

Proces samooczyszczania się koryta rzeki Pisi (zachodnie Mazowsze) na podstawie zmian zawartości wybranych metali ciężkich

Jan Parafiniuk*, Izabela Bojakowska**, Kinga Małecka**



J. Parafiniuk



I. Bojakowska



K. Małecka

Process of auto-purification of Pisia river-bed (Western Mazovia) based on changes of selected heavy metals contents. *Prz. Geol.*, 53: 609–614.

Summary. Contents of several heavy metals (Cr, Cu, Pb, Zn, As, Cd, Co) in alluvium and soils of flood-plains of Pisia River between Żyrardów and Sochaczew were analysed. Analyses have been carried out in the same points and using analogical procedure twice: in 1994 and 2001. Within this time a significant improvement of the river chemical status took place due to economic changes and reduced sewage pollution discharged in Żyrardów. Distinct decrease of heavy metals contents in alluvium in Żyrardów area and their migration down the Pisia valley were observed. At the same time, elevated heavy metal levels were found in soils of the flood-plains as a result of their migration from the river-bed.

Key words: heavy metals, alluvium, flood-plain soils, river-bed, auto-purification, Pisia river, Żyrardów

Niektóre z dopływów rzeki Bzury, których zlewnie obejmują uprzemysłowione rejony zachodniego Mazowsza, są rzekami silnie zanieczyszczonymi ściekami przemysłowymi i komunalnymi. Przez ponad sto lat jedną z najbardziej zanieczyszczonych była niewielka, długości ok. 60 km, rzeka Pisia płynąca przez Żyrardów, Szymanów i Sochaczew, gdzie znajduje się jej ujście do Bzury. Prowadzone na zlecenie Głównego Inspektora Ochrony Środowiska, monitoringowe badania geochemiczne osadów rzek Polski wykazywały na początku lat dziewięćdziesiątych w osadach rzeki Pisi w Sochaczewie obecność podwyższonych zawartości wielu pierwiastków śladowych. Wykonane w Państwowym Instytucie Geologicznym w 1994 r. szczegółowe badania zawartości metali ciężkich w aluviach i glebach tarasów zalewowych Pisi potwierdziły występowanie znacznie podwyższonych zawartości takich metali, jak chrom, miedź, ołów, cynk i rtęć w osadach na całej długości rzeki, począwszy od Żyrardowa. Za główne źródło zanieczyszczenia osadów i wód rzeki uznano ścieki przemysłowe i komunalne zrzucane do Pisi w Żyrardowie (Bojakowska i in., 1996).

W efekcie przeobrażeń gospodarczych dokonujących się w Polsce w ostatniej dekadzie XX w., zamknięto w Żyrardowie większość uciążliwych dla środowiska zakładów przemysłowych i jednocześnie polepszone sprawność oczyszczania ścieków w mniej obciążanej oczyszczalni ścieków w Żyrardowie. W wyniku tego nastąpił bardzo wyraźny spadek stężenia zanieczyszczeń w odprowadzanych do rzeki ściekach i w konsekwencji redukcja ich szkodliwości dla środowiska, co zaczęło skutkować wyraźnie widoczną poprawą stanu rzeki. Przestała ona być w rejonie Żyrardowa cuchnącym ściekiem; poprawiła się przejrzystość wody, zanikły nieprzyjemny zapach i gruba warstwa szlamu na dnie.

W tej sytuacji interesujące wydało się ponowne zbadanie poziomu zawartości wybranych metali ciężkich w aluviach i glebach tarasów zalewowych rzeki w celu określenia rodzaju i dynamiki procesu samooczyszczania

rzeki, jaki dokonał się w ciągu siedmiu lat od poprzednich badań geochemicznych. Badania takie zostały wykonane w Instytucie Geochemii, Mineralogii i Petrologii Uniwersytetu Warszawskiego w 2001 r., a ich wyniki porównane z uzyskanymi w 1994 r. w Państwowym Instytucie Geologicznym.

Charakterystyka zlewni rzeki Pisi

Rzeka Pisia jest jednym z większych prawobrzeżnych dopływów Bzury. Jej źródła znajdują się w okolicy miejscowości Bronisławów, na wysokości 178 m n.p.m. Zlewnia rzeki, obejmująca powierzchnię 501 km², znajduje się na Równinie Łowicko-Błońskiej w zachodniej części Mazowsza. Jest to typowa rzeka nizinna przepływająca na długości 58,5 km przez miejscowości: Korytów, Żyrardów, Wiskitki, Stary i Nowy Drzewicz, Szymanów, Skotniki, Bielice, Duranów, Andrzejów Duranowski, Boryszew i Sochaczew. Pisia jest rzeką niosącą stosunkowo niewielkie ilości wody. Przepływ wody w jej dolnym biegu w Duranowie wynosi średnio w ciągu roku 1,5 m³/s, a w okresie letnim 0,8 m³/s (Stachy, 1986).

Zlewnia Pisi jest pokryta utworami plejstocenu i holocenu zalegającymi na osadach starszych, głównie ilach plioceńskich. Utwory plejstoceniowe są reprezentowane przez gliny zwałowe zlodowacenia warty, piaski i żwiry stożków napływowych oraz wodnolodowcowe piaski, mułki i ły zastoiskowe. Występują tutaj także ły i mułki zastoiskowe oraz piaszczyste osady jeziorne zlodowacenia wisły. Dolina rzeki jest wypełniona utworami holoceniowymi, głównie piaskami rzecznyymi i madami (Słowański i in., 1994). Na terenach występowania takich utworów naturalna zawartość metali ciężkich w glebach i osadach wodnych, akumulowanych na dnie rzek (tło geochemiczne) jest bardzo niska. Zawartość arsenu, kobaltu, chromu, miedzi i niklu, nie przekracza kilku ppm, ołowiu — kilkunastu ppm, cynku — kilkudziesięciu ppm, kadmu — 0,5 ppm, a rtęci — 0,01 ppm (Bojakowska & Gliwicz, 2003; Bojakowska, 2003; Lis & Pasieczna, 1995).

Od połowy XIX w. źródłem zanieczyszczenia środowiska w zlewni Pisi, w tym także wód i osadów rzeki były głównie ścieki odprowadzane z Żyrardowa, przemysłowej osady, w której już od 1843 r. działała przędzalnia lnu. Na

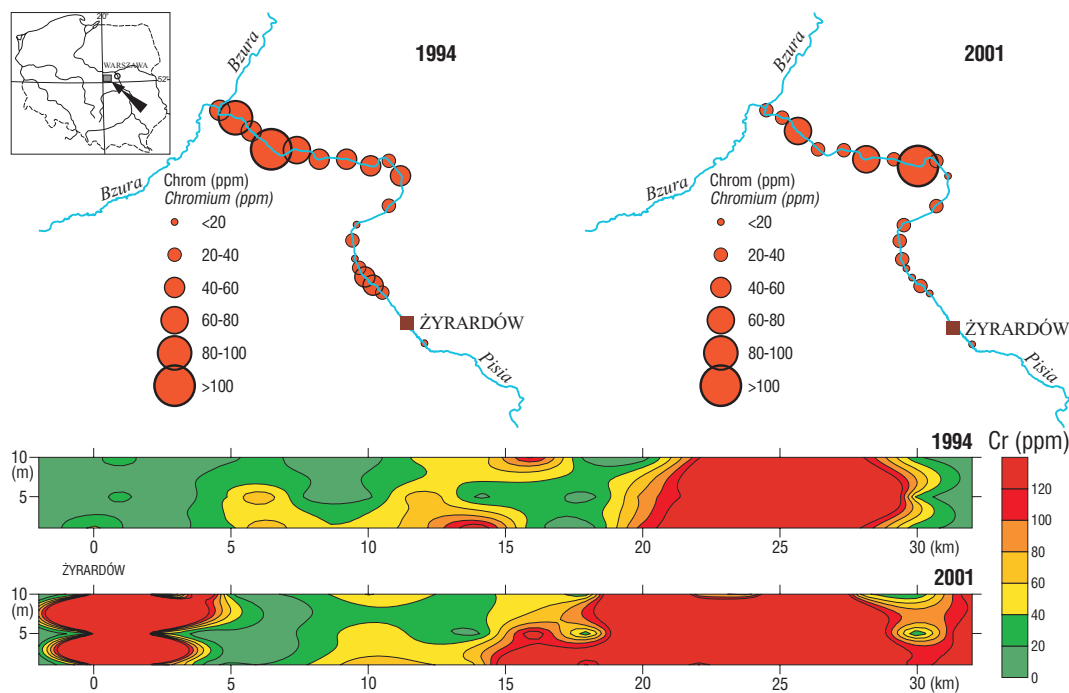
*Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa

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

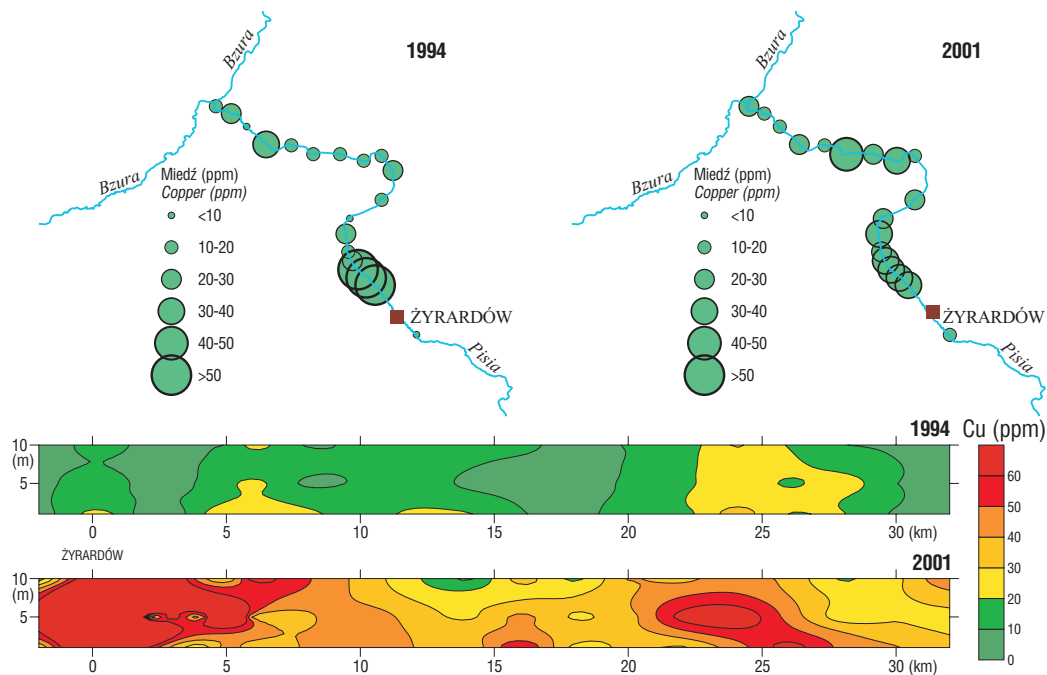
początku XX w. została ona rozbudowana do największych na świecie zakładów przędzalniczych lnu i bawełny. Źródłem zanieczyszczenia środowiska wód powierzchniowych były także olbrzymie ładunki zanieczyszczeń, pochodzące ze zlokalizowanych w tym mieście zakładów przemysłu garbarskiego. W drugiej połowie XIX w. i w pierwszej połowie XX w. technologie stosowane w zakładach włókienniczych i garbarniach były bardzo uciążliwe dla środowiska, a powstające w ich wyniku duże ilości, nierzadko szkodliwych ścieków, nie oczyszczane lub tylko wstępnie oczyszczane, były zrzucane do rzeki. Nakładały się na to ścieki komunalne odprowadzane z szybko rozwijającego się miasta. W następstwie takiej

gospodarki ściekowej, do Pisi były odprowadzane ogromne ilości zanieczyszczeń, które spowodowały całkowitą jej degradację. Nie była w stanie temu przeciwdziałać zbudowana w Żyrardowie oczyszczalnia ścieków o zbyt małej wydajności w stosunku do potrzeb.

Obecnie w Żyrardowie zlikwidowano większość uciążliwych dla środowiska: garbarni, zakładów włókienniczych w tym rozszarnię i wiele innych zakładów, a w pozostałych, wytwarzających znacznie mniejsze ilości ścieków, nastąpiła wyraźna poprawa gospodarki nimi. W połączeniu z modernizacją oczyszczalni ścieków, ładunek zanieczyszczeń dostających się do Pisi został bardzo zredukowany.



Ryc. 1. Rozkład zawartości chromu w aluwium i glebach tarasów zalewowych Pisi od Żyrardowa do Sochaczewa
 Fig. 1. Chromium distribution in alluvium and soils of the flood-plains of Pisia River from Żyrardów to Sochaczew

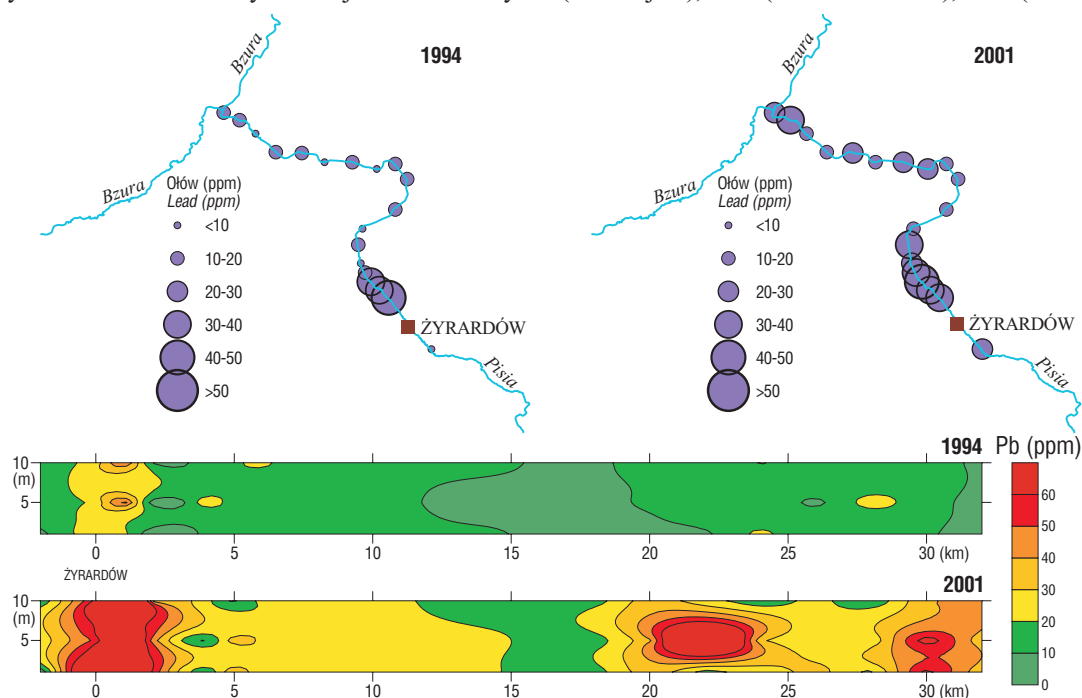


Ryc. 2. Rozkład zawartości miedzi w aluwium i glebach tarasów zalewowych Pisi
 Fig. 2. Copper distribution in alluvium and soils of the flood-plains of Pisia River

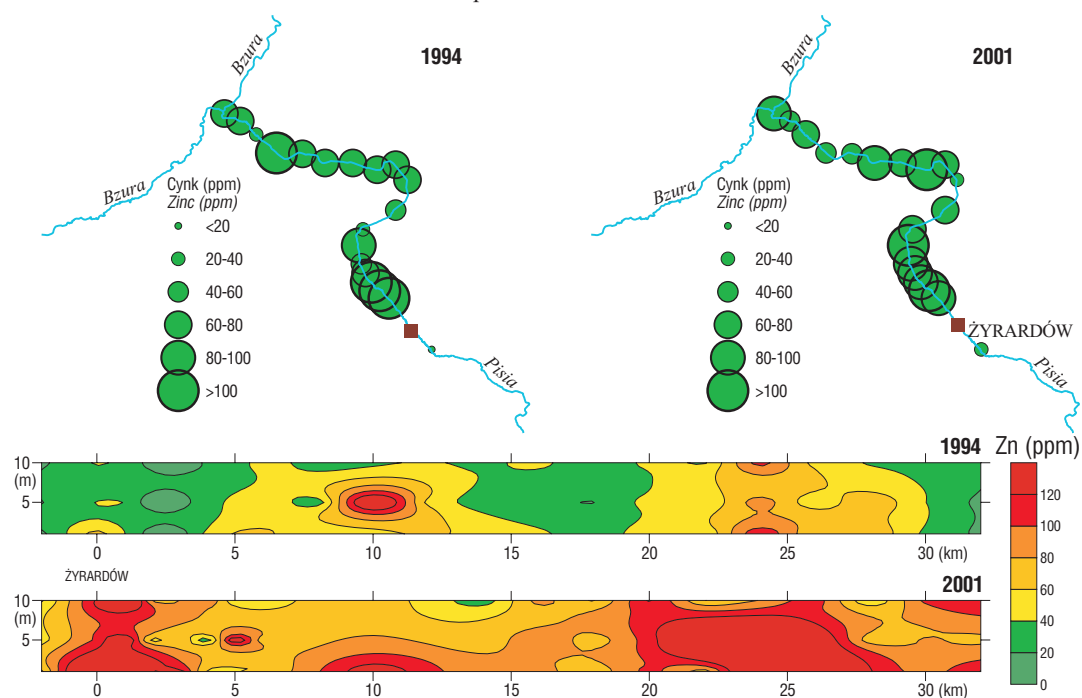
Metody badań

Aby uzyskać wiarygodny obraz zmian i porównać wyniki uzyskane w 1994 i 2001 r. zastosowano analogiczną procedurę analityczną i sposób opróbowania terenu badań (Bojakowska i in., 1995). Do badań pobrano punktowo próbki osadów rzecznych i gleb tarasu zalewowego rzeki. Próbkę osadów rzecznych zostały pobrane czerpakiem z brzegowej strefy koryta rzeki, natomiast próbki glebowe pobierano sondą ręczną o średnicy 80 mm w odległości 1, 5, 10 m od koryta na lewym brzegu rzeki. Pierwszy punkt pomiarowy został zlokalizowany w miejscowości Kory-

tów, poniżej zalewu w Radziejowicach, na wschód od Żyrardowa, gdzie rzeka jest stosunkowo czysta, nie obciążona zanieczyszczeniami przemysłowymi. Wyniki analiz chemicznych z tego punktu mogą więc charakteryzować poziom naturalnego tła geochemicznego gleb i osadów rzecznych Pisi. Drugi punkt pomiarowy znajdował się w miejscu zrzutu ścieków z oczyszczalni w Żyrardowie, a następnie w odległości 1 (Działki), 2 (Działki Małe), 3 (Wisitki), 4 (Nowy Drzewicz), 5 (Stary Drzewicz), 6 (Drybus), 10 (Wyczółki), 12 (Wieś Kościelna), 14 (Kaski-Budki), 16 (Szymanów), 18 (Kawęczyn), 20 (Mikołajew), 22 (Parcele-Bielice), 24 (Duranów), 26



Ryc. 3. Rozkład zawartości cynku w aluwium i glebach tarasów zalewowych Pisi
Fig. 3. Zinc distribution in alluvium and soils of the flood-plains of Pisia River



Ryc. 4. Rozkład zawartości ołowiu w aluwium i glebach tarasów zalewowych Pisi
Fig. 4. Lead distribution in alluvium and soils of the flood-plains of Pisia river

(Andrzejów Duranowski), 28 (Sochaczew), 30 i 32 km w dół rzeki od tego miejsca. Łącznie pobrano 19 próbek osadów rzecznych i 57 próbek glebowych.

Próbki zostały wysuszone w temperaturze pokojowej, a następnie rozkruszone i przesiane do frakcji mniejszej niż 0,2 mm. Frakcja ta dobrze odzwierciedla skład aluwii, gdyż nie zawiera już przypadkowych zanieczyszczeń mechanicznych i okruchów mineralnych. Do analiz zawartości metali ciężkich zastosowano niepełne roztwarzanie próbek poprzez ich traktowanie na gorąco roztworem kwasu solnego o stężeniu 1 : 5. Procedura ta umożliwia ekstrakcję z osadów mobilnej, części zawartości metali ciężkich, ważnej dla oceny stopnia zanieczyszczenia środowiska. Analizy chemiczne wykonano metodą ICP-AES na spektrometrze Philips PV 8050. Ze względu na skład chemiczny zanieczyszczeń zrzuconych do Pisi z ponad 20 oznaczonych pierwiastków wybrano jako najbardziej reprezentatywne: chrom, miedź, ołów, cynk, kobalt, arsen i kadm, analizowane także w 1994 r.

Wyniki badań

Chrom. Aluwia górnego odcinka Pisi (Korytów) charakteryzują się niską zawartością chromu; w próbkach pobranych zarówno w 1994 r., jak i w 2001 r. stwierdzono zaledwie 2 ppm tego pierwiastka. Jest to wartość niższa od średniej dla aluwii rzek Polski wynoszącej 5 ppm (Lis & Pasieczna, 1995). Osady rzeki od Żyrardowa aż do jej ujścia do Bzury wyróżniają się wyraźnie podwyższoną zawartością Cr, znacznie przekraczającą wartość tła geochemicznego. W 1994 r. w osadach rzeki na tym odcinku odnotowano od 10 do 156 ppm Cr (średnio 35 ppm Cr), a w 2001 r. od 12 do 156 ppm Cr (średnio 26 ppm Cr). Nastąpił więc zauważalny spadek koncentracji chromu w osadach rzecznych w badanym okresie. Najczęstszym źródłem wysokich zawartości chromu w osadach rzek, nawet kilkadziesiąt razy wyższych od wartości tła geochemicznego, są ścieki odprowadzane z garbarni (Fuller i in., 1990; Anawar i in., 2000). W efekcie radykalnej redukcji zawartości chromu w ściekach odprowadzanych do Pisi, spowodowanej likwidacją garbarni w Żyrardowie, nastąpiło stopniowe obniżanie stężenia chromu w powstających osadach rzecznych. Charakterystyczne, że w 2001 r. najwyższe stężenia tego pierwiastka znajdowano w punktach znacznie oddalonych od miejsca emisji zanieczyszczeń w Żyrardowie (ryc. 1). Odnotowane wysokie zawartości chromu w osadach w punktach oddalonych od oczyszczalni mogą być spowodowane przemieszczaniem się zanieczyszczonych osadów w korycie rzeki podczas wysokich stanów wód. Mogą być one związane także z wnoszeniem do rzeki ładunków chromu wraz ze spływem powierzchniowym z terenów, które w przeszłości były podczas powodzi zalewane silnie zanieczyszczonymi wodami Pisi.

Obecny rozkład przestrzenny zawartości Cr w osadach, podobnie jak rozkład z 1994 r., nie jest prostą funkcją odległości od dawnego źródła zanieczyszczeń, ale zależy również w istotny sposób od typu osadów wypełniających koryto rzeki. Najwyższe zawartości chromu są związane z odcinkami koryta zawierającymi więcej minerałów ilastych, które silnie sorbuje ten metal i tym samym powodują jego większą retencję w porównaniu z odcinkami koryta wypełnionymi osadami piaszczystymi. W poprzednim okresie, kiedy na dnie rzeki zalegał grubą warstwą osad organiczny, w zatrzymywaniu chromu decydującą rolę odgrywała materia organiczna.

Podobny obraz przedstawia rozmieszczenie chromu w glebach tarasu zalewowego Pisi. Gleby czystego odcinka rzeki w Korytowie charakteryzowały się niewielką ilością chro-

mu (od 4 ppm Cr w 1994 r. do 8 ppm w 2001 r.), zbliżoną do wartości tła geochemicznego. Gleby poziomu powierzchniowego na obszarze Niżu Polskiego zawierają niewielkie ilości tego pierwiastka; wartość mediany chromu w glebach Polski wynosi 3 ppm (Pasieczna, 2003). Począwszy od Żyrardowa, w próbkach gleb stwierdzano znaczny wzrost koncentracji tego pierwiastka do wartości 337 ppm w Skotnikach-Mikołajewie, 240 ppm w Parcelach-Bielicach i 336 ppm w Duranowie — analizy z 1994 r. Jeszcze wyższe wartości odnotowano w 2001 roku: 354 ppm w Szymanowie, 243 ppm w Kawęczynie, 563 ppm w Skotnikach-Mikołajewie, 504 ppm w Parcelach-Bielicach i 206 ppm w Duranowie. Średnia dla próbek glebowych pobranych w 1994 r. wynosi 27 ppm i jest wyraźnie niższa od wartości wyliczonej dla próbek pobranych w 2001 r. wynoszącej 71 ppm. Pokazuje to, że w przeciwieństwie do osadów korytowych, zawartości chromu w glebach tarasu zalewowego rzeki Pisi wzrosły, nastąpiło więc podczas wysokich stanów wód częściowe przemieszczenie tego metalu z koryta rzeki do gleb przyległych obszarów (ryc. 2). Podobnie jak w przypadku osadów korytowych, najwyższe koncentracje chromu obserwowane są w dolnym biegu rzeki, w glebach bogatszych w minerały ilaste — madach lub glebach rozwiniętych na glinach zwałowych.

Miedź. Zawartość miedzi w aluwii Pisi w Korytowie w 1994 r. została określona na 6 ppm, co odpowiada przeciętnej zawartości tego metalu w osadach rzek Polski (Lis & Pasieczna, 1995). W 2001 r. w tym punkcie stwierdzono nieco wyższe, wynoszące 18 ppm koncentracje miedzi. W 1994 r. najwyższą, wynoszącą 68 ppm zawartość miedzi odnotowano w Żyrardowie przy oczyszczalni ścieków (ryc. 2). Źródłem miedzi w ściekach komunalnych i spływie powierzchniowym z terenów miejskich jest najczęściej korozja konstrukcji metalowych (Kelderman i in., 2000). Wyraźnie podwyższone koncentracje tego metalu występowały jeszcze na odcinku kilku kilometrów od Żyrardowa w dół rzeki, by dalej, aż do ujścia spaść do poziomu od kilku do kilkunastu ppm. Rozkład ten uległ zmianie w próbkach badanych w 2001 r. W rejonie Żyrardowa nastąpił dwukrotny spadek zawartości miedzi w aluwii, spowodowany ograniczeniem emisji tego metalu w ściekach. Tym razem najwyższe zawartości miedzi stwierdzono w dolnym biegu rzeki w Kawęczynie, gdzie oznaczono 43 ppm Cu. Podobnie jak w przypadku chromu, można to wiązać z retencją miedzi sorbowanej przez minerały ilaste, obficie występujące na tym odcinku koryta Pisi oraz przemieszczaniem się zanieczyszczonych osadów w korycie rzeki. Choć w ciągu siedmiu lat nastąpił bardziej równomierny rozkład zanieczyszczeń miedzią od Żyrardowa do ujścia rzeki, średnia zawartość tego metalu w aluwii na tym odcinku nie uległa istotnej zmianie (20 ppm w 1994 r. i 24 ppm w 2001 r.).

Gleby tarasu zalewowego Pisi analizowane w 1994 r. zawierały stosunkowo mało miedzi. W glebach w Korytowie odnotowano zaledwie 4–7 ppm Cu i były to zawartości zbliżone do wartości tła geochemicznego. Na przeważającym obszarze Polski zawartość miedzi w glebach nie przekracza 4 ppm (Pasieczna, 2003). Gleby na trasie zalewowym w Żyrardowie charakteryzują się wyższą zawartością do 13–24 ppm Cu. Poniżej Żyrardowa gleby zawierały od kilku do 30–36 ppm — średnio 10 ppm Cu, przy czym najwyższe wartości znaleziono w Skotnikach-Mikołajewie, a więc na glebach cięższych, bogatszych w minerały ilaste. Analizy z 2001 r. wykazały wzrost zawartości miedzi w glebach tarasu zalewowego Pisi na całej jej długości. Już w Korytowie znaleziono 13–74 ppm Cu. W pobliżu oczyszczalni ścieków w Żyrardowie gleba zawiera 51–107 ppm Cu, tzn. dwa, trzy razy więcej niż w 1994 r. Najwyższe zawartości, dochodzące do 137 ppm Cu stwierdzono w Kawęczynie w dolnym biegu rzeki. Średnio, gleby tarasu

Tab. 1. Wyniki badań monitoringowych osadów dennych Pisi w Sochaczewie
 Table. 1. Results of monitoring study of bottom sediments of Pisia River in Sochaczew

Rok Year	As (ppm)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Hg (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
1991	24	2,2	5	263	99	0,50	63	472
1992	<5	4,9	5	405	194	0,53	107	980
1993	<5	0,9	2	55	17	0,09	51	169
1994	<5	3,4	2	57	28	0,20	28	157
1995	<5	1,0	2	109	30	0,42	23	161
1996	<5	<0,5	1	59	14	0,13	11	82
1997	<5	<0,5	1	70	19	0,20	15	118
2000	<5	<0,5	1	16	13	0,196	8	42
2003	<5	<0,5	2	13	10	0,031	12	60

zalewowego zawierały 43 ppm miedzi, czterokrotnie więcej niż przed 7 laty. Wydaje się, że wzrost zanieczyszczeń gleb miedzią ma nieco inne przyczyny niż w przypadku chromu i nie powinien być całkowicie wiązany ze zrzutem przemysłowych ścieków w Żyrardowie. Najprawdopodobniej wiąże się on ze wzrostem zanieczyszczenia środowiska miedzią pochodzenia antropogenicznego na terenie całej zlewni rzeki — dzikie wysypiska śmieci, pozyskiwanie złomu miedzianego poprzez opalanie kabli, coraz częstsze wykorzystywanie w budownictwie wyrobów wykonanych z miedzi, chemizacja rolnictwa itp.

Cynk. Rozkład zawartości cynku w aluwjach i glebach tarasu zalewowego Pisi jest podobny, jak w przypadku miedzi. Osady korytowe rzeki w 1994 r. zawierały średnio 68 ppm Zn. W Korytowie stwierdzono zaledwie 17 ppm tego metalu, a najwyższe koncentracje — 144 ppm Zn występowały w Żyrardowie. Cynk jest powszechnie wprowadzany do środowiska wód powierzchniowych ze ściekami komunalnymi, co wiąże się z ogólnym stosowaniem ocynkowanych rur wodociagowych, blach dachowych i karoseryjnych. Wraz z oddalaniem się od źródła zanieczyszczeń w Żyrardowie zawartości cynku w aluwjach spadały do poziomu kilkudziesięciu ppm, przekraczając tylko w jednym punkcie, w dolnym biegu rzeki, poziom 100 ppm. W próbkach aluwii pobranych w 2001 r. oznaczono podobne ilości cynku, co 7 lat wcześniej (średnio 73 ppm Zn). Jego rozkład był jednak bardziej wyrównany (ryc. 3). Większe niż poprzednio zawartości Zn stwierdzono już w Korytowie (36 ppm), natomiast zmniejszyła się zawartość tego metalu w aluwjach w Żyrardowie. Najwyższa koncentracja cynku — 148 ppm znaleziono w Kaskach-Budkach w dolnym biegu rzeki.

Gleby tarasu zalewowego Pisi analizowane w 1994 r. zawierały średnio 34 ppm Zn zmieniając się od kilkunastu ppm do 173 ppm w punkcie Drybus. Analizy z 2001 r. pokazały wyraźnie podwyższone zawartości cynku na całej długości rzeki (średnio 86 ppm). W kilku punktach dolnego biegu Pisi znaleziono ponad 150 ppm Zn, a w Żyrardowie 203 ppm Zn. Gleby lekkie (piaszczyste) na terenie Polski zawierają średnio 33 ppm Zn, gleby gliniaste lekkie — 52 ppm, a gleby gliniaste — 80 ppm (Kabata i in., 1999).

Ołów. Zawartości ołowiu w aluwjach Pisi w 1994 r. wynosiły średnio 13 ppm. W Korytowie oznaczono w nich tylko 5 ppm Pb, a najwyższe koncentracje — 47 ppm odnotowano w Żyrardowie. Poniżej miejsca zrzutu ścieków w Żyrardowie zawartości ołowiu w aluwjach szybko ulegały redukcji do poziomu nie zagrażającego środowisku. W 2001 r. aluwia tej rzeki zawierały średnio 23 ppm Pb, przy czym wzrost zawartości ołowiu nastąpił na całej długości rzeki (ryc. 4). Najwyższe zawartości ołowiu stwierdzone tuż za Żyrardowem nie odbiegały jednak poziomem od znalezo-

nych 7 lat wcześniej. Uważa się, że na terenach zurbanizowanych głównym źródłem ołowiu w środowisku wodnym jest korozja konstrukcji metalowych pomalowanych farbami zawierającymi ten metal (Davis & Burns, 1999). Istotne dawniej źródło zanieczyszczeń ołowiem, jakim było stosowanie benzyn zawierających czterocylooleń, wobec wycofania ich z użycia, nie odgrywa już dzisiaj żadnej roli.

Niskie były zawartości ołowiu w glebach tarasu zalewowego Pisi analizowanych w 1994 r. Zawartość ołowiu w glebach nie zanieczyszczonych wiąże się głównie z jego koncentracją w skałach macierzystych i w części wschodniej Polski są one niższe od 12 ppm (Pasiczna, 2003). Średnio wynosiły one 12 ppm, sporadycznie, np. w Żyrardowie, przekraczając poziom 20 ppm Pb. W 2001 r. analizy wykazały więcej ołowiu w glebach — średnio 27 ppm. W kilku punktach w Żyrardowie i lokalnie w dolnym biegu rzeki zawartości ołowiu przekraczały nieco wartość 100 ppm.

Arsen. Wykonane analizy wykazały, że aluwia i gleby tarasu zalewowego Pisi nie są zanieczyszczone arsenem. W wynikach badań uzyskanych w 1994 r. zawartości As nie przekraczały w nich 5 ppm. W analizach z 2001 r. nie stwierdzono zawartości arsenu powyżej granicy oznaczalności.

Kadm. Zarówno w aluwjach, jak i glebach tarasu zalewowego Pisi nie stwierdzono znaczącego zanieczyszczenia kadmem. Badane w 1994 r. i w 2001 r. próbki zawierały poniżej 1,5 ppm kadmu. W osadach nie zanieczyszczonych rzek zawartość kadmu mieści się w zakresie 0,04–0,8 ppm (Stoeppler, 1991). W przypadku gleb jedynie w Sochaczewie przy ujściu rzeki gleby wykazywały wyraźnie podwyższony poziom zawartości kadmu dochodzący do 8 ppm Cd. Zawartości kadmu w glebach terenów niezabudowanych jest niższa od 0,5 ppm (Pasiczna, 2003).

Kobalt. Zawartości kobaltu w aluwjach Pisi na całej jej długości były niewielkie i wynosiły 1–3 ppm, zarówno w 1994, jak i w 2001 r. Nie przekraczają one wartości tła geochemicznego dla aluwii rzek Polski. Takie same zawartości kobaltu występują w glebach tarasu zalewowego rzeki. Jedynie w jednym punkcie w dolnym biegu rzeki odnotowano 5 ppm Co. Kobalt jest pierwiastkiem mającym stosunkowo niewielkie zastosowanie w gospodarce komunalnej, dlatego też na obszarach zurbanizowanych nie obserwuje się jego wyższych koncentracji niż wartości tłowe.

Kierunki i przyczyny zmian zawartości metali ciężkich

W rezultacie znacznych zmian gospodarczych na obszarze zlewni rzeki Pisi, które nastąpiły w latach dziewięćdziesiątych, rzeka, która jeszcze w latach osiemdziesiątych, była od Żyrardowa cuchnącym kanałem

ściekowym, niosącym nieprzejrzystą ciecz o barwach zmieniających się w zależności od bieżąco stosowanych technologii w tamtejszych Zakładach Lniarskich i dnie pokrytym grubą warstwą organicznego szlamu, uległa znacznemu oczyszczeniu. Likwidacja wielu uciążliwych zakładów przemysłowych (garbarnie, większość zakładów włókienniczych i innych), skutkująca zmniejszeniem ilości i toksyczności ścieków w połączeniu z modernizacją oczyszczalni ścieków w Żyrardowie wyraźnie poprawiły stan czystości rzeki. Badania monitoringowe osadów Pisi w Sochaczewie prowadzone w ciągu ostatnich kilkunastu lat wykazują znaczący spadek zawartości chromu, miedzi, ołowiu, cynku, kadmu i rtęci w osadach, widoczny od początku lat dziewięćdziesiątych (tab. 1). Ilustrują one rozpoczęty proces samooczyszczania się koryta rzeki Pisi, który stosunkowo szybko doprowadził do rewitalizacji rzeki.

Porównanie zawartości metali ciężkich w aluwiach Pisi analizowanych w 1994 i 2001 r. wskazują, że w przypadku chromu nastąpiła redukcja średniej zawartości metalu w aluwiach, a zawartości miedzi i cynku pozostały na tym samym poziomie, podczas gdy zawartość ołowiu nawet wzrosła, nie osiągając jednak poziomu zagrażającego skażeniem środowiska. W ciągu siedmiu lat nastąpiły wyraźne zmiany w rozmieszczeniu badanych metali w profilu rzeki. Obserwuje się istotny spadek zawartości metali w aluwiach w rejonie Żyrardowa, gdzie jeszcze w 1994 r. znajdowały się najwyższe ich koncentracje i przemieszczenie w dół rzeki, co spowodowało ich bardziej równomierną dystrybucję. Na rozkład przestrzenny metali w osadach ma wpływ zmiana składu fazowego osadów, polegająca na zdecydowanie mniejszym udziale materii organicznej w ich składzie. Retencja metali ciężkich w dolnym biegu rzeki Pisi nie jest tylko efektem ich wymywania i mechanicznego transportu w kierunku ujścia. Ma ona zapewne naturalne przyczyny i wynika z sorpcji metali ciężkich przez minerały ilaste występujące w większych ilościach na tym odcinku koryta rzeki. Procesy te stały się widoczne dopiero po redukcji dopływu zanieczyszczeń w Żyrardowie.

Mniej korzystne trendy stwierdzono w zanieczyszczeniu metalami ciężkimi gleb tarasu zalewowego Pisi. Próbkę gleb pobrane do badań w 2001 r. charakteryzują się widocznym wzrostem zawartości chromu, miedzi, cynku i ołowiu w porównaniu do wyników badań uzyskanych w 1994 r. Zaobserwowany wzrost w zawartości tych pierwiastków jest spowodowany przemieszczaniem zanieczyszczonych osadów zalegających w korycie rzeki podczas sezonowych wylewów i wysokich stanów wód. Zanieczyszczenia te związane z zawiesinami odkładały się w powierzchniowej części profilu glebowego, a zawarte w wodach metale ciężkie były wychwytywane przez koloidy glebowe, minerały ilaste i substancje humusowe. Im cięższa, bardziej urodzajna gleba i dłuższy kontakt z zanieczyszczoną wodą, tym wyższa koncentracja w niej badanych metali.

Zależności te dobrze ilustruje kumulacja metali ciężkich w glebie przy grobli położonej przy ulicy Młyńskiej w Żyrardowie, poniżej zrzutu ścieków z tego miasta. W tym miejscu, na okres kilku jesienno-zimowych miesięcy kampanii cukrowniczej, spiętrzano wodę rzeki, aby następnie odprowadzać ją systemem rur i kanałów do cukrowni w Guzowie, gdzie była wykorzystywana do celów technologicznych. Spiętrzona rzeka zalewała część terenu tworząc niewielki staw, na dnie którego osadzała się warstwa namulów, osuszana po spuszczeniu wody. Pozornie uro-

dzajne mady były w sezonie wiosenno-letnim nawet wykorzystywane rolniczo przez okolicznych mieszkańców. Układ ten od wielu lat już nie funkcjonuje, zaprzestano działalności cukrowni w Guzowie, ale nagromadzone w tamtym okresie metale ciężkie ciągle przekraczają w glebach wszelkie dopuszczalne wartości. Analizy w 2001 r. (w 1994 r. próbki z tego miejsca nie były pobierane) wykazały w glebie zawartości do 2960 ppm chromu, 376 ppm miedzi, 214 ppm cynku i 182 ppm ołowiu. Są to jednocześnie najwyższe koncentracje badanych metali ciężkich, jakie udało się stwierdzić w aluwiach i glebach doliny Pisi.

Uzyskane wyniki pokazują, że znacznie łatwiej dochodzi do naturalnej migracji i rozcieńczenia takich zanieczyszczeń, jak metale ciężkie w korycie rzeki, niż w glebach tarasów zalewowych. Nie można jednocześnie wykluczyć, że zanieczyszczone osady zalegające na dnie Pisi, przykryte obecnie warstwą stosunkowo czystych osadów, mogą w przyszłości w następstwie erozji tych osadów być wtórnym ogniskiem zanieczyszczenia wód rzeki. Także zanieczyszczone metalami ciężkimi gleby mogą stanowić wtórne źródło chromu, miedzi, cynku i ołowiu, które wraz ze spływem powierzchniowym mogą stopniowo przedostawać się do rzeki i akumulować w aluwiach. W przypadku Pisi na proces samooczyszczania się z metali ciężkich nałożył się, widoczny zwłaszcza w przypadku miedzi i ołowiu, wzrost zanieczyszczeń antropogenicznych wywołanych zmianami gospodarczymi w zlewni Pisi np. wzrostem ilości odpadów wytwarzanych przez gospodarstwa domowe i powstawaniem dzikich wysypisk śmieci, rozwojem motoryzacji, budową i remontami mieszkań, rozbudową sieci wodociągowej itd.

Literatura

- ANAWAR, H. M., S. SAFIULLAH & T. YOSHIOKA 2000 — Environmental exposure assessment of chromium and other tannery pollutants at Hazaribagh area, Dhaka, Bangladesh, and health risk. *Jour. Environ. Chem.*, 10: 549–556.
- BOJAKOWSKA I. 1995 — Wpływ odprowadzania ścieków na akumulację metali ciężkich w osadach wybranych rzek Polski. *Państw. Inst. Geol. Instr. Metody Bad. Geol.*, 55: 1–78.
- BOJAKOWSKA I. & GLIWICZ T. 2003 — Wyniki monitoringu geochemicznego osadów wodnych Polski w latach 2000–2003. *Bibl. Monit. Środ.*
- BOJAKOWSKA I. 2003 — Kadm w osadach Wisły – monitoring geochemiczny osadów wodnych Polski. *Zesz. Nauk. Pol. Śl. Górniczo*, 256: 31–36.
- BOJAKOWSKA I., SOKOŁOWSKA G. & LEWANDOWSKI P. 1996 — Metale ciężkie w glebach tarasów zalewowych Pisi. *Prz. Geol.*, 44: 75–77.
- DAVIS A. & BURNS M. 1999 — Evaluation of lead concentration in runoff from painted structures. *Water Research*, 33: 2929–2958.
- FULLER C., DAVIS J., CAIN D., LAMOTHE P., FRIES T., FERNÁNDEZ G, VARGAS J. & MURILLO M. 1990 — Distribution and transport of sediment bound metal contaminants in the Rio Grande de Tracole, Costa Rica (central America). *Water Research*, 24: 805–812.
- KABATA-PENDIAS & PENDIAS H. 1999 — *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN.
- KELDERMAN P., DROSSAERT W., ZHANG MIN, GALIONE L., OKONKOWO L. & CLARISSE I 2000 — Pollution assessment of canal sediments in the city of Delft (the Netherlands). *Water Research*, 34: 936–944.
- LIS J. & PASIECZNA A. 1995 — *Atlas geochemiczny Polski w skali 1 : 50 000*. Państw. Inst. Geol.
- PASIECZNA A. 2003 — *Atlas zanieczyszczeń gleb miejskich w Polsce*. Państw. Inst. Geol.
- SŁOWAŃSKI W., PIECHULSKA-SŁOWAŃSKA B. & GOGOŁEK W. 1994 — *Mapa geologiczna Polski 1 : 200 000*. Państw. Inst. Geol.
- STACHY J. 1986 — *Atlas hydrologiczny Polski, t. II*. IMiGW, Warszawa.
- STOEPLER M. 1991 — Cadmium. [In:] *Metals and their compounds in the environment*. VCH, Weinheim.