

Zapis XX-wiecznej historii zanieczyszczenia rzeki Małej Panwi metalami ciężkimi w jej osadach

Dariusz Ciszewski*, Ireneusz Malik**

Sedimentary record of the Mała Panew River pollution with heavy metals in the 20th century (southern Poland). Prz. Geol., 51: 142–147.

Summary. Heavy metal concentrations have been investigated in vertical profiles of the Mała Panew River sediments, Upper Silesia, southern Poland. Peaks of the Ba, Cd, Cu, Pb and Zn concentrations observed reflect the highest loads of these elements discharged with sewage effluents from chemical plants in Tarnowskie Góry and zinc smelter plants in Miasteczko Śląskie. The known dates of the highest pollution loads allow for fine unit stratigraphy using metal concentrations. The depths of heavy metal peaks of the same age change abruptly between point bar sediments accumulated in actively migrating channel bend. Sediments accumulated at 1960 occur at the depth 130 cm 10 m from the present river channel, whereas at the 50 cm depth—30 m from the channel and at 15 cm depth—45 m from the channel. Moreover, the timing of the pollution with thalium and chromium, which have never been monitored in sewage effluents, has been estimated. The sediment accumulation chronology obtained is supported by the tree age dating and channel changes on the twentieth's century maps.

Key words: river sediments, heavy metals, pollution history, tree age, southern Poland

Badania zmian koncentracji metali ciężkich w profilach pionowych aluwii są prowadzone od początku lat 70. dwudziestego wieku. Zmierzają one do określenia miąższości i stopnia zanieczyszczenia warstw osadów (Swennen & Van der Sluys, 1998; Hindel i in., 1996) oraz ustalenia źródeł i historii ich zanieczyszczenia (Macklin i in., 1994). Zmiany koncentracji metali ciężkich w profilach pionowych mogą być wykorzystywane przy ocenie wieku tych osadów (Knox, 1987). Dzięki datowaniu takich osadów można z kolei odtworzyć zmiany zanieczyszczenia rzeki w okresie ich depozycji (Matschullat i in., 1997).

Datowanie osadów przy wykorzystaniu metali ciężkich polega na skorelowaniu różnic ich koncentracji w profilach pionowych z faktami historii gospodarczej zlewni. Dokładność tego datowania jest uzależniona w dużym stopniu od dynamiki środowiska fluwialnego. W dolinach rzek roztokowych o dużej dynamice, w których koryta często i nieregularnie zmieniają swoje położenie, najczęściej możliwe jest jedynie odróżnienie osadów deponowanych przed i po rozpoczęciu działalności gospodarczej. Datowanie uzupełnia się przez nałożenie na siebie kolejnych edycji map (Miller i in., 1996; Lewin & Macklin, 1987). W osadach rzek meandrujących, różnice koncentracji metali pomiędzy kolejnymi odsypami meandrowymi mogą być skorelowane z zanieczyszczeniem rzeki w czasie ich akumulacji (Bradley, 1989). Pomocą w ich datowaniu, oprócz archiwalnych map, mogą być daty radiowęglowe, analiza pyłkowa lub artefakty. W osadach rzek o mniejszej dynamice np. w lateralnie stabilnych odcinkach, w których koryto jest uregulowane, zmiany koncentracji metali w pionowej sekwencji osadów mogą stosunkowo dobrze odzwierciedlać zmiany zanieczyszczenia na obszarze zlewni (Ciszewski, 2001). W zastoiskach i zagłębieniach bezodpływowych, w których brak erozji i akumulacja osadów jest równomierna w dłuższym okresie, korelacja może być uzupełniana datowaniami ¹³⁷Cs (Winter i in., 2001).

Osady silnie zanieczyszczone, akumulowane w przeszłości, stanowią często wtórne źródło zanieczyszczenia współcześnie płynących wód rzecznych. Przyczyną tego jest mobilizacja metali ciężkich wskutek wahań

zwierciadła wody i kwaśnych opadów atmosferycznych lub erozja osadów (Hudson-Edwards i in., 1998).

Wiek drzew porastających równiny zalewowe służy najczęściej do odtworzenia dat wystąpienia dużych powodzi w zlewniach pozbawionych ciągłych obserwacji stanów wody (Sigafos, 1964). W dolinach rzek meandrowych najczęściej istnieje możliwość wyznaczenia czasu powstania odsypów meandrowych na podstawie porównania przebiegu koryt na różnowiekowych mapach. Dokładne informacje o tych zmianach zawierają mapy sporządzone w XIX i XX w. Czas przyrostu odsypów meandrowych w migrujących lateralnie zakolach rzek jest znacznie rzadziej wyznaczany na podstawie wieku porastających je drzew (Nanson & Beach, 1977). Wiek najstarszego z drzew porastających jednolitą genetycznie powierzchnię odsypu wyznacza minimalny okres funkcjonowania tej powierzchni (Malik, 2002). Od momentu powstania, powierzchnia odsypów meandrowych jest nadbudowywana podczas kolejnych wezbrań, co sprawia, że ich stropowa część jest najczęściej znacznie młodsza niż najstarsze porastające je drzewa (Hupp, 1987).

Celem badań aluwii Małej Panwi było określenie stopnia ich zanieczyszczenia oraz odtworzenie historii zanieczyszczenia rzeki metalami ciężkimi na podstawie zróżnicowania ich zawartości w profilach pionowych.

Obszar badań

Rzeka Mała Panew o długości 132 km wypływa w zachodniej części Wyżyny Śląskiej. Średni przepływ rzeki w środkowym biegu wynosi ok. 10 m³/s. W górnym biegu płynie ona w obniżeniu, wypreparowanym w łąkach kajpru pomiędzy progami gómotriasowym i środkowotriasowym, wypełnionym osadami piaszczystymi kilkunastometrowej miąższości. Również w środkowym i dolnym biegu, na obszarze Równiny Opolskiej, koryto jest wycięte w mało zróżnicowanych piaszczystych osadach fluwioglacjalnych. Jedynie w nielicznych odcinkach w środkowym biegu w korycie są widoczne wychodnie łąk kajpru. Koryto rzeki ma naturalny meandrowy przebieg. Uregulowane jest ono jedynie w dolnym biegu, poniżej zbiornika zaporowego w Turawie oraz na kilkukilometrowym odcinku w pobliżu Kalet (ryc. 1).

Na obszarze zlewni Małej Panwi wydobywano rudy cynku i ołowiu oraz darniowe rudy żelaza. Eksploatację rud cynkowo-ołowianych rozpoczęto w górnej części

*Instytut Ochrony Przyrody, Polska Akademia Nauk, 31-120 Kraków, al. Mickiewicza 33

**Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec; irekgeo@wp.pl

zlewni, w rejonie Tarnowskich Gór, już w XVI w. Po około 100 latach intensywnej eksploatacji płytko leżące złoża zostały wyczerpane i górnictwo podupadło. Ponowny rozwój górnictwa i towarzyszącego mu hutnictwa rozpoczął się pod koniec XVIII w. i trwał do końca XIX w. W tym czasie powstała huta ołowiu i srebra w Strzybnicy, huta żelaza w Tarnowskich Górach, w XX w. przekształcona w Zakłady Chemiczne „Tarnowskie Góry” oraz zakłady celulozowe w Kaletach. Na początku XX w. powstały zakłady celulozowe w Boruszowicach, zakłady przemysłu spożywczego i lekkiego. Najintensywniejszy rozwój przemysłu nastąpił po II wojnie światowej. W tym okresie funkcjonowało wiele zakładów przemysłowych zrzucających ścieki, które zawierały lub mogły zawierać metale ciężkie. Zakłady Chemiczne „Tarnowskie Góry” produkowały półprodukty dla przemysłu włókienniczego i chemicznego: litopon (barwnik cynkowo-barowy), związki baru, kwas borowy, boraks, alumin, siarczan miedzi, cynku i sodu i wiele innych w mniejszych ilościach. W 1968 r. uruchomiono w Miasteczku Śląskim hutę cynku i ołowiu, która szczególnie na początku lat 70. emitowała duże ilości cynku, kadmu i ołowiu. W Tarnowskich Górach istniały także mniejsze zakłady (ryc. 2): przetwórstwa metali nieżelaznych „Zamet”, fabryka urządzeń górniczych „Fazos”, oddziały galwanizacji przy fabryce sprzętu górniczego „Faser”, zakład produkujący silniki elektryczne „Elektrokarbon” i in. (Biernacki, 1983).

Zrzuty ścieków z licznych zakładów przemysłowych skupionych w górnej części zlewni w rejonie Tarnowskich

Gór, spowodowały silne zanieczyszczenie wód i osadów dennych niemal na całej długości Małej Panwi oraz jej dopływów: Stoły i Granicznej Wody. Przeprowadzone w latach 70. badania wykazały, że koncentracje baru, kadmu, miedzi, ołowiu i cynku w osadach dennych wielokrotnie przekraczają wartości naturalne, osiągając odpowiednio: 2500 ppm, 116 ppm, 200 ppm, 490 ppm i 5000 ppm (Pasternak, 1974). Koncentracja kadmu, jedna z najwyższych w osadach dennych w Polsce, oraz duże ilości cynku i ołowiu zostały także potwierdzone przez monitoring osadów rzecznych prowadzony od początku lat 90. (Bojakowska & Sokołowska, 1994, 1996; Bojakowska & in., 1998). Wieloletnia emisja pyłów, szczególnie wokół Huty Cynku „Miasteczko Śląskie” oraz Zakładów Chemicznych „Tarnowskie Góry” spowodowała również zanieczyszczenie gleb w promieniu kilku kilometrów od nich: kadmem powyżej 30 ppm, ołowiem ponad 800 ppm i cynkiem ponad 1600 ppm. W glebach w górnej części zlewni koncentracje baru, kadmu, miedzi, ołowiu i cynku przekraczają wielokrotnie wartości średnie dla gleb Górnego Śląska. Wartości te są z kolei, znacznie wyższe niż tło geochemiczne dla obszaru Polski i wynoszą odpowiednio 54; 1,4; 7; 53 i 121 ppm (Lis & Pasieczna, 1995).

Metody badań

Zawartość metali ciężkich była badana w aluwjach górnego biegu Małej Panwi, w porośniętym lasem zakolu rzeki pomiędzy Krupskim Młynem a Kielczą, ok. 6 km poniżej ujścia Stoły. Trzy profile zostały zlokalizowane w zwiększającej się odległości od brzegu rzeki, ok. 10, 30 i 45 m oraz jeden profil w odsłonięciu brzegowym po przeciwnej stronie rzeki (ryc. 3).

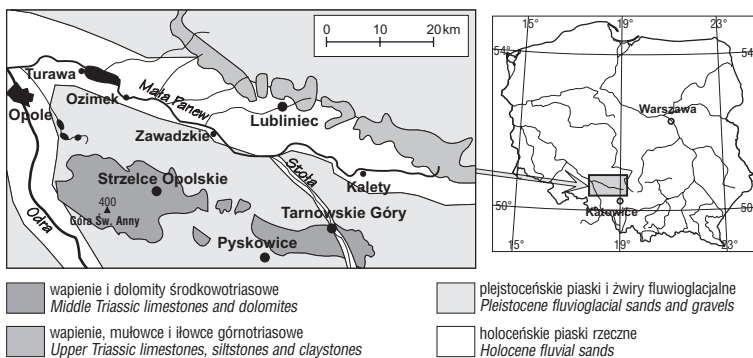
Profile znajdują się w wypełnieniach koryt tworzących powierzchnie oddzielone od siebie krawędziami naśladującymi ich przebieg. Profile te w momencie poboru próbek sięgały poziomu zwierciadła wody. Ich miąższość waha się od ok. 2 m w profilu C_I, 1,5 m w C_{IV}, 1,2 m w C_{II} do 1 m w C_{III}. W każdym z profili pobrano 15–24 próbki w przedziale od 3–20 cm. W stropie profili próbki pobierano gęściej. W miejscach, gdzie warstwowanie było widoczne gęstość pobranych próbek była uzależniona od miąższości warstw.

Próbki były suszone w 105°C i następnie przesiewane przez sito polietylenowe 0,063 mm. Następnie 0,5 g osadów frakcji <0,063 mm było ekstrahowane w bombach teflonowych w 10 ml HNO₃ z dodatkiem 2 ml H₂O₂, a następnie filtrowane i dopełniane do 50 ml. Koncentracje Ba, Cd, Cr, Cu, Pb, Tl i Zn były oznaczane metodą ICP MS. Wiek osadów w zakolu określono trzema metodami:

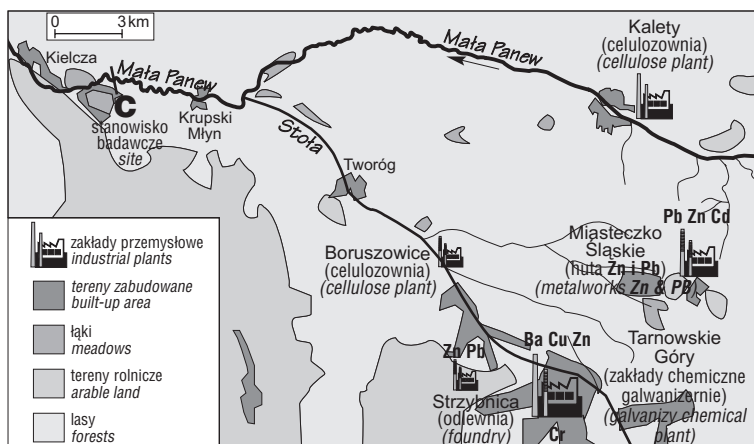
— porównując przebieg koryta Małej Panwi na mapach z 1912 i 1983 r.

— na podstawie wieku najstarszych drzew porastających powierzchnie paleokoryt, na których zlokalizowano profile. Wiek drzew wyznaczał najpóźniejszą datę, w której mogło nastąpić odcięcie koryta i rozpocząć się zasypywanie go osadami facji pozakorytowej. Rdzenie odwiercano z pni drzew świdrem Presslera, a następnie zliczano przyrosty roczne (Schweingruber, 1988; Malik, 2002).

— przez korelację pików koncentracji metali w osadach z okresami maksymalnego natężenia

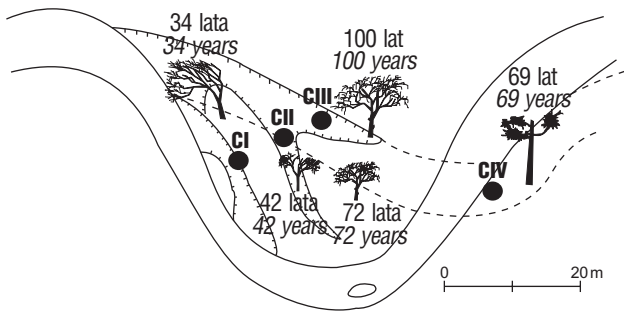


Ryc. 1. Położenie doliny Małej Panwi
Fig. 1. Location of the Mała Panew River valley



Ryc. 2. Rozmieszczenie zakładów przemysłowych w górnej części zlewni Małej Panwi

Fig. 2. Location of industrial plants in the upper part of the Mała Panew River drainage basin



Ryc. 3. Miejsce poboru próbek oraz wiek drzew porastających badaną równinę zlewniową Małej Panwi

Fig. 3. Sampling sites and age of trees overgrowing the investigated Mała Panew River floodplain

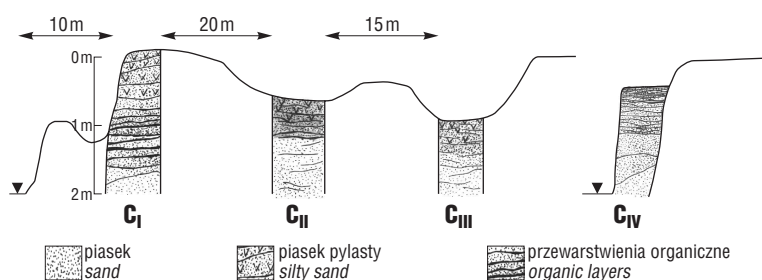
nia produkcji lub zrzutów zanieczyszczeń na obszarze zlewni.

Osady i ich zanieczyszczenie

Mimo, że miąższość profili jest silnie zróżnicowana występuje w nich podobne następstwo warstw. W spągowej części występują niewarstwowane lub słabo warstwowane osady piaszczyste przechodząc w części stropowej w piaszczyste osady z przewarstwieniami o bardzo dużej zawartości substancji organicznej. Najwyraźniej przejście takie jest widoczne w odsłonięciu brzegowym C_{IV} na głębokości ok. 70 cm (ryc. 4). W stropowej części tego odsłonięcia występuje seria naprzemianległych coraz cieńszych ku górze, jasnych warstw piaszczystych i czarnych organicznych. Warstwy przypowierzchniowe mają miąższość kilka milimetrów, a na głęb. 50–70 cm — kilka centymetrów. W spągu występują osady piasków średnio- i gruboziarnistych.

W najbardziej oddalonym od koryta profilu C_I warstwowanie jest stosunkowo słabo widoczne. Wyraźnie wyższa zawartość substancji organicznej występuje w warstwie 0–26 cm. Poniżej występują jaśniejsze przewarstwienia piaszczyste, a w spągu jasny, niewarstwowany piasek średnioziarnisty. W profilu C_{II} warstwa silnie organiczna ma miąższość ok. 10 cm, a poniżej występują brunatne, zabarwione tlenkami Fe, niewyraźnie warstwowane osady piaszczysto-pylaste. Na głębokości poniżej 110 cm, w poziomie, w którym występowało zwierciadło wody, widoczne są wytrącenia tlenków i wodorotlenków Fe. Pomiędzy profilem C_I a głównym korytem funkcjonuje koryto przelewowe. Wyraźnie warstwowane osady piaszczyste występują w górnej jego części 0–80 cm, natomiast w dolnej — są one słabo warstwowane. W całym profilu wkładki organiczne są cienkie — do 1 cm, a warstwy mineralne mają przeciętnie kilkanaście cm miąższości.

Badana frakcja pylasta jest transportowana w zawiesinie nawet przy niskich stanach wody i ma dużą zdolność



Ryc. 4. Profile badawcze w osadach rzeki Małej Panwi

Fig. 4. Investigated profiles in the Mała Panew River sediments

sorpcji związków metali ciężkich. Dzięki tym właściwościom frakcja ta jest wysokiej czułości wskaźnikiem zanieczyszczenia rzeki. Koncentracje metali występujące w tych osadach są bardzo wysokie, chociaż są widoczne wyraźne różnice zarówno pomiędzy warstwami, jak i pomiędzy profilami. Maksymalna koncentracja kadmu przekracza 1000 razy wartość tła geochemicznego, cynku — 200 razy, ołowiu — 150 razy, baru — 140 razy, miedzi — 40 razy, a chromu — 25 raz (ryc. 5). Bardzo wyraźnie są różnice miąższości zanieczyszczonej warstwy pomiędzy profilami. Najgrubsza występuje w profilu C_I i ma miąższość 140 cm. Koncentracje pierwiastków, z wyjątkiem kadmu i ołowiu, wzrastają w niej kilkudziesięciokrotnie, maksymalne wartości osiągając w warstwie 0–30 cm (Pb, Cr, Cd, Tl) lub 30–70 cm (Ba, Cu). Widoczne są również dwa maksima cynku na głębokości ok. 50 cm i 120–140 cm. W profilu C_{II} warstwa silnie zanieczyszczona ma ok. 50 cm, chociaż koncentracja kadmu, ołowiu i cynku jest wyższa od naturalnej już od spągu. Najgwałtowniej wzrasta koncentracja baru, miedzi i cynku. Maksymalna koncentracja chromu, kadmu, ołowiu i talu występują na głęb. 0–20 cm — wyżej niż cynku, baru i miedzi i są podobne, jak w profilu C_I położonym bliżej koryta. W profilu C_{III} wysoka zawartość wszystkich pierwiastków występuje jedynie w warstwie 0–15 cm, a ich wzrost jest również gwałtowny. Wyjątkiem są koncentracje ołowiu, kadmu i cynku, które w spągu profilu są podniesione i wynoszą odpowiednio ok. 150–200 ppm, 2–8 ppm i 300–400 ppm. Maksymalna koncentracja badanych pierwiastków jest w profilu C_{III} o ok. 30–50% niższa niż w profilu C_I i C_{II} i trudniej jest też rozróżnić maksima metali. W profilu C_{IV} gwałtowny wzrost koncentracji miedzi, kadmu, baru i cynku w górnej części profilu pokrywa się z pojawieniem się wyraźnego warstwowania na głęb. 70 cm. Wzrost koncentracji miedzi jest 5-krotny, kadmu 6-krotny, cynku 10-krotny, a baru aż 36-krotny. Maksima kadmu, chromu, ołowiu i talu na głębokości 0–40 cm występują, podobnie jak w profilach C_I i C_{II} powyżej maksima baru i cynku i są one podobnej wysokości, jak w profilu C_I.

Rekonstrukcja historii akumulacji osadów

Porównanie przebiegu koryta z początku XX w. i współczesnego oraz występowanie coraz młodszych drzew od górnej do dolnej części zakola wskazuje, że koryto Małej Panwi w ciągu ok. 100 lat przesunęło się o ok. 50 metrów (ryc. 3). Przebieg koryta z początku XX w. jest wyraźnie widoczny w rzeźbie powierzchni zakola. Wyznacza go krawędź starszej powierzchni — niewyraźna w górnej części zakola i stroma, o wysokości ok. 2 m, w jego dolnej części. Profil C_{III} znajduje się w wypełnieniu tego koryta. Mapa wskazuje, że osady w nim występujące pochodzą sprzed 1912 r. Jednak wiek dębu (*Quercus robur*), najstarszego drzewa rosnącego przy krawędzi wypełnienia liczącego 100 lat, sugeruje, że osady mogły zacząć akumulować się tam już od ok. 1900 r. Górną granicę inicjalnej akumulacji osadów w tym starorzeczu określa wiek najstarszego dębu (*Quercus robur*) porastającego sąsiadującą z nim powierzchnię na 1929 r. Ponieważ koryto przesunęło się, w 1929 r. nie mogło ono już znajdować się w położeniu widocznym na ryc. 3 (linie przerywane). Profil C_{II} jest zlokalizowany w wypełnieniu starorzecza, powstałym niewątpliwie po 1929 r. Jego dno jest ograniczone niewyraźnymi krawędziami od zasypywanej w czasie powodzi powierzchni zakola.

Najstarszym drzewem rosnącym w tym wypełnianym stopniowo starorzeczu jest 43-letni wiąz (*Ulmus effusa*). Jego wiek wskazuje, że koryto w tym miejscu przestało funkcjonować przed 1958 rokiem, a więc osady w spagu są starsze. Profil C_1 jest zlokalizowany w wale piaszczystym, przy wyraźnie widocznej, ponad metrowej krawędzi. Duża miąższość osadów w tym miejscu może wynikać z erozji a następnie depozycji materiału przy brzegu okresowego koryta, funkcjonującego tylko w czasie wezbrań. Szybki przyrost osadów w górnej części tej powierzchni prawdopodobnie uniemożliwił wzrost drzew.

Grupa kilkunastu olch (*Alnus glutinosa*) rośnie w najniższej położonej części tej samej wiekowo powierzchni. Najstarsza z nich ma 35 lat, więc odsyp, w którym znajduje się profil C_1 pochodzi sprzed 1967 r. Osady w profilu C_{IV} , z racji swojego położenia przez prawie 100 lat w bezpośrednim sąsiedztwie koryta, mogły być akumulowane w czasie wszystkich powodzi. Początki akumulacji piasków gruboziarnistych, będących utworem facji korytowej, miały miejsce niewątpliwie przed 1932 r., na co wskazuje wiek (ryc. 3) rosnącej w pobliżu sosny (69 lat), jednak nie wcześniej niż w 1912 r., jak wynika z analizy map. Osady w tym profilu były deponowane w podobnym okresie, jak w profilu C_{III} . Zróznicowana miąższość osadów zanieczyszczonych w obu profilach wskazuje, że ich przyrost był uzależniony od odległości względem koryta rzeki w okresie ostatnich 100 lat. Bardziej szczegółowe określenie wieku warstw można osiągnąć dzięki korelacji maksymalnych koncentracji metali z wielkością produkcji na obszarze zlewni.

Najwyraźniej jest widoczna różnica koncentracji baru w osadach dużej miąższości, akumulowanych w stosunkowo krótkim okresie w profilu C_1 (ryc. 5). Pierwiastek ten był niewątpliwie zrzucany wyłącznie wraz ze ściekami z Zakładów Chemicznych „Tarnowskie Góry”. Bar może pojawiać się w osadach Małej Panwi od 1922 r., kiedy to w zakładach chemicznych w Tarnowskich Górach rozpoczęła się produkcja jego związków. Produkcja ta wzrosła dwukrotnie, do ok. 6000 t rocznie, po rozbudowie zakładów w 1959 r. Ponowny wzrost produkcji do ok. 20 tysięcy t rocznie nastąpił po zakończeniu dalszej rozbudowy zakładu w roku 1967. Wzrost koncentracji baru na głęb. 140 cm jest więc spowodowany wzrostem produkcji w 1959 r., a warstwa osadów na głęb. 120–140 cm osadziła się ok. 1960 r. Duża produkcja związków baru, w latach 1970–1985, wahająca się w granicach 20 000–25 000 t rocznie, pozwala skorelować wyrównaną, wysoką koncentrację Ba na głęb. 40–100 cm z tym właśnie okresem. Do 1968 r. zakład nie miał oczyszczalni ścieków, dlatego też wzrost koncentracji baru w osadach jest proporcjonalny do zmian wielkości produkcji w zakładach. Wysoka koncentracja baru w osadach akumulowanych w latach 70. wskazuje również, że otwarta już oczyszczalnia nie działała prawidłowo i nie miała dużego wpływu na zawartość jego związków w wypływających ściekach.

Wiek osadów, określony na podstawie zmian zawartości baru, potwierdza także występowanie maksimum cynku na głęb. 120–140 cm, który jest związany z produkcją siarczanu cynku (ryc. 5). Maksymalną jego ilość, ok. 800 t rocznie produkowano ok. 1960 r. Następnie, w ciągu kilku lat, produkcja została całkowicie zatrzymana. W Zakładach Chemicznych „Tarnowskie Góry” rozpoczęto również w 1954 r. wytwarzanie siarczanu miedzi w ilości 1400 t rocznie. Jego produkcja wzrosła w latach 60. i w latach 1970–1985 wahała się w granicach 2000–3000 t rocznie. Zmiany produkcji siarczanu miedzi są bardzo zbliżone do zmian produkcji związków baru, dlatego też

zróznicowanie koncentracji miedzi w profilu C_1 jest bardzo podobne do różnic koncentracji baru.

W profilu C_1 występuje także bardzo wyraźne maksimum cynku na głębokości ok. 50 cm oraz drugi, znacznie mniejszy, 20 cm powyżej. Daty tych warstw osadów uzyskane dzięki zmianom zawartości baru i miedzi wskazują, że są one związane z produkcją mającą miejsce pomiędzy 1967 i 1985 rokiem. W tym okresie nastąpiły zrzuty najbardziej zanieczyszczonych ścieków z huty cynku w Miasteczku Śląskim. Huta rozpoczęła produkcję cynku i ołowiu w październiku 1968 r. W początkowych 5 latach działalności huta zrzuciła do Małej Panwi ponad 1 mln m³ ścieków rocznie za pośrednictwem potoku Graniczna Woda i rzeki Stoły. Wielkość zawartego w nich ładunku cynku wzrastała gwałtownie do co najmniej 80 t w 1974 roku. W ciągu następnych dwóch lat wielkość ta spadła ponad dwukrotnie. Ponowny wzrost do podobnej wielkości nastąpił jeszcze raz w 1980 r. i był spowodowany rozbudową zakładu i prawie dwukrotnym zwiększeniem produkcji. Maksimum koncentracji cynku na głębokości ok. 50 cm występuje więc w osadach akumulowanych w połowie lat 70., a na głęb. 30 cm — ok. 1980 r. W latach 70. wraz ze ściekami z huty zrzucano również bardzo duże ilości kadmu, w granicach od 3 do ponad 6 ton rocznie. Maksimum koncentracji cynku (środkowy) w profilu C_1 pokrywa się z maksimum koncentracji kadmu w warstwie 30–50 cm.

Najwyraźniejsze we wszystkich profilach jest maksimum koncentracji ołowiu (ryc. 5). Jego występowanie jest bardzo dobrze skorelowane z maksymalnym ładunkiem tego pierwiastka w ściekach zrzucanych z huty w 1980 r. W ciągu dwóch lat ładunek ołowiu zwiększył się z 3–6 t zrzucanych w latach 70. do ponad 18 t, a w ciągu następnych dwóch lat zmniejszył się 4,5-krotnie. W następnych latach odnotowano szybkie ograniczenie ilości zrzucanych z huty ścieków oraz ładunków cynku, kadmu i ołowiu. Od 1989 r. ilości zrzucanych rocznie ścieków wahają się w granicach kilkudziesięciu tysięcy m³, a cynku, kadmu i ołowiu od kilku do kilkudziesięciu kilogramów. Spadek koncentracji badanych metali ciężkich w osadach deponowanych od połowy lat 80. we wszystkich profilach odzwierciedla zmniejszanie się zrzucanego do rzeki ich ładunku.

Dzięki określeniu wieku kilku maksimum metali w osadach profilu C_1 , można odtworzyć historię ich akumulacji. Około 1960 r. powstały osady na głęb. 130 cm, ok. 1970 r. na głęb. 70 cm i ok. 1980 r. na głęb. 30 cm. Datowanie osadów na ok. 1990 r. jest mniej pewne, prawdopodobnie znajdują się one na głęb. 10 cm. Daty uzyskane za pomocą koncentracji metali ciężkich w osadach Małej Panwi nie są sprzeczne z datami uzyskanymi na podstawie wieku drzew. Powstanie inicjalnego odsypu meandrowego nastąpiło nie tylko przed 1967 r., ale także przed 1960 r. Mógł on więc powstać nawet kilkanaście lat przed pojawieniem się najstarszego rosnącego dziś drzewa.

Podobna sekwencja maksymalnych koncentracji metali ciężkich, jak w profilu C_I jest widoczna także w pozostałych profilach. Ponieważ jednak warstwa osadów zanieczyszczonych ma w nich znacznie mniejszą miąższość i była akumulowana w innej odległości od brzegu rzeki, wielkości bezwzględne oraz głębokość położenia wartości maksymalnych różnią się znacząco. Ekstremalne koncentracje ołowiu pozwalają na najpewniejsze datowanie osadów na ok. 1980 r. — w profilu C_{II} znajdujących się na głęb. 5–10 cm. Charakterystyczne, współwystępujące maksima cynku i kadmu na głęb. ok. 20 cm w tym profilu wskazują, że osady te powstały w latach 70. Interesujący jest brak maksimum Zn, analogicznego jak w profilu C_1 , przypadającego na ok. 1960 r. Niemniej jednak, gwałtownie

ny wzrost koncentracji baru i miedzi na głęb. ok. 50 cm potwierdza podobny wiek tych osadów — być może warstwa o wysokiej zawartości cynku była erodowana. W profilu C_{II} brak jest osadów deponowanych w latach 90. lub jest to warstwa 0–3 cm.

Gwałtowny wzrost koncentracji baru, miedzi i cynku na głębokości ok. 15 cm w profilu C_{III} wskazuje (ryc. 5), że akumulacja wyżej znajdującej się warstwy osadów nastąpiła po 1960 r. Można przypuszczać również, że ok. 1970 r. powstała warstwa osadów na głębokości 5–10 cm. Najwyraźniej, po tym roku akumulacja była bardzo niewielka ze względu na zwiększającą się z czasem odległość koryta rzeki od tego miejsca.

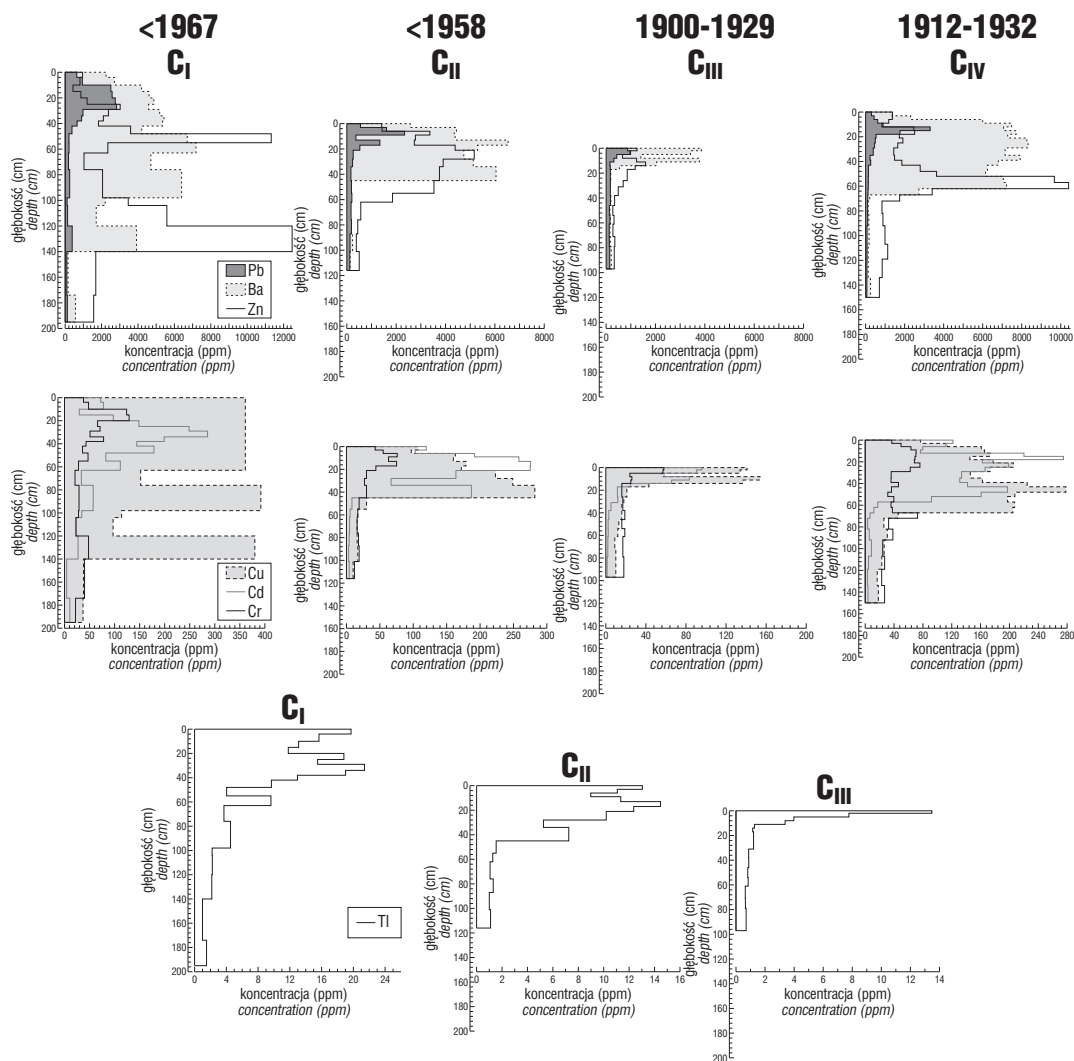
Na ciągłą akumulację osadów w profilu C_{IV} w II połowie XX w. wskazuje zarówno bezpośrednie sąsiedztwo tego miejsca z korytem na obydwóch mapach, jak i bardzo podobne następstwo maksimum do obserwowanego w osadach akumulowanych w tym samym czasie w profilu C_I. Wzrost koncentracji miedzi na głęb. 70 cm (ok. 1954 r.) poprzedza wzrost koncentracji baru i cynku na głębokości ok. 60 cm (ok. 1960 r.). Minimalne koncentracje cynku i kadmu na głębokości ok. 40 cm poprzedzające ich znaczący wzrost przypadają na ok. 1970 r., maksimum ołowiu na głęb. ok. 20 cm przypada na 1980 r., a gwałtowny spadek koncentracji baru na głęb. 5–8 cm może sugerować około 1990 r. Podobnie jak w profilu C_I, wiek drzew

rosnących w pobliżu profili C_{II}–C_{IV} jest zgodny z interpretacją wieku osadów uzyskaną dzięki datowaniom metalami ciężkimi.

Zmiany koncentracji omówionych metali w osadach pozwalają także na ustalenie okresu zanieczyszczenia talem i chromem — pierwiastkami, których wielkość produkcji i zawartość w ściekach jest nieznana. Wysoka korelacja występowania talu z kadmem z równoczesnym maksimum w latach 70. wskazuje, że pochodził on z huty w Miasteczku Śląskim i był uwalniany w czasie przetwarzania rud cynku zawierających znacznie podniesione zawartości tego pierwiastka. Wzbogacenie w chrom osadów akumulowanych na przełomie lat 70. i 80. może natomiast być związane z funkcjonowaniem galwanizerni działających w tym czasie na terenie Tarnowskich Gór.

Podsumowanie

Maksymalne koncentracje metali ciężkich występują w zbliżonej pionowej sekwencji we wszystkich badanych profilach. Pozwala to przypuszczać, że przeważająca ich część w osadach nie uległa istotnej postsedymentacyjnej migracji. Zawdzięczają to prawdopodobnie stosunkowo wysokiemu położeniu datowanych osadów ponad poziomem najczęstszych wahań poziomu wody, a także stosunkowo krótkiemu, ok. 40-letniemu, okresowi ich zgromadzenia



Ryc. 5. Koncentracja metali ciężkich w badanych profilach
Fig. 5. Heavy metal concentrations in investigated profiles

w tych osadach. Umożliwiło to odtworzenie historii zanieczyszczenia rzeki metalami ciężkimi.

Rzeka Mała Panew była znacząco zanieczyszczona cynkiem, kadmem i ołowiem już na początku XX w. Jednak gwałtowny wzrost zanieczyszczenia nastąpił od końca lat 50. i szybko wzrastał bez żadnego przeciwdziałania w latach 60. Największe zanieczyszczenie rzeki notowano w latach 70. i I połowie lat 80. Zanieczyszczenie rzeki cynkiem, kadmem, ołowiem, barem i miedzią należało do najwyższych w Polsce i niewątpliwie także w Europie. Spadek koncentracji wszystkich badanych metali od połowy lat 80. jest związany zarówno ze zmniejszeniem lub nawet przerwaniem produkcji w Zakładach Chemicznych „Tarnowskie Góry”, ale także z wprowadzeniem znaczących i kosztownych inwestycji proekologicznych w hucie w Miasteczku Śląskim, oraz innych zakładach zlokalizowanych na terenie Tarnowskich Gór.

Literatura

- BIERNACKI W. 1983 — 60 lat Zakładów Chemicznych „Tarnowskie Góry”. Wyd. Zakł. Chem. „Tarnowskie Góry”.
- BOJAKOWSKA I. & SOKOŁOWSKA G. 1994 — Wyniki monitoringu geochemicznego osadów wodnych Polski w latach 1991–1993. Bibliot. Monitor. Środ. PIOŚ, Warszawa.
- BOJAKOWSKA I. & SOKOŁOWSKA G. 1996 — Wyniki monitoringu geochemicznego osadów wodnych Polski w latach 1994–1995. Bibliot. Monitor. Środ. PIOŚ, Warszawa.
- BOJAKOWSKA I., GLIWICZ T. & SOKOŁOWSKA G. 1998 — Wyniki badań monitoringu geochemicznego osadów wodnych Polski w latach 1996–1997. Bibliot. Monitor. Środ. PIOŚ, Warszawa.
- BRADLEY S. 1989 — Incorporation of metaliferous sediments from historic mining into river floodplains. *GeoJournal*, 19: 5–14.
- CISZEWSKI D. 2001 — Możliwości i problemy zastosowań metali ciężkich w datowaniu osadów aluwialnych na przykładzie środkowej Odry. *Czas. Geogr.*, 72: 53–69.
- HINDEL R., SCHALICH J., DE VOS, W., EBBING J., SWENNEN R. & VAN KEER I. 1996 — Vertical distribution of elements in overbank sediment profiles from Belgium, Germany and The Netherlands. *Jour. Geochem. Explor.*, 56: 105–122.
- HUDSON-EDWARDS K.A., MACKLIN M.G., CURTIS C.D. & VAUGHAN D.J. 1998 — Chemical remobilization of contaminant metals within floodplain sediments in an incising river system: implications for dating and chemostratigraphy. *Earth Surf. Proc. Landf.*, 23: 671–684.
- HUPP C.R. 1987 — Botanical evidence of floods and paleoflood history. [In:] Singh V.P. (ed.) *Regional flood frequency analysis*. Reidel, Dordrecht: 335–369.
- KNOX J.C. 1987 — Historical valley floor sedimentation in the upper Mississippi valley. *Ann. Ass. Am. Geogr.*, 77: 224–244.
- LEWIN J. & MACKLIN M. 1987 — Metal mining and floodplain sedimentation in Britain. [In:] Gardiner V. (ed.) *Intern. Geomorphology 1986*, part 1: 1009–1027.
- LIS J. & PASIECZNA A. 1995 — Atlas geochemiczny Górnego Śląska 1 : 200 000. Państw. Inst. Geol.
- MACKLIN M., RIDGWAY J., PASSMORE D.G. & RUMSBY B.T. 1994 — The use of overbank sediment for geochemical mapping and contamination assessment: results from selected English and Welsh floodplains. *Appl. Geochem.*, 9: 689–700.
- MALIK I. 2002 — Rekonstrukcja tempa migracji bocznej koryta rzeki Małej Panwi na podstawie datowań drzew i kłód. *Prz. Geol.*, 50: 454–457.
- MATSCHULLAT J., ELLMINGER F., AGDEMIR N., CRAMER S., LIEBMAN W. & NIEHOF N. 1997 — Overbank sediment profiles — evidence of early mining and smelting activities in the Harz mountains, Germany. *Appl. Geochem.*, 12: 105–114.
- MILLER J.R., ROWLAND J., LECHLER P.J., DESSILETS M. & HSU L. 1996 — Dispersal of mercury-contaminated sediments by geomorphic processes, Sixmile Canyon, Nevada, USA: Implications to site characterization and remediation of fluvial environments. *Water, Air Soil Pollut.*, 86: 373–388.
- NANSON G.C. & BEACH H.F. 1977 — Forest succession and sedimentation on a meandering-river floodplain, northeast British Columbia, Canada. *Jour. Biogeogr.*, 4: 229–251.
- PASTERNAK K. 1974 — The influence of the pollution of a zinc plant at Miasteczko Śląskie on the content of microelements in the environment of surface waters. *Acta Hydrobiol.*, 16: 273–297.
- SCHWEINGRUBER F.M. 1988 — Tree rings. Basics and applications of dendrochronology. Kluwer, Dordrecht.
- SIGAFOOS R.S. 1964 — Botanical evidence of floods and flood-plain deposition. *USGS Prof. Pap.*, 485-A: 1–33.
- SWENNEN R. & VAN DER SLUYS J. 1998 — Zn, Pb, Cu and As distribution patterns in overbank and medium-order stream sediment samples: their use in exploration and environmental geochemistry. *Jour. Geochem. Explor.*, 65: 27–45.
- WINTER L.T., FOSTER I D.L., CHARLESTWORTH S.M. & LEES J.A. 2001 — Floodplain lakes as sinks for sediment associated-contaminants — a new source of proxy hydrological data? *Sc. Tot. Environ.*, 266: 187–194.