

Wpływ górnictwa i hutnictwa rud metali na zanieczyszczenie pierwiastkami śladowymi aluwii Odry

Izabela Bojakowska*, Gertruda Sokołowska*

Eksploracja i przeróbka rud cynkowo-ołowiowych i rud miedzi prowadzona na obszarze zlewni Odry powoduje uruchamianie do środowiska dużych ilości pierwiastków śladowych, z których znaczna część zatrzymywana jest w osadach wodnych. Próbkę osadów pobrano wzdłuż biegu Odry, a z jej dopływów, w pobliżu ich ujść. W próbkach oznaczono zawartość: Ag, As, Cd, Cu, Co, Ni, Pb i Zn. Odprowadzanie ścieków z górnictwa i hutnictwa miedzi wywiera wyraźny wpływ na występowanie miedzi, arsenu, ołowiu, cynku i srebra w aluwii Odry, na odcinku od ujścia Kaczawy do ujścia Warty. Przetwórstwo rud cynkowo-ołowiowych wywiera znacznie mniejszy wpływ na stężenie pierwiastków śladowych w osadach Odry; jest on widoczny poniżej ujścia dopływów drenujących Górny Śląsk - Małej Panwi, Kłodnicy i Rudy. Osady deponowane w dolnym biegu Odry, poniżej ujścia Warty, charakteryzują się znacznie niższymi zawartościami badanych pierwiastków, w porównaniu do osadów górnej i środkowej Odry.

Słowa kluczowe: osady rzeczne, zanieczyszczenie aluwii, metale ciężkie, pierwiastki śladowe, antropopresja, górnictwo rudne, przemysł hutniczy, Odra

Izabela Bojakowska & Gertruda Sokołowska — **Influence of ore mining and metallurgy for pollution of the Odra River alluvial deposits with trace elements.** Prz. Geol., 46: 603–608.

Summary. Extraction and processing of zinc-lead and copper ores in the Odra catchment area are a cause of release of a large amount of trace elements to the environment. A considerable part of these elements is subject to accumulation in the river bottom deposits. Samples of alluvial sediments were collected along the Odra River course and from the Odra tributaries in points located near their confluences to the Odra River. Concentrations of such elements as Ag, As, Cd, Cu, Co, Ni, Pb and Zn were determined. Waste water discharged by copper ore mines, processing and metallurgy plants has the influence on the concentrations of Cu, As, Pb, Zn and Ag in the sediments deposited in the Odra River, especially between the Kaczawa and the Warta rivers mouths. Zn-Pb ores mining and processing does not effect the trace elements concentrations in the Odra River sediments much, except the Odra River alluvial sediments below confluences such of tributaries as the Mała Panew, the Kłodnica and the Ruda rivers. Sediments deposited in the lower Odra course (downstream from the confluence of the Warta River) contain considerably lower concentrations of trace elements compared to those in the sediments of the Upper and the Middle Odra River course.

Key words: alluvium, pollution, impact statements, heavy metals, rare metals, human activity, industrial waste, Odra River

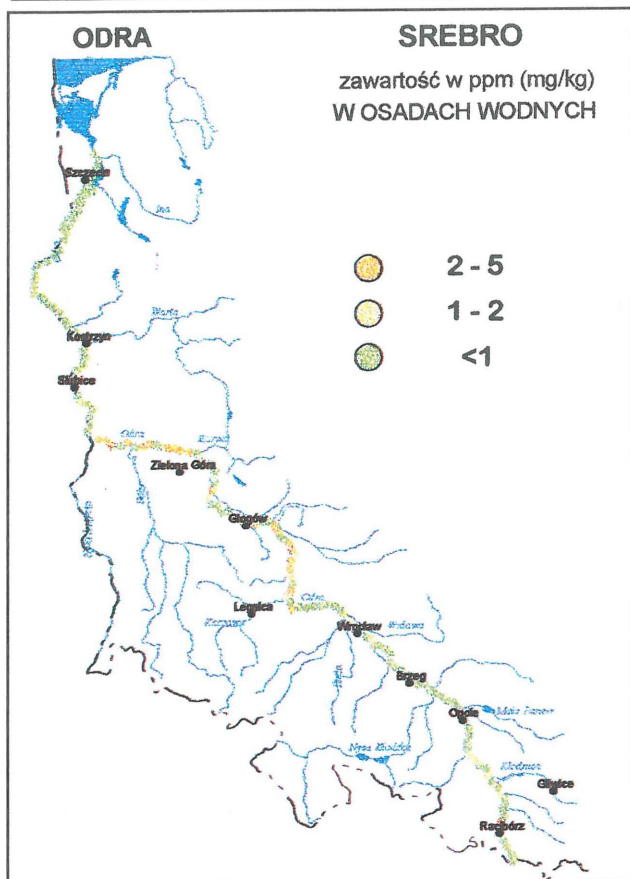
Z eksploatacją i przeróbką złóż rud metali jest związane niepożądane uruchamianie do środowiska przyrodniczego znacznych ilości pierwiastków. Część pierwiastków wprowadzana jest do środowiska wodnego wraz ze zrzucanymi wodami kopalnianymi i ściekami z zakładów wzbogacania i hut, część z nich trafia do atmosfery wraz z pyłami emitowanymi przez huty, a część pierwiastków zawarta w odpadach poflotacyjnych i hutniczych po ich zdeponowaniu na składowiskach może przenikać do otaczających środowisk. Pyły metali wyemitowane do atmosfery przez huty powracają na powierzchnię ziemi w formie suchych lub mokrych depozytów, dlatego też na obszarach znajdujących się w strefie ich oddziaływania obserwuje się akumulację metali ciężkich w glebach (Czarnecka i in., 1996; Kijewski, 1995; Krajewski & Nierzewska, 1995; Lis & Pasieczna, 1995a, b; Kapeja i in., 1990; Trafas i in., 1990; Freedman, 1989; Andruszczak i in., 1986). Większość ładunków metali ciężkich uruchamianych do środowiska podczas eksploatacji i przetwórstwa rud metali, w etapie końcowym trafia do wód powierzchniowych (zrzuty ścieków, erozja i spływ z zanieczyszczonych gleb, infiltracja odcieków ze składowisk odpadów) i jest zatrzymywana w tworzących się w nich osadach. Stąd w aluwii rzek na obszarach znajdujących się w strefie oddziaływania górnictwa i hutnictwa rud metali jest wykrywana wysoka zawartość wielu pierwiastków śla-

dowych, w tym metali ciężkich (Bellok, 1966; Bojakowska, 1995; Ciszewski, 1994; Palchen i in., 1991; Axtmann & Luoma, 1991; Krajewski, 1988).

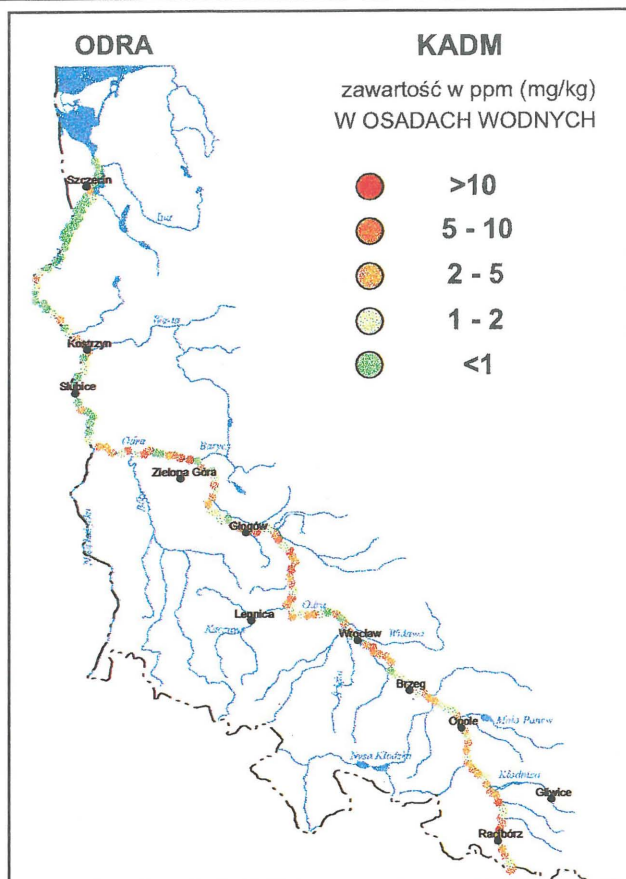
W zlewni Odry znajdują się obszary na których była lub jest obecnie prowadzona eksploatacja i przeróbka rud metali, co spowodowało podwyższenie koncentracji wielu pierwiastków śladowych w środowisku tego terenu.

Wielowiekowe wydobywanie i przetwarzanie górnosłańskich rud cynkowo-ołowiowych spowodowało znaczne zanieczyszczenie środowiska metalami ciężkimi (Melich, 1961). Tereny zachodniej części Górnego Śląska są drenowane przez dopływy Odry: Małą Panew, Kłodnicę, Rudę i Bierawkę. W wyniku przypowierzchniowej eksploatacji rud oraz emisji do atmosfery pyłów z procesów metalurgicznych, nastąpiło zanieczyszczenie gleb ołowiem, cynkiem i kadmem w rejonie Bytomia, Tarnowskich Gór, Strzybnicy i Miasteczka Śląskiego (Lis & Pasieczna, 1995b). Odprowadzanie ścieków z hut cynku i ołowiu oraz odcieki ze składowisk odpadów starych sztolni górniczych przyczyniają się do występowania podwyższonego stężenia tych pierwiastków w wodach rzeki Stoły, Małej Panwi, Bytomki i Kłodnicy. Ponieważ część tych metali podlega akumulacji w osadach dennych, w aluwii niektórych rzek wykrywana jest wysoka zawartość metali, np. w osadach Stoli stwierdzono 570 ppm kadmu, 1,79% cynku i ok. 3000 ppm ołowiu (Bojakowska, 1995). Do wód górnego odcinka Odry, głównie poprzez Małą Panew i Kłodnicę, dociera część ładunków metali emitowanych do atmosfery przez huty cynku i ołowiu: Miasteczko Śląskie, Orzeł Biały i Wtórmiet, a także

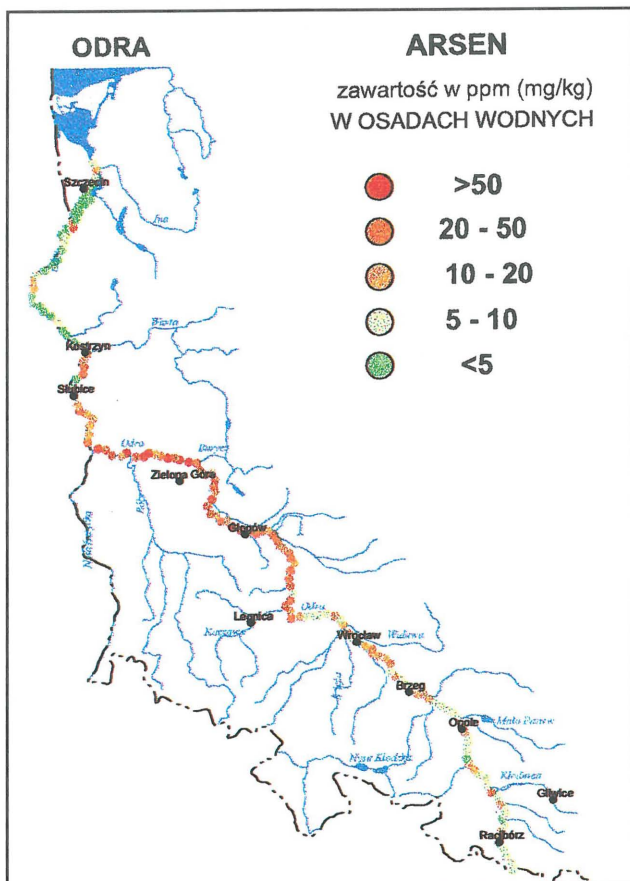
*Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa



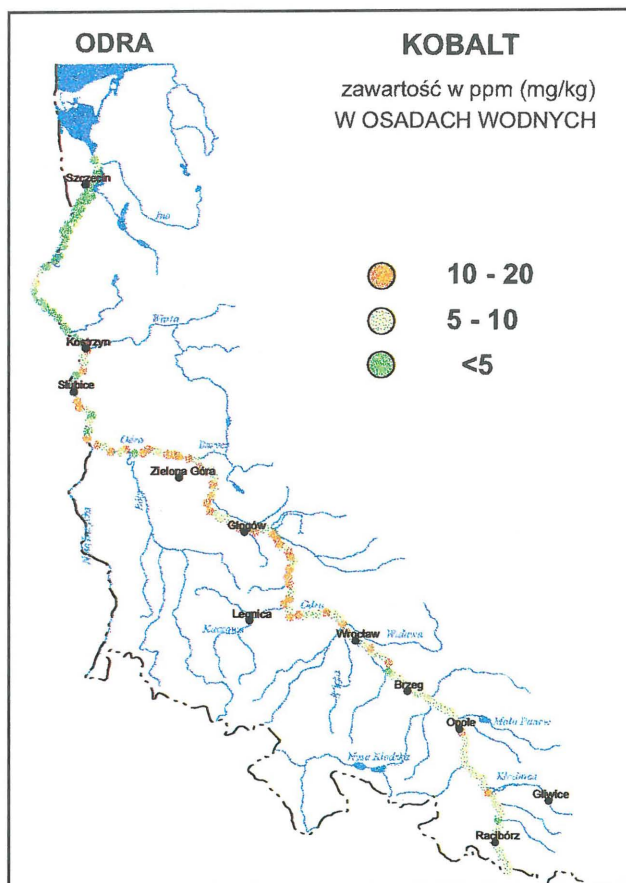
Ryc. 1. Srebro w aluwium Odry



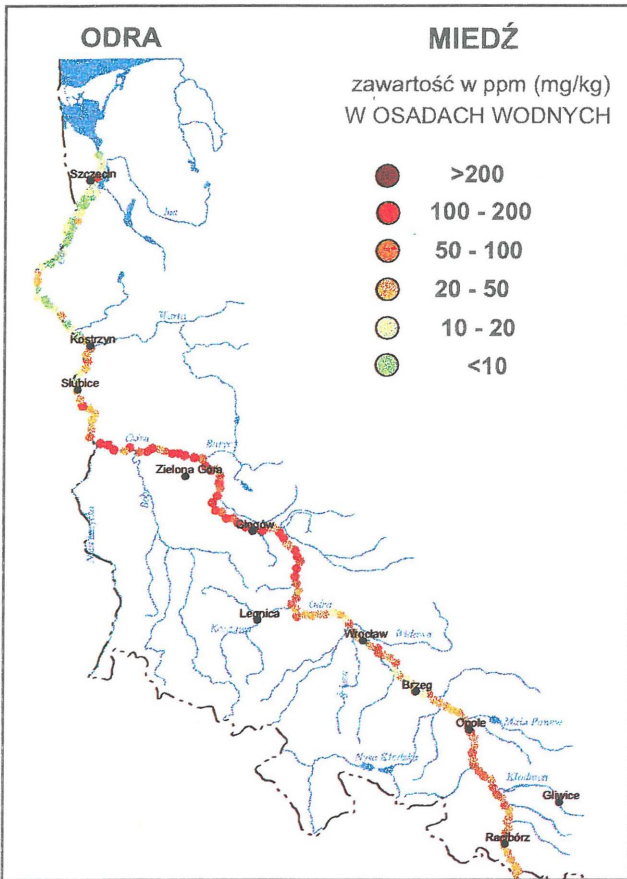
Ryc. 3. Kadm w aluwium Odry



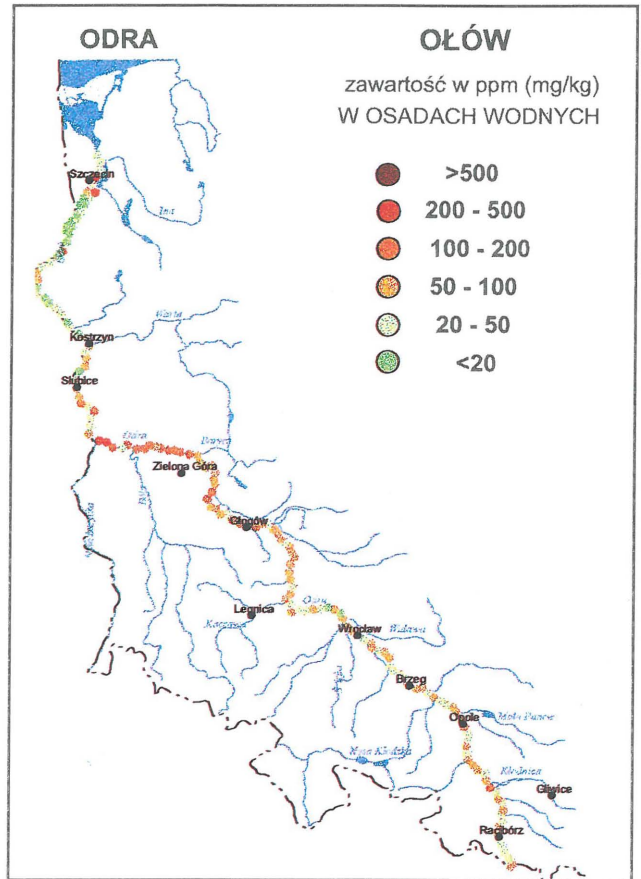
Ryc. 2. Arsen w aluwium Odry



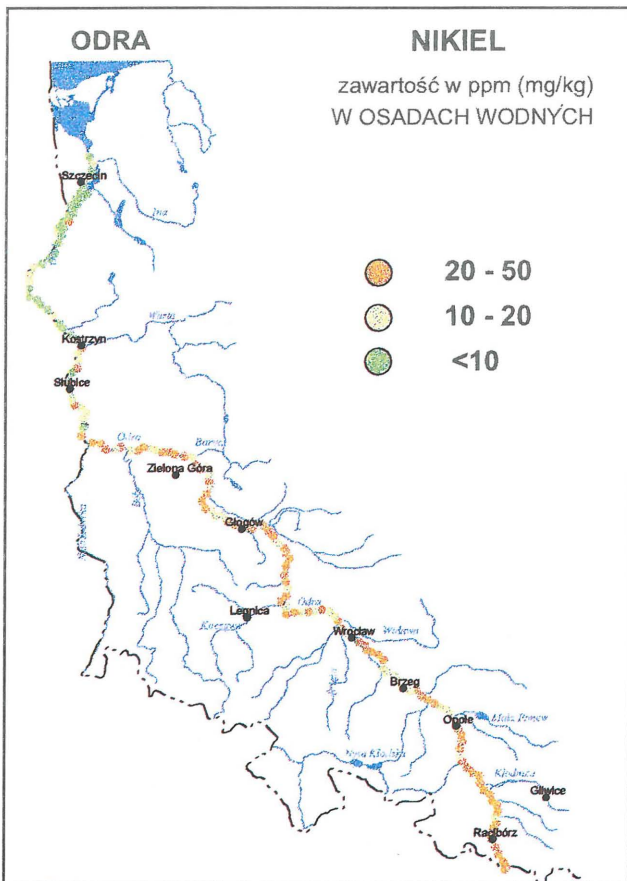
Ryc. 4. Kobalt w aluwium Odry



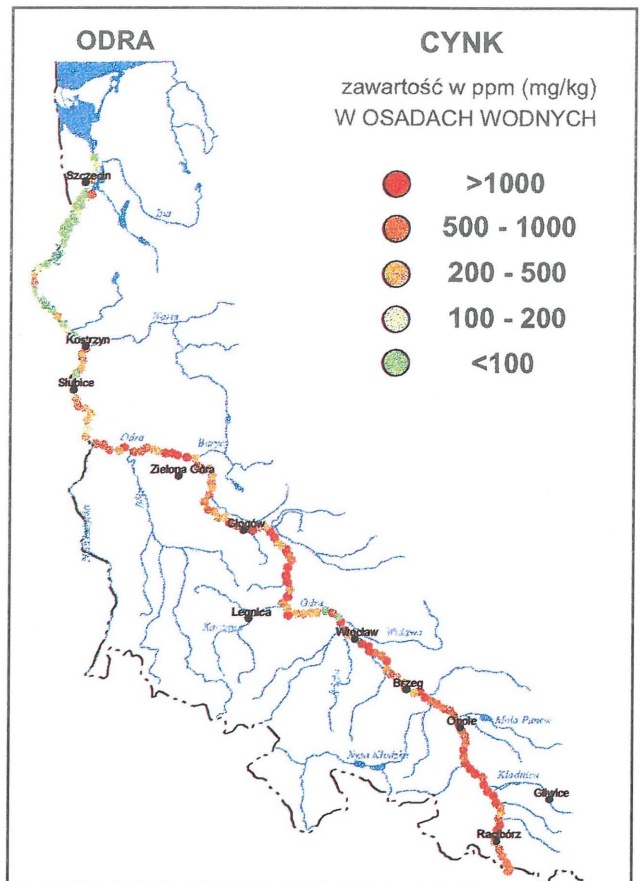
Ryc. 5. Miedź w aluwiach Odry



Ryc. 7. Ołów w aluwiach Odry



Ryc. 6. Nikiel w aluwiach Odry



Ryc. 8. Cynk w aluwiach Odry

Tab. 1. Parametry statystyczne pierwiastków w osadach wodnych Odry

| Pierwiastek | | Zawartość minimalna | Zawartość maksymalna | Średnia arytmetyczna | Średnia geometryczna | Mediana |
|--------------------|--------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------|
| Srebro Ag (ppm) | Odra (153) | <1 | 3 | <1 | <1 | <1 |
| | Górna Odra (51) | <1 | 2 | <1 | <1 | <1 |
| | Środkowa Odra (66) | <1 | 3 | 1 | <1 | <1 |
| | Dolna Odra (36) | <1 | 1 | <1 | <1 | <1 |
| Arsen As (ppm) | Odra (153) | <5 | 82 | 17 | 11 | 11 |
| | Górna Odra (51) | <5 | 28 | 11 | 10 | 9 |
| | Środkowa Odra (66) | <5 | 82 | 28 | 22 | 23 |
| | Dolna Odra (36) | <5 | 21 | <5 | <5 | <5 |
| Kadm Cd (ppm) | Odra (153) | <0,5 | 11,9 | 2,3 | 1,5 | 1,8 |
| | Górna Odra (51) | <0,5 | 11,9 | 2,8 | 2,3 | 2,3 |
| | Środkowa Odra (66) | <0,5 | 6,6 | 2,6 | 1,9 | 2,3 |
| | Dolna Odra (36),5 | <0,5 | 5,0 | 1,0 | 0,5 | <0,5 |
| Kobalt Co (ppm) | Odra (153) | <1 | 18 | 7 | 7 | 7 |
| | Górna Odra (51) | 4 | 15 | 7 | 7 | 7 |
| | Środkowa Odra (66) | 1 | 18 | 10 | 9 | 10 |
| | Dolna Odra (36) | <1 | 8 | 3 | 2 | 2 |
| Miedź Cu (ppm) | Odra (153) | 1 | 276 | 60 | 36 | 19 |
| | Górna Odra (51) | 12 | 75 | 41 | 37 | 24 |
| | Środkowa Odra (66) | 5 | 276 | 97 | 73 | 23 |
| | Dolna Odra (36) | 1 | 235 | 17 | 9 | 5 |
| Nikiel Ni (ppm) | Odra (153) | 1 | 42 | 19 | 15 | 19 |
| | Górna Odra (51) | 10 | 32 | 24 | 23 | 24 |
| | Środkowa Odra (66) | 3 | 42 | 23 | 20 | 23 |
| | Dolna Odra (36) | 1 | 24 | 6 | 5 | 5 |
| Ołów Pb (ppm) | Odra (153) | 3 | 681 | 66 | 47 | 53 |
| | Górna Odra (51) | 11 | 134 | 51 | 46 | 53 |
| | Środkowa Odra (66) | 10 | 202 | 73 | 86 | 78 |
| | Dolna Odra (36) | 3 | 681 | 52 | 21 | 24 |
| Cynk Zn (ppm) | Odra (153) | 11 | 1703 | 614 | 378 | 512 |
| | Górna Odra (51) | 77 | 1703 | 909 | 786 | 877 |
| | Środkowa Odra (66) | 39 | 1663 | 657 | 518 | 528 |
| | Dolna Odra (36) | 11 | 743 | 115 | 74 | 68 |

ładunki metali pochodzące ze ścieków odprowadzanych z huty Miasteczko Śląskie. Część zanieczyszczeń wnoszonych do Odry przez te rzeki pochodzi z erozji zanieczyszczonych gleb i infiltracji ze starych składowisk odpadów górniczych i hutniczych. Cynk i ołów trafiają do Odry także ze ściekami z hut ołowiu i miedzi Hutmet we Wrocławiu i Oławy w Oławie.

Eksploatacji cechsztyńskich rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej i ich przetwórstwu towarzyszy uruchamianie do środowiska, oprócz miedzi, wielu innych pierwiastków śladowych w nich występujących. Z wydobywaniem rud jest także związane usuwanie dużych ilości zasolonych wód złożonych z odwadniania kopalń; są one odprowadzane obecnie do zbiornika *Żelazny Most*. W zbiorniku tym gromadzone są także odpady poflotacyjne powstające w procesie wzbogacania rud.

Wody nadosadowe ze zbiornika *Żelazny Most*, zrzucane są do Odry w 392,5 km biegu rzeki i wnoszą do niej miedź, ołów, cynk i inne metale (Czaban i in., 1995). Wody odprowadzane ze zbiornika charakteryzują się zmieniającym się w szerokim zakresie stężeniem metali ciężkich; ich średnia zawartość wynosi: miedzi – 0,16 mg/l ołowiu – 0,16 mg/l, kadmu – 0,05 mg/l, cynku – 0,12 mg/l i niklu – 0,27 mg/l. Przeróbce koncentratów miedzi towarzyszy emisja pyłów do atmosfery; była ona szczególnie wysoka w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych. Wieloletnia emisja tych pyłów spowodowała zanieczyszczenie gleb wokół hut miedzi (Lis & Pasieczna, 1995a). Erozja tych gleb i spływ powierzchniowy przyczynia się także do przenikania metali ciężkich do Odry i jej dopływów.

Do Odry są również wnoszone ładunki pierwiastków śladowych wraz ze ściekami z górnictwa węglowego oraz ściekami komunalno-przemysłowymi odprowadzanymi z miast położonych nad rzeką, m.in. z Raciborza, Opola, Wrocławia, Frankfurtu czy Szczecina; do rzeki migrują

także zanieczyszczenia infiltrujące ze składowisk odpadów przemysłowych i komunalnych, usytuowanych w dolinie rzeki w Raciborzu, Kędzierzynie-Koźlu, Zdieszowicach, Krapkowicach, Opolu, Brzegu Wrocławiu, Nowej Soli i Szczecinie (Kiedel, 1995; Landsberg-Uzciwek, 1995; Demidowicz, 1995; Kończal, 1995; Kwiatkowska-Szygulska, 1995; Janik i in., 1995; Jarzębski, 1995; Mendaluk J., 1995).

Metodyka badań

Próbki osadów aluwialnych pobrano w 153 punktach, co 5 km z wzdłuż biegu Odry oraz z jej dopływów, w pobliżu ich ujść w 103 punktach. Próbki osadów pobierano ze strefy brzegowej w miejscach, gdzie następuje akumulacja osadów. Frakcję osadów drobniejszą niż 0,2 mm pod-

dano trawieniu wodą królewską. W uzyskanych roztworach określono zawartości następujących pierwiastków: Ag, As, Ba, Cd, Cu, Co, Ni, Pb i Zn. Oznaczenia wykonano za pomocą spektrometru emisyjnego ze wzbudzeniem plazmowym ICP. Przygotowanie próbek aluwialnych do badań oraz ich analizy chemiczne zostały wykonane w Centralnym Laboratorium Chemicznym Państwowego Instytutu Geologicznego.

Pierwiastki śladowe w osadach Odry

W zbadanych osadach Odry srebro występowało od zawartości mniejszej niż 1 ppm do 3 ppm. Zawartość srebra wyższą niż 1 ppm, wskazującą na antropogeniczne jego pochodzenie, stwierdzono w osadach gromadzących się w pobliżu większych miast, takich jak: Racibórz, Kędzierzyn, Brzeg, Wrocław oraz w osadach deponowanych w Odrze na odcinku od ujścia Kaczawy do ujścia Warty (ryc. 1). W osadach dopływów Odry podwyższoną zawartość Ag odnotowano w niewielkim cieku płynącym na terenie Wrocławia (16,0 ppm), Ślęzy (4 ppm), Rzuchowskiej Strudze (3,0 ppm), Kaczawie (2 ppm) i Zimnicy (2 ppm).

Arsen w badanych próbkach aluwii Odry był obecny w ilościach od < 5 ppm do 82 ppm. Akumulację osadów o wysokiej zawartości arsenu, znacznie wyższej niż 10 ppm, przyjmowanej za zawartość anomalną (Bojakowska & Sokołowska, 1998) zaobserwowano w rejonie Jelcza, Prochowic, Ścinawy, Głogowa oraz na odcinku od Nowej Soli do Krzesina (ryc. 2). Aluwia deponowane, poniżej ujścia Warty, w dolnym odcinku Odry charakteryzują się niskim stężeniem As, a średnia zawartość tego pierwiastka jest niższa niż 5 ppm (tab. 1). W osadach dopływów najwyższą zawartość arsenu stwierdzono w Kaczawie (60 ppm).

W niemalże wszystkich próbkach aluwii pobranych z

górną i środkową Odry, na odcinku od Chałupek aż do ujścia Warty, stwierdzono zawartość **kadmu** wyższą niż 1 ppm; wskazującą na zanieczyszczenie środowiska wodnego tym pierwiastkiem (ryc. 3). W dolnym odcinku Odry zawartość kadmu w aluwach była zbliżona do wartości tła geochemicznego, wynoszącej <0,5 ppm. Najwięcej kadmu zawierały osady pobrane z Odry w Miedonii. Podwyższoną zawartość kadmu stwierdzono również w jej aluwach poniżej ujść: Kaczawy, Zimnicy, Rudnej, Małej Panwi, a także pobranych na terenie Jelcza, Wrocławia, Krosna Odrzańskiego. Najwyższą zawartość kadmu odnotowano w aluwium Małej Panwi — 45,8 ppm; do rzeki tej docierają zanieczyszczenia odprowadzane z Huty Miasteczko Śląskie oraz z zakładów przemysłowych Tarnowskich Gór i Strzybnicy. Podwyższoną zawartość kadmu zaobserwowano także w aluwach cieków na terenie Wrocławia — 11,9 ppm.

Kobalt obecny był w osadach Odry w niewielkim stężeniu w zakresie stężeń, od zawartości niższej niż 1 ppm do 18 ppm (tab. 1). Stężenia kobaltu wyższe od tła geochemicznego (2 ppm) występują w osadach rzecznych stosunkowo rzadko, a zawartość wyższa niż 10 ppm jest związana z działalnością gospodarczą człowieka, najczęściej z przemysłem metalurgicznym (Bojakowska, 1995; Lis & Pasieczna, 1995). W osadach Odry stężenie kobaltu wyższe niż 10 ppm stwierdzono w wielu próbkach pobranych między Kędzierzyna-Koźlem a Kostrzynem (ryc. 4). W osadach dopływów Odry podwyższoną zawartość kobaltu wykryto w Jodłowce (42 ppm), Stobrawie (23 ppm) i Chruścińskiej Strudze (24 ppm).

W badanych aluwach Odry **miedź** była obecna w ilości od 1 do 276 ppm (tab. 1). Akumulację osadów o wysokiej zawartości miedzi, często przekraczających 100, a nawet 200 ppm zaobserwowano na odcinku od Prochowic (ujście Kaczawy) do Krzesina, podczas gdy w aluwach rzek nie zanieczyszczonych nie przekracza ona 20 ppm (ryc. 5). Wysoką jej zawartość stwierdzono w próbkach aluwów pobranych z dopływów Odry: Rzuchowskiej Strugi (898 ppm), przepływającej przez Wróblin Głogowski, Bystrzycy (114 ppm), Ślęzy (221 ppm) i Rudzicy (217 ppm), do której zrzucane są ścieki z Nowej Soli oraz Zimnicy (228 ppm), Kaczawy (258 ppm) i Rudnej (115 ppm).

W osadach Odry **nikiel** występuje w stężeniu od 1 ppm do 42 ppm. Aluwia górnej i środkowej Odry charakteryzują się, podobnie jak w przypadku innych pierwiastków, wyższą zawartością niklu niż osady deponowane w dolnym odcinku Odry (ryc. 6). A średnia zawartość obliczona dla osadów górnego i środkowego odcinka rzeki przekracza 20 ppm, co wskazuje na antropopresję. W dopływach Odry wysokie stężenie tego pierwiastka było obecne w osadach Ługowiny (118 ppm), Młynnej (97 ppm), Kaczawy (76 ppm) i Jodłówki (61 ppm).

Ołów w badanych osadach Odry charakteryzował się stężeniem od 3 do 681 ppm (tab. 1). Zawartość ołowiu wyższą niż 30 ppm, świadcząca o zanieczyszczeniu osadów, stwierdzono w większości badanych próbek Odry, nawet w jej dolnym odcinku, dla którego średnia geometryczna zawartość Pb w osadach wynosi 21 ppm. Tło geochemiczne Pb w osadach Polski wynosi 11 ppm (Lis & Pasieczna, 1995). Osady o wysokiej zawartości ołowiu zaobserwowano na odcinku poniżej ujścia Kaczawy do ujścia Warty (ryc. 7). W aluwach dopływów wysokie koncentracje ołowiu stwierdzono w Małej Panwi (w 152), w dwóch niewielkich ciekach bez nazwy na terenie Wrocławia (159 i 172 ppm), Ślęzy (113 ppm), Kaczawie (152 ppm), Rzuchowskiej Strudze (789 ppm) i Rudzicy (184 ppm).

W aluwach Odry **cynk** występował w zakresie od 11 ppm do 1703 ppm (tab. 1). Średnia geometryczna jego zawartość wynosiła 378 ppm i była wielokrotnie wyższa od średniej geometrycznej zawartości cynku w osadach wód powierzchniowych Polski wynoszącej 73 ppm (Lis & Pasieczna, 1995). Bardzo wysoką zawartość cynku w aluwach górnej i środkowej Odry zanotowano w rejonie Raciborza, Kędzierzyna-Koźla, Krapkowic, Brzegu, Wrocławia i Nowej Soli (ryc. 8). W dolnym odcinku Odry zawartość cynku w osadach była zbliżona do tła geochemicznego, podwyższoną jego zawartość odnotowano jedynie w aluwach na terenie Szczecina (tab. 1). W osadach dopływów Odry znacznie podwyższoną zawartość cynku stwierdzono w Małej Panwi, wszystkich rzekach na terenie Wrocławia, niewielkim potoku bez nazwy koło Oławy oraz Rudzicy w Nowej Soli.

W nie zanieczyszczonych wodach powierzchniowych skład gromadzących się na dnie osadów, w tym także zawartość pierwiastków śladowych, jest uzależniony przede wszystkim od budowy litologicznej danej zlewni oraz warunków klimatycznych, które decydują o przebiegu procesów wietrzenia. Naturalna zawartość pierwiastków śladowych w osadach wodnych na terenie Polski jest na ogół bardzo niska i w osadach nie zanieczyszczonych rzek nie przekracza kilku ppm kobaltu, arsenu, niklu i ołowiu, a kadmu — 0,5 ppm. Przeprowadzone badania wykazały, że zawartość pierwiastków śladowych w osadach Odry, szczególnie w jej górnym i środkowym odcinku, które charakteryzują się zwłaszcza wysoką zawartością As, Cu, Pb i Zn, wielokrotnie przekraczającą wartości ich tła geochemicznego w osadach wodnych Polski

Obecność podwyższonego stężenia badanych pierwiastków śladowych w aluwach Odry jest związana w dużym stopniu z ich uruchamianiem do środowiska przez eksploatację i przeróbkę polimetalicznych rud siarczkowych legnicko-głogowskiego zagłębia i w mniejszym stopniu przez przemysł wydobywczy i przetwórczy rud cynkowo-ołowiowych Górnego Śląska.

Odprowadzanie ścieków z górnictwa i hutnictwa miedzi wywiera wyraźny wpływ na występowanie wielu pierwiastków śladowych w aluwach Odry, na odcinku od ujścia Kaczawy do ujścia Warty oraz w jej dopływach: Kaczawie, Zimnicy, Rudnej. Stwierdzona w aluwach tych rzek oprócz wysokiej zawartości miedzi, także obecność podwyższonej koncentracji arsenu, ołowiu, niklu, kobaltu, srebra i cynku jest związana z występowaniem tych pierwiastków w przerabianych surowcach w formie domieszek izomorficznych w minerałach rudnych, np. srebra w chalkopirycie lub we własnych minerałach (np. sfaleryt, galenit, nikielin, skutterudyt, smaltyn). Koncentraty miedziowe ze złóż Lubina, Polkowic i Rudnej zawierają od 1 do 12,7% galenitu i od 0,6 do 2% sfalerytu (Kijewski 1991). Ze zrzutami wód nadosadowych ze zbiornika *Żelazny Most* oraz ścieków z przeróbki polimetalicznych rud, a także erozją gleb zanieczyszczonych przez emisję pyłów przez huty miedzi, jest związane wprowadzanie do zlewni Odry ładunków tych pierwiastków śladowych. Podwyższona zawartość niklu obserwowana w Kaczawie i poniżej jej ujścia w Odrze jest związana z produkcją siarczanu niklowego w hucie „Legnica” (z niklu odzyskiwanego podczas przerobu hutniczego koncentratów miedzi).

Również wydobywanie i przetwórstwo rud cynkowo-ołowiowych wywiera także wpływ na stężenie pierwiastków śladowych w aluwach górnej Odry, poniżej ujścia dopływów drenujących Góry Śląsk: Małej Panwi, Bierawki, Kłod-

nicy, Rudy. Rzeki te wnoszą do Odry oprócz ładunków cynku, ołowiu także znaczne ilości kadmu, występującego w formie izomorficznych podstawień w sfalerycie i tenencie.

Źródłem metali ciężkich trafiających do Odry i akumulowanych w jej osadach są także ścieki pochodzące z zakładów przemysłowych zlokalizowanych nad Odrą np. zakładów metalurgicznych (nikiel), produkcji barwników i farb (cynk) zakładów przemysłu elektronicznego (kadm, srebro, miedź).

Na występowanie pierwiastków śladowych w osadach Odry ma również wpływ odprowadzanie ścieków komunalnych i spływów burzowych z terenów miejskich. W osadach gromadzących się poniżej miejsc zrzutu ścieków z miast, położonych nad rzeką obserwuje się podwyższoną zawartość srebra, cynku i ołowiu. Obecność cynku w ściekach jest związana ze stosowaniem w budownictwie ocynkowanych rur wodociągowych, ołowiu ze spływem burzowym z ulic i gleb zanieczyszczonych tych pierwiastkiem w rezultacie powszechnego wykorzystywania etyliny przez transport samochodowy.

Osady deponowane w dolnym biegu Odry, poniżej ujścia Warty, charakteryzują się znacznie niższą zawartością badanych pierwiastków, co jest związane z rozcieńczeniem zanieczyszczeń transportowanych w rzece przez wody Warty, rzeki o dużym przepływie wody, wynoszącym średnio w roku 180 m/s; przepływ wody w Odrze powyżej ujścia Warty wynosi 240 m/s. Na przechodzenie pierwiastków śladowych do osadów może także mieć wpływ zmiana warunków fizykochemicznych w wodzie rzeki po przejściu przez Odrę wód Warty (Merian, 1991; Salomons & Stigliani 1995).

Podsumowanie

1. Metale ciężkie są wnoszone do Odry wraz ze ściekami górniczymi i przemysłowymi odprowadzanymi bezpośrednio do tej rzeki lub jej dopływów. Są to przede wszystkim ścieki odprowadzane z eksploatacji i przeróbki polimetalicznych rud siarczkowych z legnicko-głogowskiego zagłębia, przemysłu wydobywczego i przetwórczego rud cynku i ołowiu Górnego Śląska, z zakładów przemysłowych zlokalizowanych nad rzeką.

2. Odprowadzanie ścieków z górnictwa i hutnictwa miedzi wywiera wyraźny wpływ na występowanie miedzi, arsenu, ołowiu, cynku i srebra w aluwiach Odry, na odcinku od ujścia Kaczawy do ujścia Warty.

3. Uruchamianie do środowiska metali ciężkich przez wydobywanie i przetwórstwo rud cynku i ołowiu wywiera znacznie mniejszy wpływ na stężenie pierwiastków śladowych w aluwiach Odry, jest on widoczny poniżej ujścia dopływów drenujących Górny Śląsk — Małej Panwi i Kłodnicy i Rudy.

4. Na stężenie niektórych pierwiastków śladowych, takich jak ołów i cynk ma również wpływ odprowadzanie ścieków komunalnych i spływów burzowych z terenów miejskich.

5. Osady deponowane w dolnym biegu Odry, poniżej ujścia Warty, charakteryzują się znacznie niższą zawartością badanych pierwiastków, w porównaniu do osadów górnej i środkowej Odry.

Literatura

ANDRUSZCZAK E., STRĄCZYŃSKI S., CZERNAWSKA W. & RADWAN B. 1986 — Zawartość niektórych składników w glebach i roślinach uprawnych znajdujących się pod wpływem emisji huty miedzi. *Rocz. Gleb.*, 37: 47–66.

AXTMANN E.V. & LUOMA S.N. 1991 — Large-scale distribution of metal contamination in the fine-grained sediments of the Clark Fork River, Montana, USA. *Appl. Geochem.*, 6: 75–88.

BELLOK A. 1996 — Wpływ górnictwa cynkowo-olowiowego na zanieczyszczenie metalami i siarką wód powierzchniowych i osadów wodnych na obszarze Trzebinia-Chrzanów. *Prz. Geol.*, 44: 70–74

BOJAKOWSKA I. 1995 — Wpływ odprowadzania ścieków na akumulację metali ciężkich w osadach wybranych rzek Polski. *Instr. i Met. Bad. Geol. Państw. Inst. Geol.*, 55.

BOJAKOWSKA I. & SOKOŁOWSKA G. 1998 — Geochemiczne klasy czystości osadów wodnych. *Prz. Geol.*, 46: 49–54.

CISZEWSKI D. 1994 — Rozprzestrzenie metali ciężkich w osadach dennych rzeki Chechło. *Prz. Geol.*, 42, 116–121.

CZABAN S., WASILEWSKI M. & GÓRSKI R. 1995 — Zagospodarowanie nadmiaru wód zmineralizowanych z KGHM Polska Miedź S.A. i ich wpływ na wody odbiornika. VII Konf. Sozologiczna, Polkowice '95: 109–122.

DEMIDOWICZ M. 1995 — Raport o stanie środowiska w województwie gorzowskim w 1994 r. Biblioteka Monitoringu Środowiska.

FREEDMAN B. 1989 — *Environmental Ecology*. Academic Press. INC.

JANIK J., SŁUGOCKA-LAK J., ZBIEGIENI A., CHAŁUPNIAK., CIEPŁY A. & FIGAS Z. 1995 — Raport o stanie środowiska w województwie opolskim w 1994 r. Biblioteka Monitoringu Środowiska.

JARZEBSKI L. 1995 — Raport o stanie środowiska w województwie katowickim w 1994 r. Biblioteka Monitoringu Środowiska.

KAPEJA E., JANUSZ W., ZAJĄC K. & ZUREK R. 1990 — Stan zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego w rejonie Kombinatu Górniczo-Hutniczego Bolesław. *Zesz. Nauk. AGH*, 32: 11–20.

KIEDEL Z. 1995 — Raport o stanie środowiska w województwie legnickim w 1994 r. Biblioteka Monitoringu Środowiska.

KIJEWSKI P. 1995 — Występowanie metali ciężkich na obszarze Środokowego Nadodrza w strefie oddziaływania przemysłu miedziowego. *Fizykochemiczne Problemy Mineralogii*, 29: 47–54.

KIJEWSKI P. 1991 — Opracowanie prognoz wprowadzania metali ciężkich do obiegu technologicznego związanego z przeróbką cechsztyńskich rud miedzi w funkcji wydobywania i przy uwzględnieniu odpadów poflotacyjnych. Określenie ilości metali w obiegach technologicznych jako podstawa do szacowania ich oddziaływania na środowisko przyrodnicze. *Maszyn. KGHM Polska Miedź SA*. Wrocław.

KOŃCZAL H. 1995 — Raport o stanie środowiska w województwie leszczyńskim w 1994 r. Biblioteka Monitoringu Środowiska.

KRAJEWSKI J. & NIERZEWSKA N. 1995 — Metale ciężkie w glebach na terenach górniczych kopalń rud miedzi. *Z. Probl. Post. Nauk Roln.*, 418: 407–413.

KRAJEWSKI J. 1988 — Akumulacja metali ciężkich w osadach dennych wybranych cieków województwa legnickiego.

KWIATKOWSKA-SZCZYGULSKA B. 1995 — Raport o stanie środowiska w województwie wrocławskim w 1994 r. Biblioteka Monitoringu Środowiska.

LANDSBERG-UCZCIWEK M. 1995 — Raport o stanie środowiska w województwie szczecińskim w 1994 r. Biblioteka Monitoringu Środowiska.

LIS J. & PASIECZNA A. 1995a — Atlas geochemiczny Polski w skali 1 : 2 500 000 Państw. Inst. Geol. Warszawa.

LIS J. & PASIECZNA A. 1995b — Atlas geochemiczny Górnego Śląska w skali 1 : 200 000 Państw. Inst. Geol. Warszawa.

MELICH A. 1961 — 100 lat przemysłu cynku i ołowiu na Śląsku. *Rudy i Met. Niezel.*, 5: 196–199.

MENDALUK J. 1995 — Raport o stanie środowiska w województwie zielonogórskim w 1994 r. Biblioteka Monitoringu Środowiska.

MERIAN E. 1991 — Metals and their compounds in the environment. VCH Verlagsgesellschaft, 1991

PALCHEN W., RANK G., OSSENKOPF P., WUNSCH M. & HARPEKE B. 1991 — Heavy metal contamination of stream sediments and soils on the mining district of Freiberg, Saxony (Germany). II Sym. Environmental Geochemistry, 16-19 September, Uppsala.

TRAFAS M., GRUSZCZYŃSKI S., GRUSZCZYŃSKA J. & ZAWODNY Z. 1990 — Zmiany właściwości gleb wywołane wpływami przemysłu w rejonie olkuskim. *Sozologia i sozotechnika*. *Z. Nauk. AGH*: 32:143–162.

SALOMONS W. & STIGLIANI W.M. 1995 — Biogeodynamics of pollutants in soils and sediments. Springer-Verlag.