

Ewa Szalińska, Anna Koperczak, Anna Czaplicka-Kotas

## Badania zawartości metali ciężkich w osadach dennych dopływów Jeziora Goczałkowickiego

Wyniki dotychczasowych badań wskazują jednoznacznie na zanieczyszczenie wody i osadów dennych Jeziora Goczałkowickiego metalami ciężkimi [1–6]. Wśród badanych metali na szczególną uwagę zasługują żelazo i mangan, z uwagi na ich bardzo wysokie stężenia przekraczające wartości dopuszczalne w wodach powierzchniowych. Ze względu na fakt, że Jezioro Goczałkowickie jest ważnym elementem systemu zaopatrzenia w wodę Górnego Śląska, a ponadto stanowi naturalne siedlisko ryb i ptactwa wodnego, problem zanieczyszczenia tego akwenu metalami ciężkimi ma ogromne znaczenie w tym regionie.

Do źródeł zanieczyszczeń antropogenicznych tego zbiornika wodnego zalicza się ścieki odprowadzane z terenów nieskanalizowanych, spływy rolnicze i ścieki przemysłowe, a także stawy rybne. Ścieki bytowo-gospodarcze oraz spływy rolnicze przedostają się do zbiornika głównie za pośrednictwem przepompowni odwadniających południowe i zachodnie tereny zlewni jeziora. Zanieczyszczenia pochodzące z hodowli ryb wnoszone są natomiast w głównej mierze przez Wisłę i Bajerkę, zaś ścieki przemysłowe wprowadzane są do zbiornika przede wszystkim z wodami Wisły, która ma również znaczny udział w ładunku zanieczyszczeń pochodzących ze ścieków komunalnych.

W pracy przeprowadzono analizę, który z dopływów Jeziora Goczałkowickiego stanowi źródło poszczególnych metali ciężkich w tym zbiorniku i jakie jest przestrzenne zróżnicowanie zanieczyszczenia metalami w jego zlewni. Jako materiał badawczy do przeprowadzenia tej analizy wybrano osady dennie, ponieważ w ekosystemach wodnych mogą być one traktowane jako swojego rodzaju archiwum zanieczyszczeń [7,8]. Są to pierwsze badania zawartości metali ciężkich w osadach dopływów Jeziora Goczałkowickiego.

### Przedmiot i metodyka badań

Próbki osadów dennych z dopływów Jeziora Goczałkowickiego pobrano dwukrotnie, w październiku 2007 r. oraz marcu 2008 r. Pobór przeprowadzono w odcinku ujściowym Wisły oraz Bajerki, a także tzw. Rowu A oraz z pięciu przepompowni odprowadzających wodę z terenów położonych w depresji (Strumień, Zabłocie, Frelichów, Zarzecze i Podgrobel). W celu oznaczenia zawartości metali w osadach dennych poniżej zbiornika pobrano również

próbki osadów z Wisły poniżej korony zapory. Lokalizację punktów poboru próbek osadów dennych przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Lokalizacja punktów poboru osadów w rejonie Jeziora Goczałkowickiego (1 – przepompownia Strumień, 2 – Rów A, 3 – Wisła, 4 – przepompownia Zabłocie, 5 – przepompownia Frelichów, 6 – przepompownia Zarzecze, 7 – przepompownia Podgrobel, 8 – Bajerka, 9 – Wisła poniżej zapory)

Fig. 1. Location of the sampling sites in the area of Lake Goczałkowickie (1 – Strumien Pumping Station, 2 – Row A, 3 – Vistula River, 4 – Zabłocie Pumping Station, 5 – Frelichow Pumping Station, 6 – Zarzecze Pumping Station, 7 – Podgrobel Pumping Station, 8 – Bajerka River, 9 – Vistula River downstream from the reservoir)

Osady pobrano ręcznie, z warstwy powierzchniowej, do foliowych worków, a następnie przewieziono w temperaturze ok. 4 °C do laboratorium, gdzie próbki rozdzielono na dwie części, z których jedną poddano analizie granulometrycznej, a drugą – suszeniu powietrznemu. Wysuszone osady poddano następnie mineralizacji i oznaczono w nich zawartość cynku, ołowiu, miedzi, kadmu, żelaza i manganu. Dodatkowo w próbkach pobranych w marcu 2008 r. oznaczono zawartość glinu w celu wyznaczenia współczynnika wzbogacenia osadów w metale ciężkie (EF – enrichment factor). Podczas mineralizacji posłużono się metodyką zaczerpniętą z katalogu IOŚ „Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin” [10], zmodyfikowaną w Katedrze Technologii Środowiskowych Instytutu Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska Politechniki Krakowskiej (do mineralizacji zastosowano mieszaninę kwasów azotowego i nadchlorowego).

Oznaczenia zawartości kadmu, miedzi, ołowiu, cynku, żelaza i manganu dokonano za pomocą metody atomowej spektrometrii absorpcyjnej z wykorzystaniem spektrofotometru Unicam 8625. Granice wykrywalności poszczególnych metali (w przeliczeniu na suchą masę osadu) wynosiły: kadm – 0,0005 mgCd/g, miedź – 0,001 mgCu/g, ołów – 0,005 mgPb/g, cynk – 0,005 mgZn/g, żelazo – 0,02 mgFe/g, mangan – 0,001 mgMn/g. Oznaczenie zawartości glinu wykonano na spektrometrze ICP Perkin Elmer typ Optima 2000 DV. Granica wykrywalności tego metalu wynosiła

0,00005 mgAl/g. Oznaczenia wykonane w próbkach kontrolnych (w każdej serii 6 próbek) mieściły się poniżej granicy wykrywalności. Precyzja pomiaru była kontrolowana przez powtórzenie pomiaru w losowo wybranej próbce osadu w każdej serii 6 próbek. Dokładność pomiaru wyznaczono z wykorzystaniem osadów referencyjnych S-Mess3. Stopień odzysku poszczególnych metali z osadów referencyjnych wahał się w granicach 92÷111%.

Analizę granulometryczną osadów (X 2007) wykonano metodą sitową z dodatkiem calgonu – Na(PO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> – jako peptyzatora [9]. W wyniku tej analizy otrzymano informacje o zawartości w osadach frakcji <0,063 mm, 0,063÷0,125 mm, 0,125÷0,25 mm, 0,25÷0,5 mm, 0,5÷1,0 mm, 1÷2 mm i >2 mm.

## Analiza danych

Z uwagi na fakt, że większość serii wyników zawartości poszczególnych metali w obu seriach badawczych nie miała rozkładu normalnego, w celu wyznaczenia korelacji pomiędzy zawartością poszczególnych metali, a także zawartością frakcji <0,063 mm, wykorzystano korelację Spearmana. Do wyznaczenia różnic pomiędzy wynikami obu serii badawczych zastosowano test t-Studenta. W celu spreycyzowania zależności pomiędzy poszczególnymi punktami poboru próbek osadów wykonano analizę skupień (dendrogram) we wszystkich dopływach zbiornika wykorzystując średnie wartości wyników z obu serii pomiarowych. Statystyka opisowa została wykonana za pomocą programu Excel 2000, natomiast korelacja rang Spearmana, test t-Studenta oraz dendrogram zostały wykonane za pomocą programu Statgraphics Centurion XV.

Aby określić wpływ zanieczyszczeń antropogenicznych na zawartość metali ciężkich w osadach dennych wyznaczono wartości współczynnika wzbogacenia osadów (EF) z wykorzystaniem zawartości glinu, jako czynnika normalizującego, według wzoru [11]:

$$EF = (Me/Al)_{pr} / (Me/Al)_{tlo} \quad (1)$$

w którym Me i Al reprezentują zawartość poszczególnych metali i glinu w badanych próbkach osadów oraz lokalnym tle geochemicznym. Przyjęto następujące zawartości metali w osadach jako tło geochemiczne: kadm – 0,001÷0,002 mgCd/g, miedź – 0,01÷0,015 mgCu/g, ołów

– 0,025÷0,075 mgPb/g, cynk – 0,1÷0,3 mgZn/g, żelazo – 10÷15 mgFe/g oraz mangan – 0,5 mgMn/g, w zależności od lokalizacji punktu pomiarowego [12]. Wobec braku danych z rejonu Jeziora Goczałkowickiego o wartości tła w przypadku glinu w osadach, na potrzeby tej pracy przyjęto wartość wynoszącą 17,5 mgAl/g, jako średnią wartość tła geochemicznego w przypadku gleb [13]. Obliczone w ten sposób współczynniki wskazują na pochodzenie metali w osadach. Jeżeli wartości współczynnika  $EF \leq 1,0$  przyjmuje się, że dany metal ma pochodzenie litogeniczne, natomiast wartości  $EF > 1,0$  wskazują na antropogeniczne wzbogacenie osadów dennych w metale ciężkie.

## Wyniki badań

Na podstawie analizy granulometrycznej stwierdzono, że pobrane osady denne w dopływach do Jeziora Goczałkowickiego należą do gruntów drobnoziarnistych. Osady pobrane w przepompowniach „Strumień” i „Rów A” reprezentowały piaski średnie, Wisłę – piaski drobne, a odpływ Wisły ze zbiornika, czyli punkt oznaczony jako „Wisła-zapora” – piaski gliniaste. Wszystkie osady pobrane z pozostałych przepompowni (Zabłocie, Frelichów, Zarzecze i Podgrobel) oraz z rzeki Bajerki reprezentowane były przez pyły piaszczyste. W pobranych próbkach osadów zaobserwowano zmienną zawartość frakcji najdrobniejszej (<0,063 mm) – w osadach pobranych z poszczególnych przepompowni oraz Bajerki wartość ta wahała się w granicach 23,3÷40,7%, natomiast w osadach pobranych z Wisły przed i za zbiornikiem wynosiła średnio 6,1 ± 1,3%.

Analiza zawartości metali ciężkich w poszczególnych próbkach (tab. 1) wykazała, że najmniejszą zmienność wyników we wszystkich próbkach odnotowano w przypadku kadmu. Zawartość tego metalu w osadach (w przeliczeniu na suchą masę) nie przekraczała 0,004 mgCd/g, przy średniej zawartości 0,002 ± 0,001 mgCd/g. W przypadku miedzi i ołowiu zawartość wahała się w granicach 0,005÷0,060 mg/g, przybierając maksymalne wartości w osadach z przepompowni w Strumieniu. W tym samym punkcie poboru odnotowano również (w obu seriach) największe zawartości cynku – 0,4÷0,5 mgZn/g. Największą zawartość żelaza, z przedziału 200÷300 mgFe/g odnotowano natomiast w próbkach pobranych z przepompowni

Tabela 1. Zawartość metali ciężkich (mg/g) w osadach dennych dopływów Jeziora Goczałkowickiego (w nawiasach kwadratowych podano zawartość metalu do kryterium ekotoksykologicznego [LEL/SEL])  
Table 1. Heavy metal concentrations in the bottom sediments from the tributaries of Lake Goczałkowickie (in brackets: sediment quality objectives [LEL/SEL])

Miejsce poboru	Kadm [0,0006/0,0100]		Miedź [0,016/0,110]		Ołów [0,031/0,250]		Cynk [0,120/0,820]		Żelazo [20/40]		Mangan [0,460/1,100]		Glin
	X 2007	III 2008	X 2007	III 2008	X 2007	III 2008	X 2007	III 2008	X 2007	III 2008	X 2007	III 2008	
Strumień	0,002	0,002	0,039	0,060	0,060	0,059	0,426	0,514	44	32	0,600	0,358	24,2
Rów A	0,001	0,001	0,009	0,019	0,029	0,034	0,106	0,206	9	17	0,457	1,386	22,0
Wisła	0,001	0,004	0,014	0,016	0,035	0,016	0,120	0,097	15	13	0,148	0,098	14,0
Zabłocie	–	0,002	–	0,023	–	0,025	–	0,267	–	73	–	0,662	18,9
Frelichów	0,001	0,002	0,010	0,013	0,018	0,005	0,166	0,132	257	298	0,467	0,450	20,5
Zarzecze	0,001	0,001	0,019	0,018	0,058	0,013	0,248	0,208	211	208	0,725	0,418	7,7
Podgrobel	0,001	0,003	0,011	0,016	0,027	0,020	0,192	0,254	62	48	0,279	0,344	12,3
Bajerka	0,001	0,001	0,015	0,053	0,035	0,023	0,091	0,115	12	13	0,134	0,124	16,9
Wisła-zapora	0,001	0,001	0,005	0,026	0,024	0,032	0,040	0,158	5	22	0,091	0,358	20,5

w Frelichowie i Zarzeczcu. W pozostałych punktach pomiarowych zawartość tego metalu wahała się w granicach  $5\div 62$  mgFe/g. Największą zmienność wykazał natomiast mangan, którego zawartość wahała się w szerokim zakresie  $0,091\div 1,386$  mgMn/g, przy średniej wartości  $0,402\pm 0,321$  mgMn/g. W przypadku wszystkich metali, poza manganem, odnotowano wysoką i bardzo wysoką korelację ( $r=0,55\div 0,99$ ) pomiędzy wynikami w poszczególnych punktach w obu seriach badawczych, aczkolwiek korelacje te nie były statystycznie istotne na poziomie  $p=0,05$ . Dodatkowo w drugiej serii wykonano oznaczenia zawartości tych samych metali ciężkich w wydzielonej frakcji  $<0,063$  mm. Badanie to wykazało, że w pobranych próbkach nie występowała korelacja pomiędzy ilością metali a zawartością frakcji ilastej, z wyjątkiem żelaza, w przypadku którego współczynnik korelacji ( $r=0,68$ ) był statystycznie istotny na poziomie  $p=0,05$ .

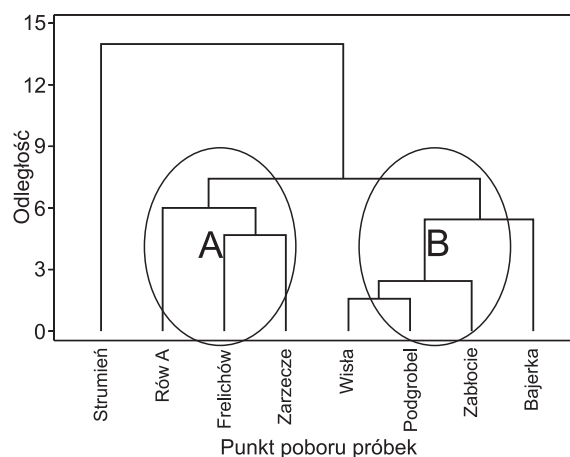
Zawartość glinu w osadach z dopływów Jeziora Goczałkowickiego w marcu 2008 r. wahała się w granicach  $0,15\div 0,48$  mgAl/g, przy czym największe wartości odnotowano w osadach z przepompowni w Strumieniu, a najmniejsze w próbce pobranej z przepompowni w Frelichowie. Obliczone współczynniki wzbogacenia EF wahały się w szerokich granicach  $0,1\div 32,1$  (tab. 2), przyjmując największe wartości w przypadku żelaza w osadach pobranych z przepompowni w Zarzeczcu i Frelichowie. Najmniejsze wartości EF odnotowano natomiast w punktach pomiarowych zlokalizowanych na Wiśle poniżej zapory oraz u ujścia Bajerki. Wartości  $<1,0$ , z wyjątkiem żelaza i miedzi, wskazują na niewielki stopień wzbogacenia osadów dennych w tych punktach w metale ciężkie.

## Dyskusja

Przeprowadzona analiza pozwoliła na czasowe i przestrzenne zróżnicowanie zawartości metali ciężkich w dopływach do Jeziora Goczałkowickiego. Badania przeprowadzone w dwóch seriach, wykonanych w październiku 2007 r. i marcu 2008 r., nie wykazały statystycznie istotnych różnic w zawartości badanych metali w osadach pobranych w punktach pomiarowych zlokalizowanych na dopływach do zbiornika (test t-Studenta na poziomie  $p=0,05$ ). Pozwala to sądzić, że stopień zanieczyszczenia osadów metalami w poszczególnych dopływach jeziora był w tym czasie stały. W punkcie zlokalizowanym poniżej jeziora, w przypadku wszystkich metali poza kadmem, zawartość

metali była większa w marcu 2008 r., co prawdopodobnie było związane ze zwiększaniem odpływu z jeziora przed nadejściem roztopów i fali wezbraniowej.

Przeprowadzona analiza skupień średnich zawartości poszczególnych metali w punktach zlokalizowanych na dopływach jeziora wykazała, że mają one również zróżnicowanie przestrzenne, potwierdzające wpływ lokalnych źródeł zanieczyszczeń na jakość środowiska wodnego w rejonie tego zbiornika. Na dendrogramie (rys. 2) zaznaczono dwie grupy skupień, A i B, o podobnych odległościach (poniżej 6). W grupie A można wyróżnić przepompownie w Zarzeczcu i Frelichowie oraz punkt zlokalizowany u ujścia Rowu A. Charakterystycznym zanieczyszczeniem osadów pobranych w obu przepompowniach było żelazo w ilości przekraczającej 200 mgFe/g. Bardzo wysoka wartość współczynnika  $EF=14\div 32$  w przypadku tego metalu w obu punktach świadczy o intensywnym wzroście jego ilości w tym rejonie. Wydaje się jednak, że zanieczyszczenie to nie pochodzi ze źródeł antropogenicznych, może natomiast pochodzić z wody czerpanej z lokalnych studni, która jest bogata w żelazo z uwagi na budowę geologiczną terenu [14]. Drugim źródłem żelaza są najprawdopodobniej wody i zawiesiny pochodzące z torfowiska, które rozpościera się na wschód od przepompowni Zarzeczcu do ujścia Bajerki. Z tego samego źródła pochodzi również mangan, w przypadku którego współczynnik EF był największy spośród wszystkich punktów i wyniósł 3,3 w pierwszej (X 2007)



Rys. 2. Dendrogram podobieństw zawartości metali w osadach dopływów Jeziora Goczałkowickiego  
Fig. 2. Dendrogram of metal concentration similarities in the bottom sediments of Lake Goczałkowickie

Tabela 2. Współczynnik wzbogacenia (EF) osadów dennych w dopływach Jeziora Goczałkowickiego  
Table 2. Enrichment factors (EF) for the bottom sediments from the tributaries of Lake Goczałkowickie

Miejsce poboru	Kadm		Miedź		Ołów		Cynk		Żelazo		Mangan	
	X 2007	III 2008	X 2007	III 2008	X 2007	III 2008	X 2007	III 2008	X 2007	III 2008	X 2007	III 2008
Strumień	1,5	1,7	2,8	4,3	1,7	1,7	3,1	3,7	2,1	1,6	0,9	0,5
Rów A	0,8	1,0	0,7	1,5	0,9	1,1	0,8	1,6	0,5	0,9	0,7	2,2
Wisła	1,0	4,4	1,7	2,0	1,8	0,8	1,5	1,2	1,2	1,1	0,4	0,2
Zabłocie	–	2,1	–	2,1	–	0,9	–	2,5	–	4,5	–	1,2
Frelichów	0,6	0,6	0,6	0,8	0,4	0,1	0,9	0,8	14,6	17,0	0,8	0,8
Zarzeczcu	1,4	1,1	2,8	2,8	3,5	0,8	3,8	3,2	32,1	31,8	3,3	1,9
Podgrobek	0,8	2,2	1,1	1,5	1,0	0,8	1,8	2,4	8,8	6,9	0,8	1,0
Bajerka	0,6	0,6	1,0	3,7	1,0	0,6	0,6	0,8	1,3	1,3	0,3	0,3
Wisła–zapora	0,3	0,3	0,3	1,5	0,3	0,4	0,1	0,5	0,5	1,9	0,2	0,6



i 1,9 w drugiej (III 2008) serii pomiarowej. Zaliczony do grupy A punkt zlokalizowany u ujścia Rowu A wyróżniał się dużą zawartością manganu, przy pozostałych metalach pozostających na umiarkowanym poziomie. Wydaje się, że źródłem tego metalu w tym rejonie są zrzuty ze stawów rybnych i spływy z okolicznych pól uprawnych.

Do grupy B dendrogramu należą Wisła, Bajerka oraz przepompownie Podgrobel i Zabłocie, w których zawartość poszczególnych metali była mniejsza niż w grupie A. Od obu grup można natomiast wyraźnie wyodrębnić przepompownię w Strumieniu (odległość powyżej 14 – rys. 2), w której stwierdzono największe ilości cynku, miedzi i ołowiu. Przepompownia ta odprowadza wody z lokalnych oczyszczalni ścieków, ferm i stawów hodowlanych, a także spływów z pól uprawnych, które są źródłem zanieczyszczenia tymi metalami [15, 16].

Wielokrotność przekroczeń tła geochemicznego przyjętego w danym rejonie jest podstawą klasyfikacji geochemicznej stosowanej przez Wojewódzkie Inspektoraty Ochrony Środowiska, która wyodrębnia osady niezanieczyszczone (2÷5-krotność tła geochemicznego), osady miernie zanieczyszczone (10÷20-krotność) oraz osady zanieczyszczone (20÷100-krotność). Analizując osady pobrane z dopływów Jeziora Goczałkowickiego pod względem tego kryterium można stwierdzić, że większość osadów można sklasyfikować jako miernie zanieczyszczone, oprócz tych z Wisły poniżej korony zapory, które należą do osadów niezanieczyszczonej. Klasyfikacja ta jednak nie uwzględnia żelaza i manganu, stąd też dokonana ocena pod względem tego kryterium odnosi się jedynie do kadmu, miedzi, ołowiu i cynku.

Aby uwzględnić żelazo i mangan w ocenie jakości analizowanych osadów, a ponadto dokonać ich oceny pod względem toksykologicznym, posłużono się kryterium ekotoksykologicznym, opartym na dwóch wartościach progowych – LEL (lowest effect level) i SEL (severe effect level) [17]. W kryterium tym, przy zachowaniu zawartości metali poniżej poziomu LEL nie obserwuje się ich toksycznego wpływu na większość organizmów bentosowych, natomiast przy przekroczeniu wartości SEL toksyczny wpływ na organizmy jest widoczny, a osad uważany jest za bardzo zanieczyszczony. Porównując uzyskane wyniki (tab. 1) można stwierdzić, że we wszystkich próbkach osadów pobranych z przepompowni żelazo przekroczyło (nawet kilkukrotnie) wartość graniczną SEL, informując tym samym o jego toksycznym wpływie na organizmy. Również mangan osiągnął tę wartość w punkcie zlokalizowanym u ujścia Rowu A. W pozostałych przypadkach ilość badanych metali ciężkich zawierała się najczęściej pomiędzy LEL a SEL. Świadczy to o potencjalnie toksycznym oddziaływaniu tych osadów, mimo że według kryterium geochemicznego osady te należy uważać za miernie zanieczyszczone.

## Wnioski

◆ Osady zalegające dopływy Jeziora Goczałkowickiego są zanieczyszczone metalami ciężkimi, przy czym jest ono zróżnicowanie przestrzenne. Duża zawartość poszczególnych metali w osadach jest głównie związana ze źródłami antropogenicznymi zlokalizowanymi w zlewni zbiornika, takimi jak stawy do hodowli ryb czy też spływy z terenów użytkowanych rolniczo. Wyjątek stanowił żelazo, którego duża ilość w osadach pobranych w południowej części zbiornika jest wynikiem jego wymywania z obszaru torfowisk.

◆ Zawartość metali ciężkich w osadach wskazuje na poważne zagrożenie toksykologiczne organizmów bentosowych. Jednak z uwagi na fakt, że większość osadów jest zatrzymywana w przepompowniach przed zrzutem do Jeziora Goczałkowickiego, nie są one bezpośrednim zagrożeniem tego zbiornika wodnego. Jednakże tylko część ładunku metali ciężkich jest akumulowana w osadach z przepompowni, tak więc stopień zanieczyszczenia osadów w Jeziorze Goczałkowickim powinien zostać poddany ocenie, zwłaszcza w rejonie jego poszczególnych dopływów.

*Autorki dziękują Pani mgr inż. Annie Szostak z Górnośląskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów w Katowicach – Zakład Produkcji Wody w Goczałkowicach-Zdroju – za udzieloną pomoc podczas poboru próbek oraz udostępnienie danych.*

*Temat został zrealizowany w ramach badań własnych (nr Ś-3/BW/624/2007), sfinansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.*

## LITERATURA

1. J. KWAPULIŃSKI, D. WIECHUŁA, M. BAZGIER: The occurrence of selected heavy metals in interstitial water in the Goczałkowice dam reservoir (southern Poland). *Acta Hydrobiologica* 1991, Vol. 33, No. 1/2, pp. 3–16.
2. J. KWAPULIŃSKI, E. SZILMAN, D. WIECHUŁA, A. DERZYŁO: The occurrence of manganese in the Goczałkowice dam reservoir (southern Poland). *Acta Hydrobiologica* 1992, Vol. 34, No. 1/2, pp. 55–63.
3. J. KWAPULIŃSKI, M. BAZGIER-ANTONIAK, D. WIECHUŁA, P. GÓRKA, M. WYDRA, K. LOSKA: Assessment of degradation with nickel of Goczałkowice dam reservoir (southern Poland). *Acta Hydrobiologica* 1993, Vol. 35, No. 1/2, pp. 87–96.
4. A. CZAPLICKA-KOTAS, A. SZOSTAK, Z. ŚLUSARCZYK, E. SZALIŃSKA: Przestrzenne i czasowe zmiany stężeń żelaza w Goczałkowickim zbiorniku wodnym. *Czasopismo Techniczne Politechniki Krakowskiej* 2005, seria Inżynieria Środowiska, 16-Ś, ss. 63–73.
5. A. CZAPLICKA-KOTAS, A. SZOSTAK: Mangan i żelazo w wodach zbiornika Goczałkowice i jego dopływach. *Gospodarka wodna* 2006, nr 12, ss. 466–469.
6. A. CZAPLICKA-KOTAS, E. SZALIŃSKA, A. SZOSTAK, Z. ŚLUSARCZYK: Mangan w wodach zbiornika Goczałkowice i jego dopływach. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 2007, nr 1, ss. 14–17.
7. J. FITCHKO, T.C. HUTCHINSON: A comparative study of metal concentrations in river mouth sediments around the Great Lakes. *Journal of Great Lakes Research* 1975, Vol. 1, No. 1, pp. 46–78.
8. T. LIAGHATI, M. PREDA, M. COX: Heavy metal distribution and controlling factors within coastal plain sediments, Bells Creek catchment, southeast Queensland, Australia. *Environment International* 2003, Vol. 29, pp. 935–948.
9. DEP: Sediment Grain Size – Wet Sieve Method BB-13-1.9. Florida Department of Environmental Protection 2007 (<ftp://ftp.dep.state.fl.us/pub/labs/labs/sops/3985.pdf>).
10. A. OSTROWSKA, S. GAWLIŃSKI, Z. SZCZUBIAŁKA: Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Katalog. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 1991.
11. W. SALOMONS, U. FÖRSTNER: Metals in the Hydrocycle. Springer-Verlag, Berlin 1984.
12. J. LIS, A. PASIECZNA: Atlas geochemiczny Polski, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa 1995.
13. A. KABATA-PENDIAS, H. PENDIAS: Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa 1999.
14. Przedsiębiorstwo Wiertnicze K. Zieliński i Ska, Bochnia. Dane archiwalne, otwory nr 73–75, Protokoły nr 77, 80 i 87.
15. I. DYNOWSKA, M. MACIEJEWSKI: Dorzecze Górnej Wisły. PWN, Warszawa–Kraków 1991.

16. W. WOLAK, R. LEBODA, Z. HUDICKI: Metale ciężkie w środowisku i ich analiza. Wyd. Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Chełm 1995.

17. D. PERSAUD, R. JAAGUMAGI, A. HAYTON: Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario. Ontario Ministry of the Environment, Toronto 1992.

**Szalinska, E., Koperczak, A., Czaplicka-Kotas, A. Heavy Metals in the Bottom Sediments of Lake Goczałkowickie Tributaries. *Ochrona Środowiska* 2010, Vol. 32, No. 1, pp. 21–25.**

**Abstract:** The results of the research performed so far make it clear that the water and bottom sediments of Lake Goczałkowickie are contaminated with heavy metals. Since Lake Goczałkowickie constitutes an important part of the water supply system for Upper Silesia and in addition a natural habitat for fish and aquatic wildlife, their contamination has become a cause for grave concern. The study reported on in this paper had two major objectives: to assign each heavy metal (cadmium, copper, lead, zinc, iron and manganese) detected in Lake Goczałkowickie to particular tributaries as the source of origin, and to determine the spatial distribution of each contaminant within the catchment area of each tributary. Bottom sediments were chosen as the material for analyses, because in aquatic

ecosystems they can be regarded as "archives of pollutants". The study has produced the following findings. The bottom sediments occurring in the tributaries of Lake Goczałkowickie are contaminated with heavy metals differing in patterns of spatial distribution. The high heavy-metal concentrations in the bottom sediments are attributable predominantly to the anthropogenic sources located in the catchment area of Lake Goczałkowickie (fish farming and runoffs from agricultural operations). This finding does not hold for iron, as the high concentration of this heavy metal is associated with leachates from peat lands. The high concentrations of heavy metals in the bottom sediments pose serious toxicological hazards to the bottom fauna. Owing to the fact that the majority of the sediments are retained by the pump stations, Lake Goczałkowickie is not directly endangered.

**Keywords:** Bottom sediments, heavy metals, Lake Goczałkowickie.