

PIERWIASTKI ŚLADOWE W OSADACH RZEKI BRDY W BYDGOSZCZY

TRACE ELEMENTS IN SEDIMENTS OF THE BRDA RIVER IN BYDGOSZCZ

IZABELA BOJAKOWSKA¹, STANISŁAW WOLKOWICZ¹, PRZEMYSŁAW DOBEK¹

Abstrakt. Na terenie Bydgoszczy z rzeki Brdy pobrano próbki osadów z 22 stożków nasypowych, powstałych przy wylotach kanałów ściekowych, którymi odprowadzano ścieki do rzeki. Z każdego stożka pobrano jedną uśrednioną próbkę, którą uzyskano przez połączenie od 4 do 9 pełnej miąższości rdzeni pobranych w różnych miejscach stożka. W próbkach oznaczono zawartość As, Ba, Cr, Pb, Co, Cu, Ni, Sn i Zn metodą ICP-OES oraz Hg metodą AAS z zateżaniem na amalgamatorze. Maksymalne zawartości pierwiastków wynosiły: Ba – 233 mg/kg, Cd – 6,9 mg/kg, Cr – 255 mg/kg, Cu – 231 mg/kg, Hg – 2,72 mg/kg, Ni – 36 mg/kg, Pb – 301 mg/kg, Sn – 19 mg/kg i Zn – 507 mg/kg. Przekroczenie dopuszczalnych zawartości Hg, Pb, Cr, Cu według Rozporządzenia MŚ o osadach bagrowniczych (Rozporządzenie, 2002a) stwierdzono w 11 stożkach nasypowych. Oszacowano, że w stożkach nasypowych utworzonych przy wylotach kanałów ściekowych nagromadziło się około 8,6 tys. m³ osadów dennych, z których około 4,5 tys. m³ stanowiły osady niezanieczyszczone, które mogły być relokowane w obrębie akwenu wodnego, a około 4,1 tys. m³ stanowiły osady zanieczyszczone.

Słowa kluczowe: pierwiastki śladowe, zanieczyszczenie, Brda.

Abstract. In the city of Bydgoszcz, sediment samples were taken from 22 embankment cones in the Brda River, formed near the outlets of sewers through which waste water was discharged into the river. One averaged sample, which was obtained by combining 4 to 9 full-thickness cores taken at different locations of the cone, was collected from each cone. The samples were analysed for As, Ba, Cr, Pb, Co, Cu, Ni, Sn and Zn contents by the ICP-OES method, and for Hg content using the AAS method with pre-concentration on a gold amalgamate trap. The maximum levels of individual elements were as follows: Hg – 2.72 mg/kg, Cd – 6.9 mg/kg, Cr – 255 mg/kg, Sn – 19 mg/kg, Zn – 592 mg/kg, Cu – 231 mg/kg, Ni – 74 mg/kg, Pb – 301 mg/kg, and Ba – 233 mg/kg. The concentrations exceeding permissible limits of Hg, Pb, Cr, Cu, according to the Decree of the Minister of the Environment (Rozporządzenie, 2002) for dragged sediments, were found in 11 embankment cones. It was estimated that the embankment cones set up at the mouths of the sewers have accumulated about 8.6 thousand m³ of sediments, of which about 4.5 thousand m³ of sediments were uncontaminated and could be relocated within the body of water, and about 4.1 thousand m³ of sediments were contaminated.

Key words: trace elements, pollution, Brda River.

WSTĘP

W osadach powstających na dnie rzek i jezior w wyniku sedymentacji materiału pochodzącego z niszczenia ich dna i brzegów oraz osadzania się zawieszin docierających do wód ze spływem powierzchniowym i podpowierzchniowym, z wodami dopływów, a także z odprowadzanymi do nich ściekami, zatrzymywana jest znaczna część potencjalnie szkodliwych pierwiastków i związków organicznych. Na ogół obserwowane we współczesnych osadach wodnych wysokie stężenia pierwiastków śladowych są najczęściej następstwem odprowadzania ścieków przemysłowych i prac wykonywanych w stoczniach (Bister i in., 1999; Marques i in., 2001).

Do zanieczyszczenia osadów przyczynia się także transport wodny i prace przeładunkowe w portach, jak również spływ powierzchniowy z terenów zurbanizowanych, rolniczych oraz szlaków komunikacyjnych (Birch i in., 2001; Lindström, 2001; Mecray i in., 2001; Reiss i in., 2004; Mangani i in., 2005). W zanieczyszczonych osadach wodnych odnotowywane są najczęściej podwyższone stężenia metali mających obecnie lub w niedalekiej przeszłości szerokie zastosowanie w gospodarce, takie jak srebro, arsen, chrom, miedź, rtęć, nikiel, ołów i cynk (Sparks, 2005). Zanieczyszczenie współczesnych osadów wodnych stanowi ważny problem, ponieważ

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa;
e-mail: izabela.bojakowska@pgi.gov.pl, stanislaw.wolkowicz@pgi.gov.pl, przemyslaw.dobek@pgi.gov.pl

mogą one szkodliwie oddziaływać na zasoby biologiczne wód i często pośrednio na zdrowie człowieka. Ponadto są one wtórnym ogniskiem zanieczyszczenia wód w następstwie ich ponownego uruchomienia z osadów na skutek procesów chemicznych i biochemicznych przebiegających w osadach, jak również w efekcie ich mechanicznego poruszenia, a na skutek powodzi mogą powodować zanieczyszczenie gleb tarasów zalewowych (Bourg, Loch, 1995; Middelkoop, 2000; Bordas, Bourg, 2001; Hobbelen i in., 2004; Hürkamp i in., 2009; Vink, 2009; Bojakowska i in., 2011). Istotny problem stwarza także zagospodarowanie w środowisku zanieczyszczonych osadów wodnych wydobywanych ze zbiorników zaporowych, rzek, kanałów i portów podczas prac związanych z utrzymaniem ich żeglowności.

Brda, lewy dopływ Wisły o długości 238 km i powierzchni dorzecza 4627 km², wypływa na wysokości ok. 181 m n.p.m. z Jeziora Smołowego na Pojezierzu Bytowskim na północny wschód od Miastka. Dorzecze składa się z 43 małych dopływów, największy z nich to Kamionka (55 km). Średni przepływ w środkowym biegu rzeki w Tucholi wynosi 19,9 m³/s, w dolnym biegu w Smukałach – 27,4 m³/s. Brda płynie przez Równinę Charzykowską, Bory Tucholskie i Dolinę Brdy do Kotliny Toruńskiej. Na odcinku 28 km

przepływa przez miasto Bydgoszcz, gdzie łączy się z Kanałem Bydgoskim i uchodzi do Wisły. Bydgoszcz jest jednym z większych miast w Polsce, ósmym pod względem liczby mieszkańców (358 tys.) i dziesiątym pod względem powierzchni (174,57 km²). Bydgoszcz jest wielobranżowym ośrodkiem przemysłowym. Działają tu zakłady przemysłu gumowego, chemicznego, metalowego, elektromechanicznego, elektrotechnicznego, spożywczego, poligraficznego. Powyżej, i w obrębie Bydgoszczy, rzeka jest zabudowana kaskadą elektrowni Koronowo–Tryszczyń–Smukała. Na terenie miasta zlokalizowano na rzece stopnie piętrzące: Jaz Farny, Jaz Ulgowy, Międzywodzie, Śluza Miejska, Jaz Walcowy, Śluza Czersko Polskie. W rejonie Starego Miasta w Bydgoszczy, Brda oraz jej odnoga Młynówka opływają Wyspę Młyńską, która jest jedną z atrakcji turystycznych Bydgoszczy. Przez dziesięciolecia ścieki powstające na terenie zakładów przemysłowych zlokalizowanych na obszarze Bydgoszczy, jak również ścieki komunalne i spływy wód opadowych były odprowadzane do rzeki Brdy kilkudziesięcioma kanałami, przy których w korycie rzeki utworzyły się stożki nasypowe z zawieszin zawartych w ściekach.

W artykule wykorzystano wyniki badań, które zostały zrealizowane na zlecenie Hydroprojektu Spółki z o.o.

METODY I ZAKRES BADAŃ OSADÓW

Próbki osadów z rzeki Brdy pobrano ze stożków utworzonych przy kanałach wylotowych: W1, W2, W3, W5, W8, W9, W10, W13, W14, W16, W17, W20, W21, W22, W25, W26, W33, W35, W37, W38, W42, W44 i W49 (fig. 1).

Z każdego stożka pobrano jedną uśrednioną próbkę, którą uzyskano przez połączenie od 4 do 9 podpróbek pobranych w różnych miejscach stożka.

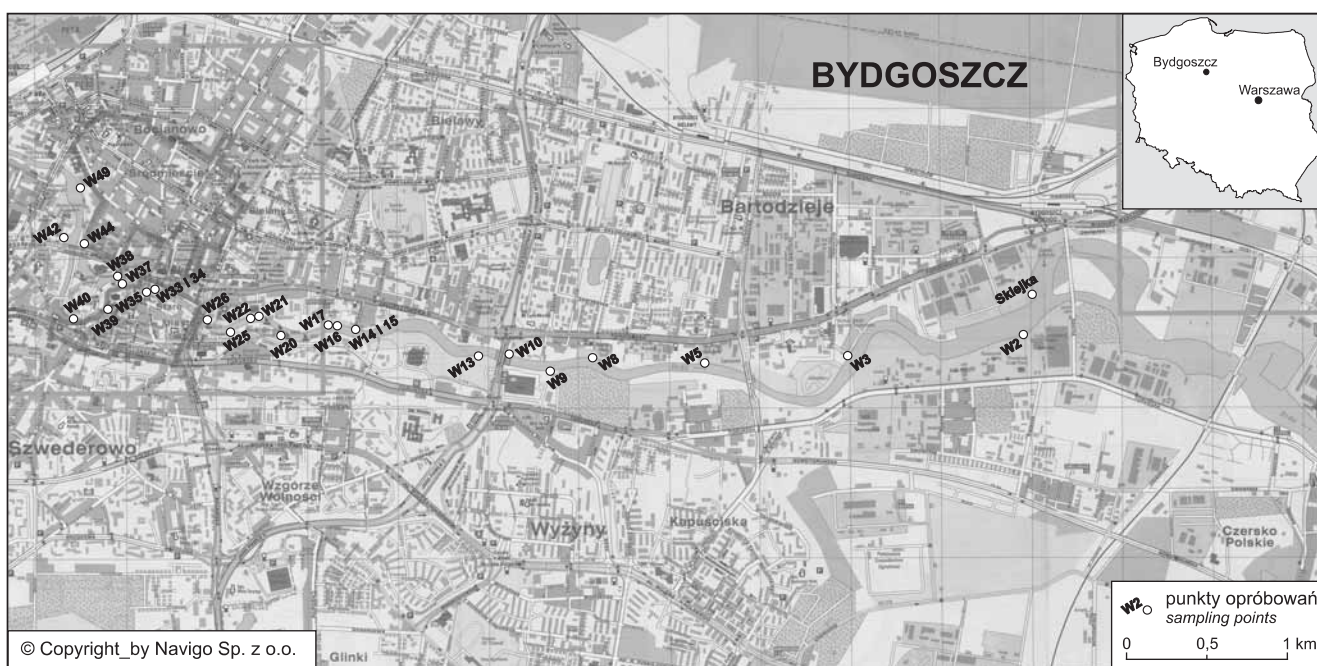


Fig. 1. Lokalizacja punktów opróbowania

Location of sampling points

Oznaczenia zawartości pierwiastków śladowych: As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sn i Zn wykonano dla frakcji ziarnowej osadów <1 mm metodą atomowej spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem plazmowym (ICP-AES), z rozтворów uzyskanych po rozтворzeniu próbek osadów kwasem solnym 1+4 (zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska

z dnia 16 kwietnia 2002 r. w sprawie rodzajów oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony). Oznaczenia zawartości Hg były wykonane z próbki stałej metodą spektrometrii absorpcyjnej przy zastosowaniu załączenia na amalgamatorze (AAS).

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Arsen w osadach nagromadzonych w stożkach przy wylotach kanałów zrzutowych stwierdzono w zakresie zawartości od <5 do 8 mg/kg. W większości zbadanych próbek (86,45%) zawartość arsenu była poniżej limitu detekcji. Bar obecny był w przedziale zawartości 34–233 mg/kg, a średnia, średnia geometryczna i mediana baru były wyższe od wartości tła geochemicznego, wynoszącego 52 mg/kg (tab. 1). Zawartość baru wyższą od 200 mg/kg stwierdzono w osadach stożków nasypowych przy wylocie kanałów W1 i W2 (fig. 2). Chrom występował w stężeniu od 4 do 255 mg/kg, średnia, średnia geometryczna i mediana zawartości chromu w zbadanych osadach wynoszące odpowiednio 29, 16 i 13 mg/kg były kilka razy wyższe od wartości tła geochemicznego tego pierwiastka. Najwyższą zawartość chromu stwierdzono w osadach nagromadzonych przy wylocie kanału W2. Cyna obecna była w przedziale <5–19 mg/kg. Podwyższonymi zawartościami cyny charakteryzowały się osady stoż-

ków utworzonych przy wylotach kanałów W42 i W44. Cynk stwierdzono w stosunkowo szerokim zakresie zawartości od 48 do 507 mg/kg, średnia, średnia geometryczna i mediana wynosiły odpowiednio 244, 206 i 205 mg/kg i były trzykrotnie wyższe od wartości tła geochemicznego tego pierwiastka (72 mg/kg). Najwyższe stężenia cynku, przekraczające 400 mg/kg, obecne były w osadach znajdujących się przy wylotach kanałów W1 i W2. Kadm odnotowano w zakresie <0,5–6,9 mg/kg, średnia, średnia geometryczna i mediana wynoszą odpowiednio 1,3, 0,8 i 0,7 mg/kg. Najwyższą zawartością kadmu cechowały się osady stożka nasypowego zlokalizowanego przy wylocie kanału W2. Kobalt występował w osadach w niskich zawartościach, od 1 do 10 mg/kg, jego średnia, średnia geometryczna i mediana wynosiły 2 mg/kg i były zbliżone do wartości tła geochemicznego (3 mg/kg). Miedź obecna była w zakresie zawartości 9–231 mg/kg, jej średnia, średnia geometryczna i mediana

Tabela 1

Wartości parametrów statystycznych wybranych pierwiastków w próbkach osadów pobranych z rzeki Brdy

Statistical parameters of selected elements in sediment samples taken from the Brda River

Pierwiastek	Tło geochemiczne	Zakres zawartości	Średnia	Średnia geometryczna	Mediana
	[mg/kg]				
Arsen	<5 ¹⁾	<5–8	<5	<5	<5
Bar	52 ¹⁾	34–233	84	74	69
Chrom	6 ¹⁾	4–255	29	16	13
Cyna	2,1 ²⁾	<5–19	6	5	<5
Cynk	72 ¹⁾	48–507	244	206	205
Kadm	<0,5 ¹⁾	<0,5–6,9	1,3	0,8	0,7
Kobalt	3 ¹⁾	1–10	2	2	2
Miedź	7 ¹⁾	9–231	66	51	46
Molibden	0,6 ²⁾	<1–7	<1	<1	<1
Nikiel	6 ¹⁾	3–36	12	10	10
Ołów	15 ¹⁾	14–301	79	55	48
Rtęć	<0,05 ¹⁾	0,049–2,720	0,820	0,541	0,726

¹⁾ Lis, Pasieczna, 1995; ²⁾ de Vos, Tarvainen, red., 2006

w osadach były bardzo wysokie w porównaniu do tła geochemicznego (7 mg/kg) i wynosiły odpowiednio 66, 51 i 46 mg/kg. Bardzo wysoką zawartością miedzi przekraczającą 200 mg/kg charakteryzowały się osady nagromadzone przy wylocie kanału W1.

Molibden w zbadanych osadach stwierdzono w wąskim zakresie zawartości od <1 do 7 mg/kg i tylko w osadach dwóch stożków występował w stężeniu powyżej limitu detekcji zastosowanej metody analitycznej. Nikiel obecny był w ilości od 3 do 36 mg/kg, jego średnia, średnia geometryczna i mediana wynosiły odpowiednio 12, 10 i 10 mg/kg. Podwyższone zawartości niklu obecne były podobnie jak w przypadku innych pierwiastków, w osadach nagromadzonych przy wylocie kanałów W1 i W2. Ołów stwierdzono w przedziale zawartości 14–301 mg/kg, jego średnia, średnia geometryczna i mediana wynoszące odpowiednio 79, 55 i 48 mg/kg były kilka razy wyższe od wartości tła geochemicznego. Zawartości ołowiu przekraczające 200 mg/kg stwierdzono w osadach przy wylocie kanałów W1 i W20. Rtęć w osadach była oznaczona w zakresie od 0,049 do 2,720 mg/kg, średnia, średnia geometryczna i mediana wynosiły odpowiednio 0,820, 0,541 i 0,726 mg/kg i były one o rząd wielkości wyż-

sze niż wartość tła geochemicznego. Najwyższą zawartością tego pierwiastka charakteryzowały się osady pobrane przy wylocie kanału W10 (fig. 2).

Obszar zlewni Brdy i teren Bydgoszczy pokryte są osadami czwartorzędowymi. Są to: plejstoceńskie ropy, gliny zwałowe, mułki, piaski i żwiry oraz holocenijskie aluwialne piaski i mułki oraz torfy i piaski wydymowe, charakteryzujące się niskimi zawartościami potencjalnie szkodliwych metali i metaloidów. Z tego względu ich naturalna zawartość w osadach Brdy, pochodzących z erozji utworów czwartorzędowych i gleb występujących na obszarze zlewni powinna być bardzo niska i nie przekraczać 0,05 mg/kg rtęci, 0,5 mg/kg kadmu, kilku mg/kg kobaltu, chromu, miedzi, niklu oraz kilkudziesięciu mg/kg cynku (Lis, Pasieczna 1995; Pasieczna, 2003).

Wykonane badania wykazały, że średnie zawartości rtęci, miedzi, chromu, ołowiu, cynku w osadach nagromadzonych przy wylotach kanałów ściekowych były znacznie wyższe. I tak średnia zawartość rtęci jest ponad 10-krotnie wyższa od wartości tła geochemicznego, miedzi 10-krotnie, ołowiu 5-krotnie, a chromu i cynku trzykrotnie. Osady charakteryzujące się bardzo wysokimi zawartościami tych pier-

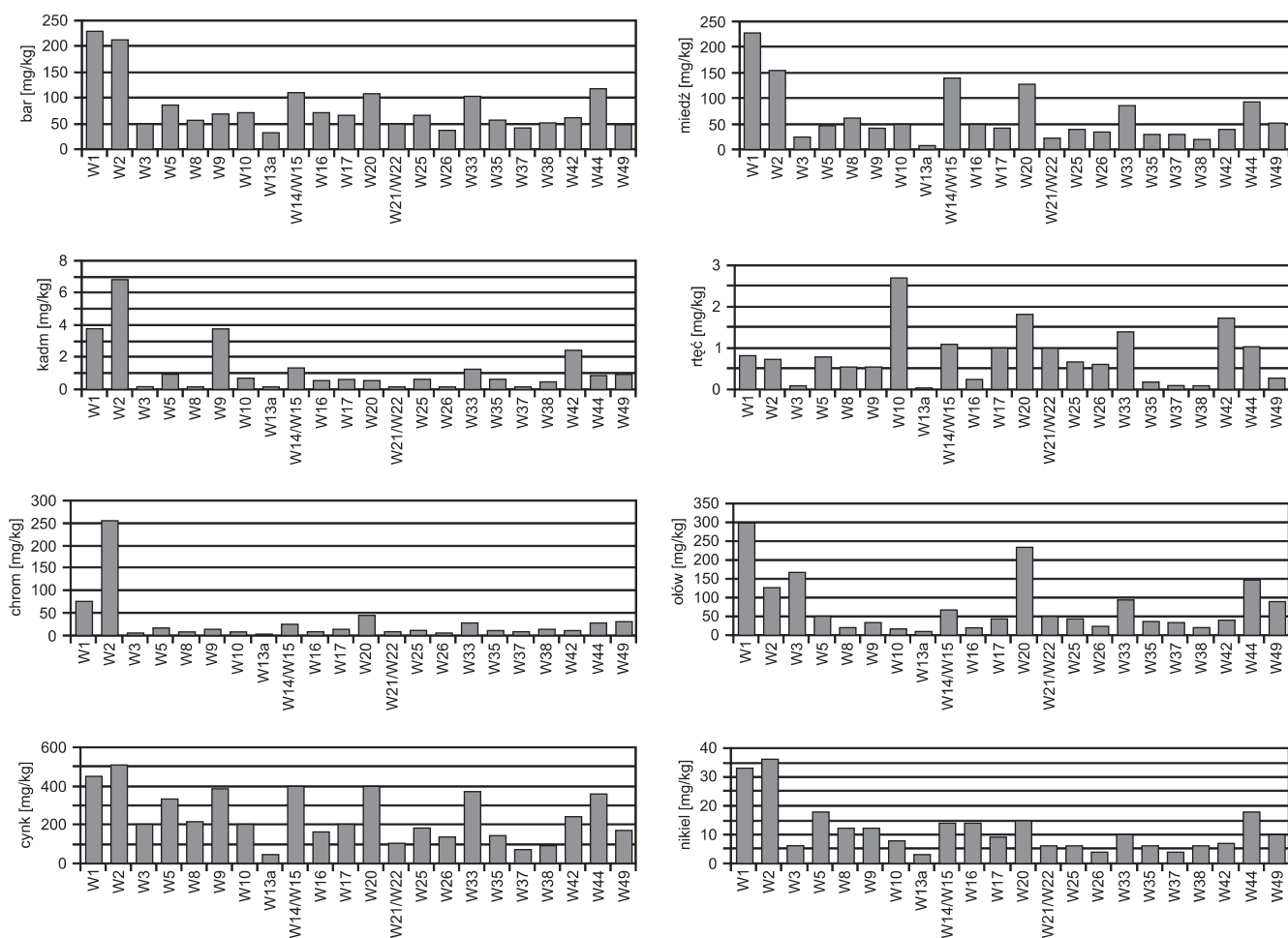


Fig. 2. Zmienność zawartości wybranych pierwiastków w osadach stożków nasypowych

Variability of selected elements contents in cone sediments

wiastków występowały w stożkach nasypowych utworzonych przy wylotach kanałów W1 (miedź, ołów, cynk), W2 (chrom, miedź), W10 (rtęć) i W20 (rtęć, ołów).

Stwierdzono przekroczenie dopuszczalnej zawartości rtęci wg Rozporządzenia MŚ (>1 mg/kg) w osadach 8 stożków, w przypadku chromu (>200 mg/kg) przekroczenie odnotowano w osadach jednego stożka, dla ołowiu (>200 mg/kg) – w osadach dwóch stożków, w przypadku miedzi (>150 mg/kg) w osadach dwóch stożków. Zawartości wyższe od wartości PEL (*probable effect level*), powyżej których często obserwuje się szkodliwe oddziaływanie osadów na organizmy wodne, w przypadku rtęci (>0,487 mg/kg) odnotowano w osadach 15 stożków, w przypadku kadmu (>3,5 mg/kg) w osadach trzech stożków, chromu (>90 mg/kg) w osadach jednego stożka, cynku (>315 mg/kg) w osadach 7 stożków, w przypadku ołowiu (>91 mg/kg) w 7 stożkach, a miedzi w osadach jednego stożka. Przy uwzględnieniu wartości PEC (*probable effect concentration*) zawartości pierwiastków śladowych, przy których obserwuje się negatywne oddziaływanie na organizmy wodne stwierdzono w przypadku kadmu (4,98 mg/kg) w jednej próbce, dla rtęci (1,06 mg/kg) odnotowano w siedmiu próbkach, dla chromu (111 mg/kg) – w jednej, dla miedzi (149 mg/kg) – w dwóch próbkach, ołowiu (128 mg/kg) – w czterech próbkach, a dla cynku (459 mg/kg) w dwóch próbkach.

Obliczono, że szacunkowa ilość zbadanych osadów zgromadzonych w stożkach nasypowych znajdujących się przy wylotach kanałów wynosi około 8595 m³. Osady znajdujące się w stożkach zdeponowanych przy wylotach kanałów W 3, 5, 8, 9, 13, 16, 25, 26, 35, 37, 38 i 49 spełniają kryteria Rozporządzenia MŚ, pod względem zawartości pierwiastków śladowych, i nie wymagają żadnych prac rekultywacyjnych i mogą być relokowane w rzece. Objętość tych osadów wynosi około 4510 m³. Osady znajdujące się w stożkach oznaczonych jako W1, W2, W10, W14/15, W17, W20, W21/22, W33, W42 i W44 są zanieczyszczone w rozumieniu Rozporządzenia (2002a) w sprawie rodzajów i stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony. Osady te po wydobyciu (4085 m³) powinny być zagospodarowane na powierzchni gruntu. Stopień zanieczyszczenia tych osadów jest stosunkowo nieznaczny, nie przekracza wartości do-

Tabela 2

Przekroczenia szkodliwych składników chemicznych w próbkach osadów pobranych z rzeki Brdy

Breaches of allowable concentrations of harmful chemical components in sediment samples taken from the Brda River

Lokalizacja	Rozporządzenie MŚ z dnia 16 kwietnia 2002 r.	Wartość PEC	Wartość PEL
W1	Cu, Pb	Cu	Cd, Cu, Hg, Pb, Zn
W2	Cr, Cu	Cd, Cr, Cu, Zn	Cd, Cr, Hg, Pb, Zn
W3	–	Pb	Pb
W5	–	Hg, Zn	Hg, Zn
W8	–	–	Hg
W9	–	–	Cd, Hg, Zn
W10	Hg	Hg	Hg
W13	–	–	–
W14/W15	Hg	Hg	Hg, Pb, Zn
W16	–	–	–
W17	Hg	–	Hg
W20	Hg, Pb	Hg, Pb	Hg, Pb, Zn
W21/W21	Hg	–	Hg
W25	–	–	Hg
W26	–	–	Hg
W33	Hg	Hg	Hg
W35	–	–	–
W37	–	–	–
W38	–	–	–
W42	Hg	Hg	Hg
W44	Hg	Hg, Pb	Hg, Pb, Zn
W49	–	Pb	Pb

puszczalnych wg Rozporządzenia MŚ w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi, dla obszarów grupy C (tereny przemysłowe i ciągi komunikacyjne) (2002b). Osady te po wydobyciu mogą być wykorzystane, np. do prac makronielazacyjnych.

WNIOSKI

1. W zbadanych osadach średnie zawartości większości analizowanych pierwiastków śladowych były znacznie wyższe od przeciętnych ich zawartości w osadach rzek Polski.

2. Osady o bardzo wysokich zawartościach pierwiastków śladowych nagromadzone zostały przy wylotach kanałów W1, W2, W10 i W20.

3. Przekroczenie dopuszczalnej wg Rozporządzenia MŚ (2002a) zawartości pierwiastków śladowych w osadach bagrowniczych stwierdzono w osadach nagromadzonych w stożkach nasypowych przy wylocie kanałów W1, W2, W10, W14/15, W17, W20, W21/22, W33, W42 i W44.

4. Obliczono, że szacunkowa ilość zbadanych osadów zgromadzonych w stożkach nasypowych znajdujących się przy wylotach kanałów wynosi około 8595 m³.

5. Objętość osadów spełniających kryteria Rozporządzenia MŚ (2002a), pod względem zawartości pierwiastków śladowych i niewymagających żadnych prac rekultywacyjnych wynosiła około 4510 m³, a objętość osadów zanieczyszczonych w rozumieniu Rozporządzenia MŚ (2002a) oszacowano na 4085 m³.

LITERATURA

- BIESTER H., GOSAR M., MÜLLER G., 1999 — Mercury speciation in tailings of the Idrija mercury mine. *J. Geochem. Explor.*, **65**: 195–204.
- BIRCH G., SIAKA M., OWENS C., 2001 — The source of anthropogenic heavy metals in fluvial sediments of a rural catchment: Coxes River, Australia. *Water, Air, Soil Pollut.*, **126**, 1–2: 13–35.
- BOJAKOWSKA I., KOZŁOWSKA O., KUCHARZYK J., LECH D., 2011 — Trace elements in sediments and floodplain soils of the Wieprz river, Poland. Abstracts 7th International SedNet event Sediments and Biodiversity: bridging the gap between science and policy, 6–9 April 2011 Venice, Italy: 96.
- BORDAS F., BOURG A., 2001 — Effect of solid/liquid ratio on the remobilization of Cu, Pb, Cd and Zn from polluted river sediment. *Water, Air, Soil Pollut.*, **128**: 391–400.
- BOURG A., LOCH J., 1995 — Mobilization of heavy metals as affected by pH and redox conditions. *W: Biogeodynamics of pollutants in soils and sediments*: 87–102. Springer Verlag.
- DE VOS W., TARVAINEN T. (red.), 2006 — Geochemical atlas of Europe. Part 2. Interpretation of geochemical maps, additional tables, figures, maps, and related publications. Geological Survey of Finland, Espoo.
- HOBBELEN P.H., KOOLHAAS J.E., VAN GESTEL C.A., 2004 — Risk assessment of heavy metal pollution for detritivores in floodplain soils in the Biesbosch. The Netherlands, taking bioavailability into account. *Environ. Pollut.*, **129**, 3: 409–419.
- HÜRKAMP K., RAAB T., VÖLKELE J., 2009 — Lead pollution of floodplain soils in a historic mining area – age, distribution and binding forms. *Water, Air, Soil Pollut.*, **201**, 1/4: 331–345.
- LINDSTRÖM M., 2001 — Urban land use influences on heavy metal fluxes and surface sediment concentrations of small lakes. *Water, Air, Soil Pollut.*, **126**, 3/4: 363–383.
- LIS J., PASIECZNA A., 1995 — Atlas geochemiczny Polski w skali 1:2 500 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MACDONALD D., INGERSOLL C., BERGER T., 2000 — Development and evaluation of consensus-based sediment development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **39**: 20–31.
- MANGANI G., BERLONI A., BELLUCI F., TATANO F., MAIONE M., 2005 — Evaluation of the pollutant content in road runoff first flush waters. *Water, Air, Soil Pollut.*, **160**: 213–228.
- MARQUES M., MARTINEZ-CODE E., ROVIRA J., ORDONEZ S., 2001 — Heavy metals pollution of aquatic ecosystems in the vicinity of a recently closed underground lead-zinc mine (Basque Country, Spain). *Environ. Geol.*, **40**: 1125–1137.
- MECRAY E.L., KING J.W., APPLEBY P.G., HUNT A.S., 2001 — Historical trace metal accumulation in the sediments of an urbanized region of the Lake Champlain Watershed, Burlington, Vermont. *Water, Air, Soil Pollut.*, **125**, 1/4: 201–230.
- MIDDELKOOP H., 2000 — Heavy metal pollution of the river Rhine and Meuse floodplains in the Netherlands. *Geologie en Mijnbouw, Netherlands J. Geosci.*, **79**, 4: 411–428.
- PASIECZNA A., 2003 — Atlas zanieczyszczenia gleb miejskich w Polsce. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- REISS D., RIHM B., THÖNI C., FALLER M., 2004 — Mapping stock at risk and release of zinc and copper in Switzerland – dose response functions for runoff rates derived from corrosion rate data. *Water, Air, Soil Pollut.*, **159**: 101–113.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi, dla obszarów grupy C (tereny przemysłowe i ciągi komunikacyjne) – Dz.U. nr 165, poz. 1359, 2002a.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 16 kwietnia 2002 r. w sprawie rodzajów oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony – Dz.U. nr 55, poz. 498, 2002b.
- SPARKS D., 2005 — Toxic metals in the environment: the role of surfaces. *Elements*, **1**, 4: 193.
- VINK J., 2009 — The origin of speciation: Trace metal kinetics over natural water/sediment interfaces and the consequences for bioaccumulation. *Environ. Pollut.*, **157**: 519–527.

SUMMARY

The Brda River is a tributary of the Vistula River with a length of 238 km and the catchment area of 4627 km². In its downstream section, it flows through the city of Bydgoszcz over a distance of 28 km. This is the eighth largest city of Poland in terms of population (358 thousand) and tenth in terms of area (174.57 km²). Bydgoszcz is an important economic centre (factories of rubber, chemical, metallurgical, electrical, electromechanical and food industries). For decades, the waste water from industrial plants located in Bydgoszcz, as well as municipal sewage, were discharged into the Brda River. Sewage was discharged into the river through tens of channels, at which embankment cones formed. One averaged sample, which was obtained by combining 4 to 9 full-thickness cores taken at different locations of the cone, was collected from each cone (Fig. 1). The samples were analy-

zed for As, Ba, Cr, Pb, Co, Cu, Ni, Sn and Zn contents by the ICP-OES method, from the solutions obtained after digestion of the samples with hydrochloric acid 1+4 according to the Regulation of the Minister of the Environment on types and concentrations of substances that cause that the output (dredged materials) is contaminated (Rozporządzenie, 2002). Hg content was determined for a solid sample using the AAS method with pre-concentration on an amalgamate trap. Organic carbon concentration (TOC) was measured by coulometric titration.

The maximum mercury content was found to be 2.720 mg/kg, cadmium – 6.9 mg/kg, chromium – 255 mg/kg, tin – 19 mg/kg, zinc – 507 mg/kg, copper – 231 mg/kg, nickel – 36 mg/kg, lead – 301 mg/kg, and barium – 233 mg/kg (Tab. 1, Fig. 2). The contents of arsenic and cobalt does not

exceed a few mg/kg. The concentrations exceeding the permissible limits of Hg, Pb, Cr, Cu, in accordance with the regulations of the Ministry of the Environment for dredging sediments, were found in 11 embankment cones (Tab. 2). Hg limits were exceeded in eight cones, chromium and lead limits – in two cones, and copper limits – in a single cone. PEL limits were exceeded for mercury in 15 cones, for cadmium – in two cones, for lead – in seven cones, for zinc – in eight cones and for copper – in one cone. It was estimated that the cones formed at the bottom of the river, at the outlets

of the sewers into the Brda, accumulated about 8600 m³ of sediments. Of this amount, about 4500 m³ (54%) are uncontaminated sediments that could be relocated within the body of water. Approximately 4100 m³ of sediments were contaminated in terms of criteria from the regulations of ME for dredged sediment. However, 2400 m³ of the sediment meets the criteria for C group area in terms of the ME regulations on the quality standards for soil, and they can be used for the construction of quays and levelling work in industrial areas and roads.