16 mgNi/kg. Zdecydowanie większe były ilości jonów manganu i żelaza – 25÷462 mgMn/kg i 1,68÷44,69 gFe/kg. W obydwu przypadkach większe zawartości tych pierwiastków zanotowano na stanowiskach K6–K8.

Tabela 4. Zawartość metali śladowych w osadach dennych  
Table 4. Trace metal content in bottom sediments

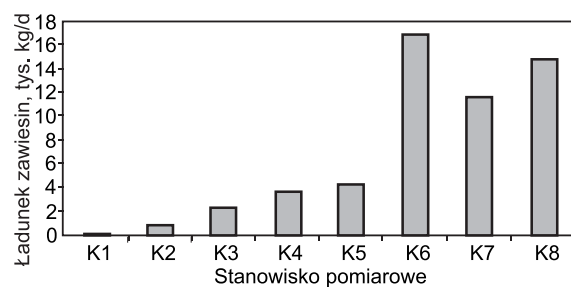
Stanowisko	Zn	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Mn	Fe
	mg/kg							
K1	249	27	2,2	12	22	8	184	4189
K2	607	12	5,2	5	14	12	49	2516
K3	179	10	2,4	2	9	4	25	1678
K4	365	23	4,8	13	35	14	189	9384
K5	192	11	3,3	4	11	7	112	4933
K6	324	36	2,8	19	22	16	462	35392
K7	270	37	2,9	24	38	10	354	44692
K8	298	48	3	18	29	13	331	19979

## Dyskusja wyników

Znajomość składu zawieszin oraz zawartości związków metali w zawieszinach nie daje pełnego obrazu o roli zawieszin, jako czynnika transportu metali śladowych. Dopiero zmienność ładunku metali niesionych wraz z zawieszinami w czasie oraz na długości rzeki pozwala zauważyć, jak istotny z punktu widzenia zanieczyszczenia środowiska jest transport metali śladowych w postaci związanej z zawieszinami. Przy założeniu stałej prędkości przepływu wody rzecznej, ładunek metali związanych z zawieszinami powinien wzrastać proporcjonalnie do wartości strumienia wody wraz z biegiem rzeki. Jednak w każdej rzece są odcinki, gdzie obserwuje się mniejszą prędkość przepływu wody, mniejszy spadek terenu czy też zmienną szerokość i głębokość koryta rzecznej. Wyznaczając ładunek metali śladowych transportowanych wraz z zawieszinami na różnych stanowiskach pomiarowych można wskazać te odcinki rzeki, na których osady dennie zanieczyszczone są w znacznie większym stopniu. Pomiary takie pozwoliłyby wyodrębnić odcinki rzek charakteryzujące się silniejszym zanieczyszczeniem osadów dennych, bez konieczności ich pobierania, na podstawie analizy ładunku metali śladowych w zawieszinach transportowanych wraz z biegiem rzeki, pobierając w tym celu próbki w dogodnych miejscach rzeki.

Zmiany dobowego ładunku zawieszin ogólnych w Kłodnicy przedstawiono na rysunku 2. Na stanowisku K1 ładunek zawieszin wynosił ok. 18 kg/d, dochodząc do 4238 kg/d na stanowisku K5. Następnie stwierdzono wzrost ładunku zawieszin do 16828 kg/d na stanowisku K6, dalej spadek do 11469 kg/d na stanowisku K7 oraz ponowny wzrost do 14809 kg/d na stanowisku K8. Zwraca uwagę 4-krotny wzrost ładunku zawieszin pomiędzy stanowiskami K5 i K6, spowodowany dopływem ścieków zawierających znaczną ilość zawieszin. Zmniejszenie ładunku zawieszin pomiędzy stanowiskami K6 i K7 można wytłumaczyć właściwościami zawieszin wprowadzanych powyżej stanowiska K6, które mają dużą gęstość, ułatwiającą szybką sedymentację. Przeprowadzone w 2004 r. badania wykazały, że w czasie 5 min uległo sedymentacji ponad 99% cząstek zawieszin pobranych na stanowisku K6 [26].

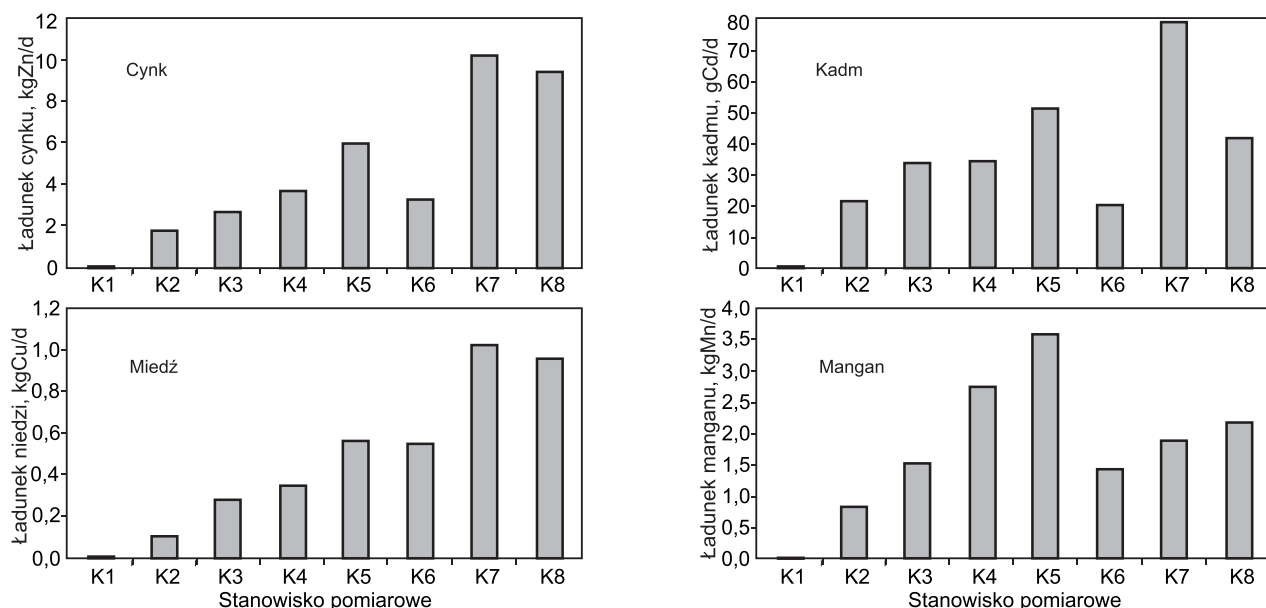
Wyznaczenie odcinków koryta rzeki, na których występuje sedymentacja zawieszin zawierających duże ilości



Rys. 2. Zmiana średniego ładunku zawieszin ogólnych wzdłuż biegu rzeki

Fig 2. Change in average load of total suspended solids along the course of the Klodnica River

jonów metali może być istotne w procesach rewitalizacji i renaturyzacji powierzchniowych wód płynących. Biorąc pod uwagę jedynie ładunek zawieszin, takim potencjalnym miejscem sedymentacji jest odcinek rzeki zlokalizowany pomiędzy stanowiskami K6 i K7. Uwzględniając w obliczeniach zmiany ładunku jonów metali transportowanych wraz z zawieszinami widać, że nie zawsze korespondowały one z ładunkiem zawieszin ogólnych. Na stanowiskach K1–K5 ładunek jonów metali związanych z zawieszinami pozostawał w korelacji z ładunkiem zawieszin ogólnych (tab. 5). Przyjmując, że ładunek jonów metali zależy od ładunku zawieszin można obliczyć, że na stanowisku K6 powinien on być ok. 4-krotnie większy niż na stanowisku K5 (ładunek zawieszin wynosił odpowiednio 4238 kg/d na st. K5 oraz 16828 kg/d na st. K6). Można jednak zauważyć, że ładunek dobowy jonów metali transportowanych wraz z zawieszinami na stanowisku K6 był znacznie mniejszy niż wartości przewidywane (rys. 3). W przypadku cynku ładunek dobowy związany z zawieszinami zmniejszył się z 6136 gZn/d do 3381 gZn/d, a ładunek jonów kadmu obniżył się z ok. 51 gCd/d do ok. 21 gCd/d. Zanotowano również zmniejszenie ładunku jonów miedzi i manganu. Dobowe ładunki jonów ołowiu, chromu, niklu i żelaza były większe na stanowisku K6 niż na stanowisku K5 (rys. 4). Jednak wbrew przypuszczeniom uwzględniającym zmiany ładunku zawieszin były one znacznie mniejsze od wartości przewidywanych. Można zatem przypuszczać, że na odcinku rzeki między stanowiskami K5 i K6 sedymentuje większość

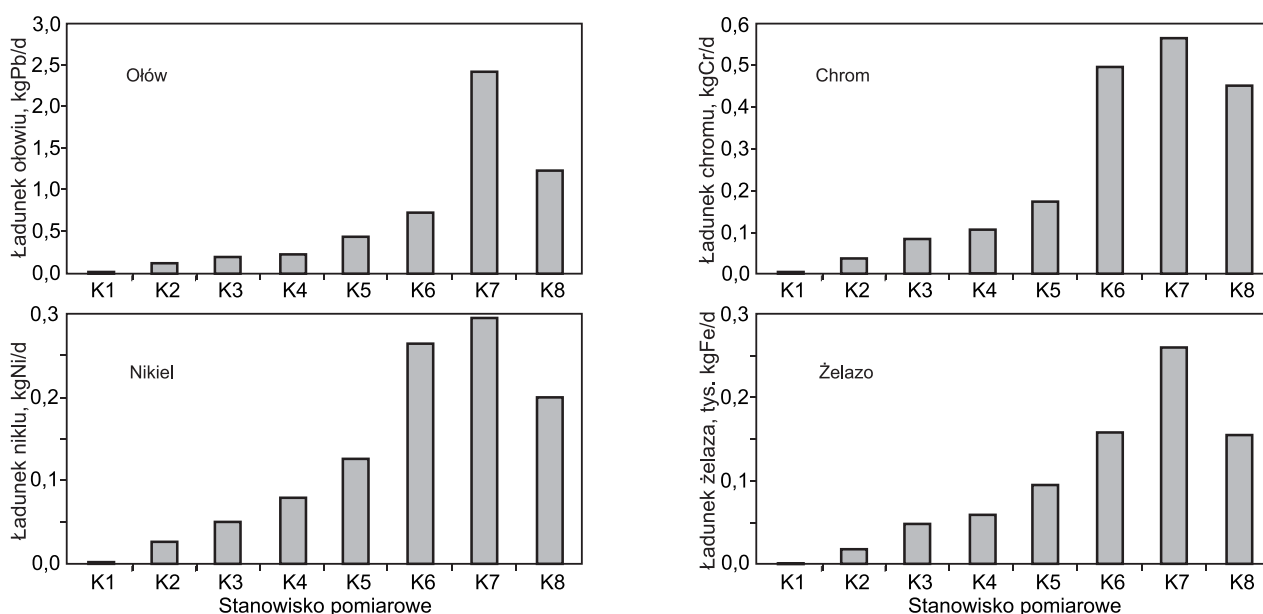


Rys. 3. Zmiana ładunku Zn, Cd, Cu, Mn w zawieszinach wzdłuż biegu rzeki

Fig. 3. Change in Zn, Cd, Cu, Mn load in suspended solids along the course of the Klodnica River

Tabela 5. Korelacja między ładunkiem metali śladowych i średnim ładunkiem zawiesin ogólnych  
Table 5. Correlation between trace metal load and the average load of total suspended solids

Współzależność	Równanie liniowe	Współczynnik determinacji ( $R^2$ )
Ładunek cynku (gZn/d) – ładunek zawiesin (kg/d)	$1,1875x + 276,15$	0,90
Ładunek ołowiu (gPb/d) – ładunek zawiesin (kg/d)	$0,0882x + 26,289$	0,88
Ładunek kadmu (gCd/d) – ładunek zawiesin (kg/d)	$0,0096x + 7,1276$	0,86
Ładunek chromu (gCr/d) – ładunek zawiesin (kg/d)	$0,0355x + 3,9886$	0,93
Ładunek miedzi (gCu/d) – ładunek zawiesin (kg/d)	$0,1172x + 3,2398$	0,93
Ładunek niklu (gNi/d) – ładunek zawiesin (kg/d)	$0,0263x - 0,8208$	0,94
Ładunek manganu (gMn/d) – ładunek zawiesin (kg/d)	$0,7827x + 22,093$	0,97
Ładunek żelaza (kgFe/d) – ładunek zawiesin (kg/d)	$0,0204x + 1,74$	0,95

Rys. 4. Zmiana ładunku Pb, Cr, Ni i Fe w zawiesinach wzdłuż biegu rzeki  
Fig. 4. Change in Pb, Cr, Ni, Fe load in suspended solids along the course of the Klodnica River

zawiesin obserwowanych na stanowisku K5, a co za tym idzie – notuje się znacznie większą zawartość metali śladowych w osadach dennych.

W celu określenia potencjalnego miejsca depozycji metali śladowych w osadach dennych Kłodnicy oznaczono również zawartość tych metali w osadach pobranych na stanowisku zlokalizowanym pomiędzy stanowiskami K5 i K6, kilkadziesiąt metrów powyżej ujścia Potoku Bielszowickiego, w miejscowości Zabrze-Makoszowy (tab. 6). Wyniki badań pozwalają stwierdzić, że pomiędzy stanowiskami K5 i K6 zaistniały warunki do kumulacji podwyższonych ilości metali śladowych w osadach dennych. Porównanie z tabelą 4 pozwala zauważyć, że zawartość metali śladowych w osadach pobranych na tym stanowisku była od kilku- do kilkunastokrotnie większa niż na stanowiskach sąsiednich i odpowiadała ich zawartości w zawiesinach.

Tabela 6. Zawartość metali śladowych w osadach dennych na odcinku rzeki między stanowiskami K5 i K6

Table 6. Trace metal content in bottom sediments of the river sector between K5 and K6 sampling points

Stano- wisko	Zn	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Mn	Fe
	mg/kg							
K5–K6	1862	135	9,7	87	98	35	666	29915

## Wnioski

◆ Ładunek metali śladowych wraz z biegiem rzeki, przy zbliżonych warunkach hydraulicznych oraz obciążenia zanieczyszczeniami, jest funkcją zmian ładunku zawiesin ogólnych.

◆ Sporządzenie jedynie bilansu masy zawiesin transportowanych wraz z biegiem rzeki może dawać niewłaściwy obraz zmian ładunku zanieczyszczeń transportowanych w zawiesinach. Dopiero bilans ładunków metali śladowych niesionych wraz z zawiesinami pozwala na wyznaczenie odcinków rzeki, na których osady dennie zawierają znacznie więcej związków metali.

◆ Wyniki badań wskazują na konieczność analizy zawartości metali śladowych w zawiesinach, gdyż obserwuje się w nich znacznie większe ilości związków metali w porównaniu z osadami dennymi.

◆ Określanie miejsc o podwyższonej zawartości związków metali śladowych w osadach dennych rzek, w oparciu o zmiany ładunku metali śladowych związanych z zawiesinami, pozwala na wskazanie tych odcinków małych i średnich rzek, na których konieczne są zabiegi mające na celu poprawę ich stanu ekologicznego.

*Praca naukowa została sfinansowana ze środków przeznaczonych na naukę w latach 2008–2010 jako projekt badawczy nr NN 523 4131 35.*

## LITERATURA

1. A. KABATA-PENDIAS, H. PENDIAS: Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1993.
2. M.N.V. PRASAD [Ed.]: Trace Elements as Contaminants and Nutrients. John Wiley & Sons Inc., Hoboken–New Jersey 2008.
3. E. ADAMIEC: Rola zawiesiny w zanieczyszczeniu metalami śladowymi rzeki Odry. Wydawnictwa AGH, Kraków 2003.
4. F.E. GROUSSET, C.R. QUETEL, B. THOMAS, O.F.X. DONARD, C.E. LAMBERT, F. GUILLARD, A. MONACO: Antropogenic vs. Lithogenic origins of trace elements (As, Cd, Pb, Rb, Sb, Sc, Sn, Zn) in water column particles: Northwestern Mediterranean Sea. *Marine Chemistry* 1995, Vol. 48, pp. 291–310.
5. C.E. LAMBERT, A. VERON, P. BUAT-MENARD, M. HEYRAUD, F. GROUSSET, W. SIMPSON: The role of large biogenic particles in the transport of atmospheric pollutant Pb down to North Atlantic sediments. *Oceanology Acta* 1991, Vol. 14, pp. 67–76.
6. J.M. MARTIN, F. ELBAZ-POULICHET, C. GUIEU, M.D. LOYE-PILOT, G. HAN: River versus atmospheric input of material to the Mediterranean Sea: An overview. *Marine Chemistry* 1989, Vol. 28, pp. 159–182.
7. Ł. BAŃ, J. GÓRSKI, K. GÓRSKA, B. SZELĄG: Zawartość zawiesin i metali ciężkich w wybranych falach ścieków deszczowych w zlewni miejskiej. *Ochrona Środowiska* 2012, vol. 34, nr 2, ss. 49–52.
8. A. JANCEWICZ, U. DMITRUK, Ł. SOŚNICKI, U. TOMCZUK, A. BARTCZAK: Wpływ zagospodarowania zlewni na jakość osadów dennych w wybranych zbiornikach zaporowych. *Ochrona Środowiska* 2012, vol. 34, nr 4, ss. 29–34.
9. J. BRILIS: Sediment monitoring and the European Water Framework Directive. *Ann Ist Super Sanità* 2008, Vol. 44, No. 3, pp. 218–223.
10. E. HELIOS-RYBICKA, U. ALEKSANDER-KWATERCZAK: Zanieczyszczenie osadów rzecznych w krajach Unii Europejskiej i ich znaczenie w zarządzaniu w systemie zlewniowym. *Geologia* 2009, vol. 35, nr 2/1, ss. 243–252.
11. I. BOJAKOWSKA, T. GLIWICZ: Wyniki geochemicznych badań osadów wodnych Polski w latach 2000–2002. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 2003.
12. M. JABŁOŃSKA, M. KOSTECKI, S. SZOPA, A. ŁYKO, R. MICHAŁSKI: Specjacja nieorganicznych form arsenu i chromu w wybranych zbiornikach zaporowych Górnego Śląska. *Ochrona Środowiska* 2012, vol. 34, nr 3, ss. 25–32.
13. M. WOJTKOWSKA, J. BOGACKI: Wykorzystanie analizy specjacyjnej w monitoringu metali ciężkich w osadach dennych na przykładzie rzeki Utraty. *Ochrona Środowiska* 2012, vol. 34, nr 4, ss. 43–46.
14. U. ALEKSANDER-KWATERCZAK, E. HELIOS-RYBICKA: Contaminated sediments as a potential source of Zn, Pb and Cd for a river system in the historical metalliferous ore mining and smelting industry area of South Poland. *Journal of Soils and Sediments* 2009, Vol. 9, No. 1, pp. 13–22.
15. K. BARBUSIŃSKI, W. NOCÓN: Zawartość związków metali ciężkich w osadach dennych Kłodnicy. *Ochrona Środowiska* 2011, vol. 33, nr 1, ss. 13–17.
16. I. BOJAKOWSKA, O. KOZŁOWSKA, T. GLIWICZ: Charakterystyka geochemiczna osadów wodnych Sanu i jego dopływów – badania monitoringowe. *Zeszyty Naukowe. Górniczo/Politechnika Śląska* 2008, vol. 285, ss. 17–30.
17. E. HELIOS-RYBICKA: Akumulacja i mobilizacja metali ciężkich w osadach środowiska wodnego: osady datowane jako wskaźnik chronologiczny. Mat. konf. „Geologiczne aspekty ochrony środowiska”, AGH, Kraków 1991, ss. 17–24.
18. W. NOCÓN: Zawartość metali ciężkich w osadach dennych rzeki Kłodnicy. *Journal of Elementology* 2006, vol. 11, nr 4, ss. 457–466.
19. W. NOCÓN: Metale ciężkie w osadach dennych wybranych dopływów rzeki Kłodnicy. *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 2009, vol. 12, nr 1, ss. 65–76.
20. H.M.V.M. SOARES, R.A.R. BOAVENTURA, A.A.S.C. MACHADO, J.C.G. ESTEVES da SILVA: Sediments as monitors of heavy metal contamination in the Ave river basin (Portugal): Multivariate analysis of data. *Environmental Pollution* 1999, Vol. 105, No. 3, pp. 311–323.
21. V.F. BREKHOVSKIKH, Z.V. VOLKOVA, A.G. KOCHARYAN: Heavy metals in the Ivan’kovo Reservoir bottom sediments. *Water Resources* 2001, Vol. 28, No. 3, pp. 278–287.
22. R.L. BIBBY, J.G. WEBSTER-BROWN: Characterization of urban catchment suspended particulate matter (Auckland region, New Zealand): A comparison with non-urban SPM. *Science of the Total Environment* 2004, No. 343, pp. 177–197.
23. W. NOCÓN, M. KOSTECKI, J. KOZŁOWSKI: Charakterystyka hydrochemiczna rzeki Kłodnicy. *Ochrona Środowiska* 2006, vol. 28, nr 3, ss. 39–44.
24. K. BARBUSIŃSKI, W. NOCÓN, K. NOCÓN, J. KERNERT: Rola zawiesin w transporcie metali ciężkich w wodach powierzchniowych na przykładzie Kłodnicy. *Ochrona Środowiska* 2012, vol. 34, nr 2, ss. 33–38.
25. W. NOCÓN: Oznaczanie zawiesiny ogólnej – metoda z wykorzystaniem filtrów membranowych. *Laboratorium – Przegląd Ogólnopolski* 2006, nr 11, ss. 10–11.
26. M. KOSTECKI, W. NOCÓN, J. KOZŁOWSKI, K. GŁOWAŁA, J. SUSCHKA: Ekologiczne skutki antropopresji jako efekt fizyczno-chemicznych przemian zawiesin w powierzchniowych wodach potamicznych. Rola zawiesin w transporcie i dyslokacji zanieczyszczeń toksycznych. Raport końcowy, z projektu badawczego nr 3 P04G 038 23, Zabrze 2005.

**Nocon, W., Barbusiński, K., Nocon, K., Kernert, J. Changes in Trace Metal Load in Suspended Solids Carried Along the River. *Ochrona Środowiska* 2013, Vol. 35, No. 1, pp. 33–38.**

**Abstract:** The paper discusses potential use of changes in load of suspended solids and co-transported trace metal ions to define sectors of the river where increased sedimentation occurs as river bottom deposits. Therefore, flow rate of the river was being determined as well as content of total suspended solids and of selected metal ions (Zn, Cd, Cu, Mn, Pb, Cr, Ni, Fe) in suspended solids and bottom sediments. Changes in the load of suspended solids and of metals with suspended solids found along the course of

the river (Kłodnica, Upper Silesia) were estimated. It was established that under similar hydraulic conditions the load of metals associated with suspended solids was a function of change in the load of suspended matter. The results of the research allowed determination of sectors of the Kłodnica River where sedimentation of the major part of suspended solids is observed and where the number of metal ions in the bottom sediments is increased. This will enable defining sectors of small and medium-sized rivers that require certain measures to be taken in order to improve their ecological state.

**Keywords:** Suspended solids, trace metals, load balance, bottom sediments, Kłodnica River.