

Wpływ wezbrań na zmiany koncentracji metali ciężkich w osadach dennych Białej Przemszy

Dariusz Ciszewski*

Badania zmian koncentracji metali ciężkich w osadach dennych, wywołanych wezbrzeniami, zostały przeprowadzone na Białej Przemszy. Rzeka ta, płynąca we wschodniej części Wyżyny Śląskiej jest zanieczyszczona ściekami z kopalni rud Zn–Pb. Koncentracje Zn, Cd i Pb w próbkach pobranych w sierpniu 1993 roku zostały porównane z uzyskanymi po powodzi w lipcu 1997 r. Próbkę były pobierane trzykrotnie: w sierpniu 1997, listopadzie 1997 i po wezbraniu o ok. 2–3 letniej powtarzalności w marcu 1998. Ekstremalna powódź spowodowała ok. 3-krotny spadek koncentracji metali ciężkich we frakcji <1 mm na całej ok. 40 km długości badanego odcinka. W okresie od sierpnia 1997 do marca 1998 obserwowano natomiast stopniowy wzrost koncentracji badanych pierwiastków. Po wezbraniu zbliżonym do pełnokorytowego, koncentracje metali ciężkich zmniejszyły się w dolnym biegu Białej Przemszy, a w pobliżu dopływu wód z kopalni do rzeki zanotowano ich wzrost. Obserwowane zmiany wskazują, że w silnie zanieczyszczonym systemie rzeczonym wezbrania zarówno małe jak i duże powodują stosunkowo krótkotrwałą poprawę jakości osadów dennych.

Słowa kluczowe: metale ciężkie, osady rzeczne, zanieczyszczenie, Górną Śląsk

Dariusz Ciszewski — **Flood-related changes of heavy metal concentrations in the Biała Przemsza River bottom sediments (SW Poland).** Prz. Geol., 47: 993–998.

S u m m a r y. Flood-related changes of heavy metal concentrations in channel sediments were investigated on the Biała Przemsza River, southern Poland, which is affected by lead and zinc mining. Concentrations of Zn, Pb and Cd in samples taken in August 1993 were compared with those in samples picked up after a 100 year flood in July 1997. Sampling was repeated three times: in August 1997, November 1997 and after a 2–3 year flood in March 1998. The extreme flood caused 3-fold decrease of heavy metal concentrations in fraction <1 mm over the whole investigated, 40 km long, river reach. The following period (August 1997–March 1998) was characterised by a progressive recovery of concentrations to the level observed in 1993. After the small flood, approximating the bankfull discharge, the heavy metal content was reduced in the lower course of the Biała Przemsza but increased near to the place where mine waters are discharged to the river. The regularities observed indicate that in a strongly polluted river system, both the extreme and near-bankfull discharges improve the quality of channel sediments for a relatively short time.

Key words: heavy metals, river sediments, pollution, Upper Silesia

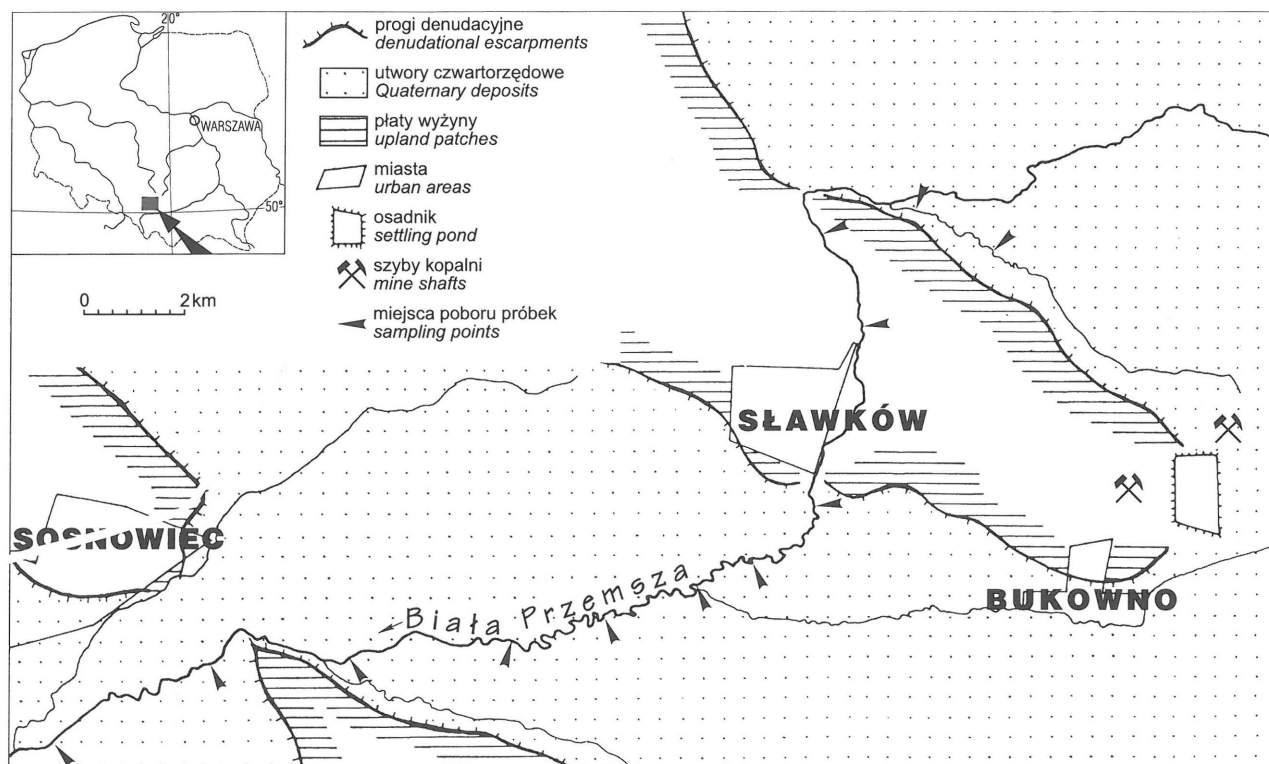
Gwałtowny wzrost produkcji przemysłowej w XIX i XX w. oraz związany z nią niekontrolowany zrzut ścieków do rzek spowodował zanieczyszczenie osadów dennych metalami ciężkimi. Najsilniej zostały zanieczyszczone osady rzek przepływających przez ośrodki miejsko-przemysłowe oraz przez obszary wydobywania i przetwórstwa rud metali. Koncentracje metali ciężkich np. Cd, Pb, Hg, Cr, Cu, Zn i Ag w osadach, w ekstremalnych przypadkach przekroczyły wartości naturalne nawet kilkaset razy (Warren, 1981).

Zawartości metali w osadach dennych są zmienne w czasie. Ich zmiany są skutkiem zmian wielkości ładunku zanieczyszczeń zrzucanego do rzeki, a także zmian stanów wód rzecznych (Malle, 1990; Bojakowska & Sokołowska, 1993). Zmiany koncentracji metali w osadach mogą występować zarówno w okresie kilkudziesięciu jak i kilku lat, a także być skutkiem zwiększonego spłukiwania zanieczyszczeń do koryt rzecznych w sezonie opadów (Gonçalves i in., 1994; Gaiero i in., 1997). Duże opady oraz spowodowane nimi wezbrania rzek mogą przyczyniać się do uruchamiania metali ciężkich ze źródeł nieaktywnych, przy przeciętnych stanach wody, np. z hałd odpadów lub z zanieczyszczonych osadów pozakorytowych (Leenaers, 1989). Również, podczas niskich stanów wody obserwuje się dobowe zmiany koncentracji metali ciężkich w zawiesinie, będące efektem reakcji fotochemicznych spowodowanych zmianami intensywności naświetlania wód płynących (Brick & Moore, 1996).

Erozja drobnoziarnistych, najsilniej zanieczyszczonych metalami ciężkimi osadów następuje już przy stosunkowo niewielkim wzroście przepływu, dlatego też często maksymalne koncentracje metali związanych z transportowanymi w zawieszynie osadami wyprzedzają kulminację fali wezbraniowej, a najniższe są po jej przejściu (Bradley, 1984). W czasie trwania stanów pełnokorytowych jest uruchamiane całe aluwialne dno koryta; są erodowane nie tylko osady denne, ale i brzegowe, a także następuje dostawa osadów w wyniku erozji gleb z sąsiadujących obszarów. Wzrost udziału niezanieczyszczonych osadów spoza koryta powoduje często, szczególnie w silnie zanieczyszczonych rzekach, zmniejszenie udziału zawiesiny pochodzącej ze ścieków i w konsekwencji zmniejszenie koncentracji metali ciężkich w transportowanych i redeponowanych w korycie osadach (Hellmann, 1994). Uruchomione zanieczyszczone osady mogą być — w zależności od ich frakcji, a także wielkości i długotrwałości wezbrania — transportowane na bardzo duże odległości wynoszące nawet setki kilometrów (Verhoff i in., 1979). Wielkość ich ponownej depozycji w korycie jest bardzo zróżnicowana, a efektem przejścia fali wezbraniowej może być nawet wzrost koncentracji niektórych pierwiastków w osadach dennych (Protasowicki i in., 1998). Uważa się, że okres depozycji osadów w jednym miejscu jest zazwyczaj dłuższy niż 1 rok (Miller & Schoemacher, 1986). Długość tego okresu czasu, bez wezbrania, jest jednym z czynników rzutujących na tempo samooczyszczania osadów rzecznych zwane także „efektem pamięci” (Malle, 1990).

Jakkolwiek są znane ogólne prawidłowości jakim podlega transport i erozja osadów zanieczyszczonych, badania zmian koncentracji metali w osadach, które zostały spowo-

*Instytut Ochrony Przyrody, Polska Akademia Nauk, ul. Lubicz 46, 31-512 Kraków



Ryc. 1. Punkty poboru próbek na tle rzeźby terenu badań
 Fig. 1. Location of study area and sample sites

dowane przez wezbrania są bardzo nieliczne. Podstawą ich realizacji jest znajomość stężenia metali przed wezbraniem. W prezentowanych badaniach zmian koncentracji metali w osadach dennych po dużym wezbraniu w lipcu 1997 r. i mniejszym w lutym 1998 r. jako poziom odniesienia posłużyły koncentracje pierwiastków zmierzone w próbkach, pobranych z koryta Białej Przemszy w 1993 r.

Teren badań

Rzeka Biała Przemsza o przepływie ok. 5,5 m³/s i długości 66 km jest odbiornikiem zanieczyszczonych wód pochodzących z kopalni rud Zn i Pb w Bukownie na Wyżynie Śląskiej. Zrzucające wody dołowe (ok. 2 m³/s) dopływają do Białej Przemszy w jej środkowym biegu za pośrednictwem czterokilometrowego kanału betonowego oraz starego koryta nieistniejącej już dziś rzeki Białej. Po połączeniu z wodami Białej Przemszy płyną one wraz z nimi na długości niemal 40 kilometrów. Udział wód z kopalni Zn–Pb oraz innych wód przemysłowych w całkowitym przepływie rzeki jest znaczny i podczas niskich stanów wód sięga 60% (Jankowski, 1987). Zawartość Zn w wodach Białej Przemszy wynosi ok. 2 mg/l, a ołowiu ok. 1 mg/l (Jarzębski, 1996).

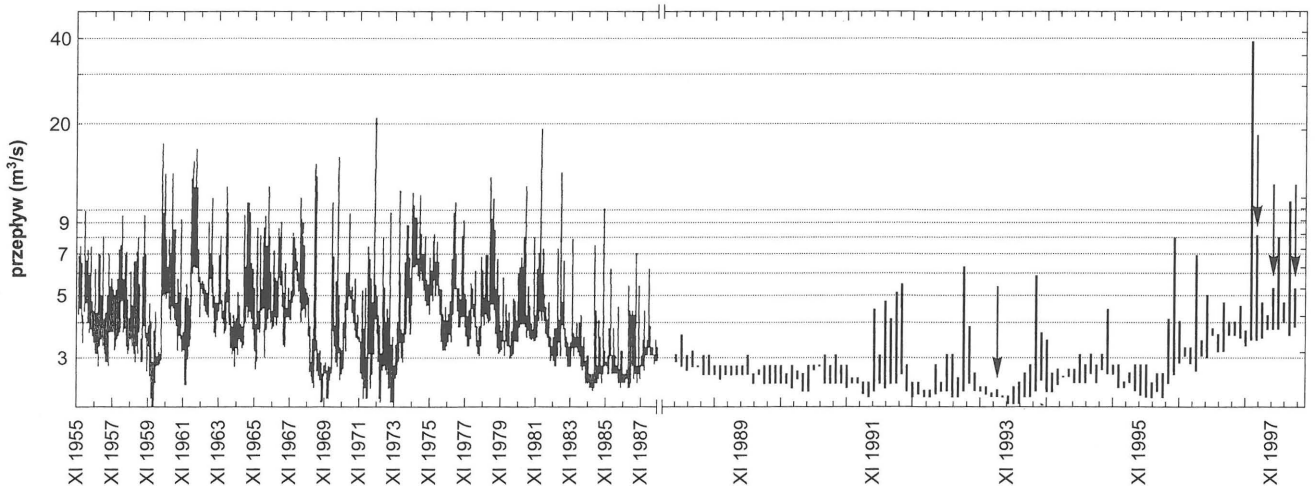
Metoda badań

Próbki osadów zostały pobrane z koryta rzeki w sierpniu i wrześniu 1993 r. na odcinku poniżej zrzutu ścieków z kopalni w Bukownie. 12 próbek pobrano z osadów przybrzeżnych znajdujących się poniżej poziomu wody (ryc.

1). O wyborze takiej lokalizacji zdecydowały łatwość ich poboru oraz bardzo duże podobieństwo warunków sedymentacji osadów w tych miejscach; jego skutkiem jest minimalna zmienność koncentracji metali w próbkach pobieranych w nich w całym badanym odcinku koryta (Ciszewski, 1998). W tych samych miejscach, próbki zostały pobrane po wezbraniu w lipcu, w sierpniu i listopadzie 1997 r. oraz w marcu 1998 r. Pobór ostatniej serii próbek również został poprzedzony wezbraniem z kulminacją w końcu lutego. Koncentracje Zn, Cd i Pb oznaczano we frakcjach <1 mm i <0,063 mm za pomocą absorpcyjnej spektrometrii atomowej, przy użyciu tej samej metodyki co w pierwszej serii próbek.

Wyniki badań

Ze względu na zależność akumulacji zanieczyszczonych osadów w korycie od częstości i wielkości wezbrań, przeanalizowano zmienność przepływów wody w okresie poprzedzającym pobór poszczególnych serii próbek. Rycina 2 przedstawia miesięczne amplitudy przepływów wód Białej Przemszy w Sławkowie w latach 1955–1998 ze szczególnym uwzględnieniem ich wahań w okresie 11.1988–03.1998. Zmiany przepływów w tym posterunku, znajdującym się kilka kilometrów poniżej ujścia wód z kopalni do rzeki, są zbliżone do zmian w posterunku w Niwce przy ujściu do Przemszy. Jak wskazuje ich przebieg, pierwszy pobór próbek (08–09.1993) został przeprowadzony w środkowym okresie trwającej około 10 lat niżówki, przy przepływach wody niewiele przekraczających 2 m³/s. W ciągu poprzedzających go ponad pięciu lat wystąpiły jedy-



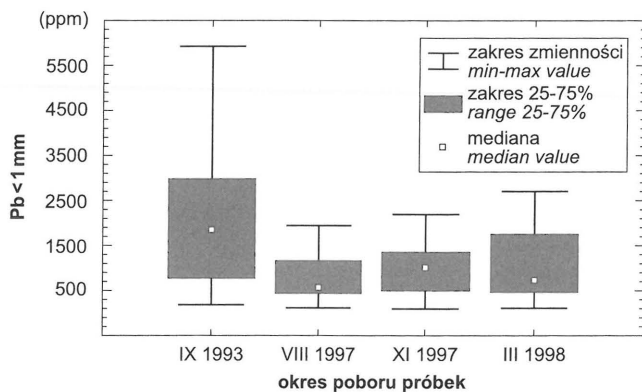
Ryc. 2. Miesięczne amplitudy przepływów Białej Przemszy w Sławkowie w latach 1955–1997

Fig. 2. Monthly amplitudes of the Biała Przemsza River discharges at Sławków gauge station in years 1955–1997

nie dwa wezbrania o ok. 1–2 letnim okresie powtarzalności, które potencjalnie mogły spowodować stosunkowo niewielką erozję osadów dennych. Pobrane próbki reprezentują więc okres, w którym akumulacja zanieczyszczonych osadów przeważała nad ich erozją. Wezbranie w lipcu 1997 r. (ok. 40 m³/s) było w Sławkowie największe od początku obserwacji (1925 r.), o prawdopodobieństwie wystąpienia mniejszym niż raz na 100 lat. W latach 1993–1997 zostały zanotowane trzy wezbrania o kulminacjach ok. 5–8 m³/s, tzn. o wielkości średnich wysokich przepływów. Zwiększające się od 1996 r. maksymalne przepływy wody, a także systematyczny wzrost stanów minimalnych wskazują na zakończenie się okresu suszy hydrologicznej. Próbkę pobraną po ekstremalnej powodzi w sierpniu 1997 r. reprezentują więc okres wyjątkowego w ciągu ostatnich lat wyprzątnięcia drobnoziarnistych osadów dennych. Próbkę pobraną we wrześniu 1997 r. po około 3 miesięcznym okresie trwania przepływów zbliżonych do przeciętnych reprezentują okres stopniowej akumulacji zanieczyszczonych osadów drobnoziarnistych transportowanych wraz z wodami pochodzącymi z kopalni. Pod koniec lutego 1998 r. wystąpiło kolejne, tym razem znacznie mniejsze, wezbranie o przepływie zbliżonym do pełnokorytowego. Jego wpływ na stopień zanieczyszcze-

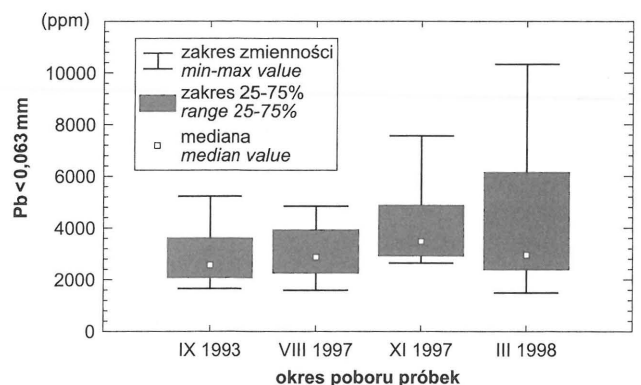
nia osadów dennych odzwierciedlają koncentracje metali w próbkach pobranych w końcu marca 1998 r.

Największe zmiany koncentracji spośród badanych metali ciężkich we frakcji <1 mm osadów, w kolejnych seriach próbek, stwierdzono dla ołowiu (ryc. 3). Pierwiastek ten jest silnie związany w osadach zwłaszcza wód rzecznych o pH zbliżonym do naturalnego. Dlatego też znaczna jego część (przeważnie ponad 85%) jest transportowana w rzece w zawiesinie (Förstner & Salomons, 1980; Rang & Schouten, 1989). Można wobec tego oczekiwać, że na zmiany jego koncentracji najsilniej będą wpływać procesy erozji i redepozycji osadów. Koncentracje Pb w próbkach pobranych po wezbraniu w lipcu 1997 r. były istotnie obniżone w stosunku do 1993 r. Spadek zarówno koncentracji maksymalnej jak i mediany jest około trzykrotny, ale zmniejszenie koncentracji minimalnej jest niewielkie. Znacznie mniejszy niż w 1993 r. jest również zakres koncentracji pomiędzy 25 i 75 percentylem. W kolejnych seriach próbek, następuje stopniowy wzrost koncentracji maksymalnej, a także zakresu koncentracji i mediany. Świadczy to o zwiększaniu się przeciętnej zawartości Pb w osadach w całym korycie rzeki. W efekcie wezbrania z końca lutego 1998 r. z jednej strony zaznacza się zmniejszenie wartości mediany, z drugiej natomiast,



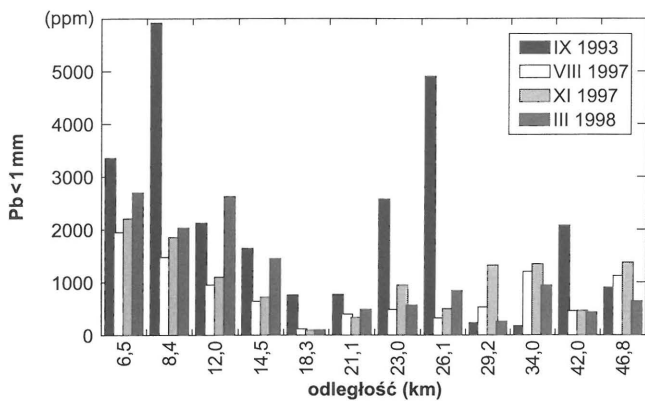
Ryc. 3. Zmiany koncentracji Pb we frakcji <1 mm osadów po wezbraniu w lipcu 1997 r.

Fig. 3. Changes of the Pb concentrations in fraction <1 mm of the Biała Przemsza River sediments after flood in July 1997



Ryc. 4. Zmiany koncentracji Pb we frakcji <0,063 mm osadów po wezbraniu w lipcu 1997 r.

Fig. 4. Changes of the Pb concentrations in fraction <0,063 mm of the Biała Przemsza River sediments after flood in July 1997



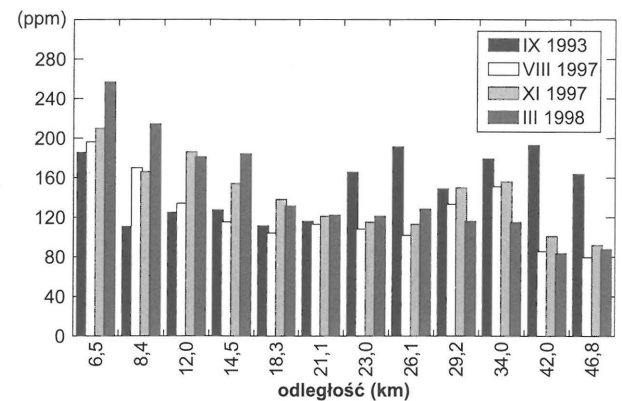
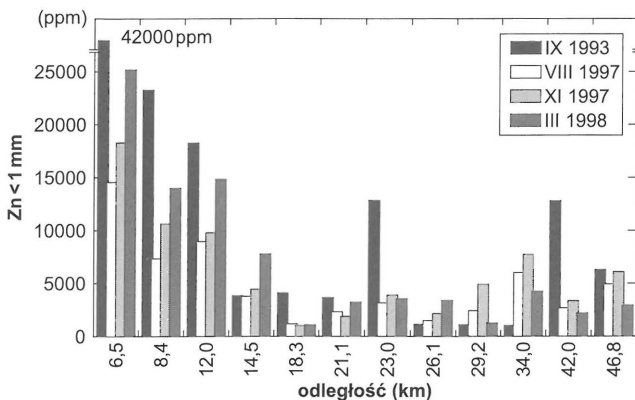
Ryc. 5. Koncentracje Pb we frakcji <1 mm osadów dennych Białej Przemszy

Fig. 5. Concentrations of Pb in fraction <1 mm of the Biała Przemsza River sediments

wzrost koncentracji maksymalnej i zakresu pomiędzy 25 i 75 percentylem. Sugeruje to zmniejszenie zawartości ołowiu w niektórych miejscach przy jednoczesnym ich wzroście w innych.

Inaczej wygląda zróżnicowanie koncentracji Pb w badanych seriach próbek we frakcji <0,063 mm (ryc. 4). Wystąpienie ekstremalnego wezbrania nie spowodowało istotnych statystycznie zmian w stężeniu ołowiu w tej frakcji ziarnowej. Obserwuje się jedynie zwiększenie przeciętnych stężeń Pb w próbkach pobranych w listopadzie 1997 r. (wzrost mediany i zakresu zmienności zarówno całkowitej jak i pomiędzy 25 i 75%). Zwiększenie zakresu zmienności zanotowano w próbkach pobranych w listopadzie 1997 i marcu 1998 r. Różnica pomiędzy tymi dwoma seriami jest podobna jak we frakcji <1 mm: w marcu koncentracja maksymalna Pb jest wyższa niż w listopadzie a mediana jest mniejsza. Niewątpliwie zmiany musiały być zróżnicowane w różnych odcinkach rzeki. Ich wyraźniejszy obraz może dać analiza zmian stężeń w kolejnych badanych punktach w profilu podłużnym Białej Przemszy.

Rycina 5 przedstawia koncentracje Pb w badanych punktach koryta rzeki zmierzone we wszystkich seriach pomiarowych. Ogólnie w większości punktów w górnej i środkowej części badanego odcinka koncentracje ołowiu w próbkach pobranych w 1993 r. są wysokie i dominują nad pozostałymi. W dolnej jego części natomiast, są zbliżone lub mniejsze od zawartości tego pierwiastka w później pobranych próbkach. Po wezbraniu lipcowym nastąpiło



Ryc. 7. Koncentracje Cd we frakcji <0,063 mm osadów dennych Białej Przemszy

Fig. 7. Concentrations of Cd in fraction <0,063 mm of the Biała Przemsza River sediments

zredukowanie koncentracji ołowiu w osadach niemal na całej długości badanego odcinka rzeki. Najbardziej zmniejszyły się najwyższe koncentracje Pb występujące w osadach w górnej części odcinka. Mimo to, w sierpniu 1997 r. zawartości tego pierwiastka w odcinku położonym poniżej wypływu wód dołowych z kopalni wciąż wynosiły ok. 1000–2000 ppm. Wezbranie lipcowe w znacznie mniejszym stopniu wpłynęło na obniżenie koncentracji ołowiu w osadach dolnego biegu Białej Przemszy, a w kilku punktach po tym wezbraniu nastąpił nawet ich wzrost. Wzrost koncentracji Pb obserwowano również pomiędzy sierpniem i listopadem 1997; był on jednak charakterystyczny dla całego badanego odcinka koryta. Zmiany koncentracji Pb jakie nastąpiły po niewielkim wezbraniu pod koniec lutego 1998 r. były również zróżnicowane w badanym profilu podłużnym. W pierwszych czterech punktach (6,5–14,5 km; ryc. 5) nastąpił znaczący wzrost koncentracji Pb, natomiast w najniższej położonych czterech punktach (29,2–46,8 km) zanotowano ich spadek. W środkowym odcinku natomiast, zmiany jego koncentracji były stosunkowo niewielkie.

W podobny sposób zmieniały się również koncentracje Zn we frakcji <1 mm. Rycina 6 przedstawia zróżnicowanie koncentracji tego pierwiastka w próbkach pobranych w 1993 r. i w trzech okresach poboru próbek po wezbraniu w lipcu 1997 r. Największy ich spadek zaobserwowano w sierpniu 1997 r. i zaznaczył się on niemal na całym badanym odcinku rzeki. W punkcie położonym najbliżej kopalni spadły one o ponad 25 000 ppm natomiast w

innych punktach prze-ważnie nie więcej niż o kilka, kilkanaście tysięcy ppm. W punktach pomiędzy 26,1 i 34,0 km po wezbraniu lipcowym nastąpił niewielki wzrost koncentracji Zn, w ekstremalnym przypadku nie przekraczający jednak 5000 ppm. W okresie od sierpnia 1997 do listopada 1997 r. w większości punktów obserwuje się wzrost zanieczyszczenia osadów cynkiem. Zawar-

Ryc. 6. Koncentracje Zn we frakcji <1 mm osadów dennych Białej Przemszy

Fig. 6. Concentrations of Zn in fraction <1 mm of the Biała Przemsza River sediments

tość Zn wyraźnie wzrosła po wezbraniu w lutym 1998 r. w pobliżu ujścia ścieków z kopalni (punkty 6,5–14,5 km) powodując zmniejszenie różnicy koncentracji w stosunku do września 1993 r. Przeciwna tendencja zaznaczyła się po tym wezbraniu w dolnym biegu Białej Przemszy (29,2–46,8 km). W środkowym odcinku zanotowano niewielkie zmiany koncentracji Zn.

Wezbranie w lipcu 1997 r. spowodowało także zmiany koncentracji metali ciężkich we frakcji <0,063 mm. Przykładem jest zróżnicowanie koncentracji Cd pomiędzy próbkami pobranymi w 1993 r. i pobranymi w okresie sierpień 1997 — marzec 1998. Po ekstremalnym wezbraniu wzrost koncentracji Cd nastąpił w górnej części badanego odcinka, natomiast znaczący ich spadek zaobserwowano w jego dolnej części. Różnice te zwiększyły się po wezbraniu w lutym 1998 r.: zawartość Cd wzrosła najbardziej poniżej wypływu wód dołowych z kopalni, najbardziej natomiast zmalała w dolnym biegu Białej Przemszy. Kierunek tych zmian koncentracji jest ogólnie zbliżony w obu badanych frakcjach. Różnica polega przede wszystkim na tym, że zawartość Cd we frakcji pylasto-ilastej w górnej części badanego odcinka wzrosła wcześniej niż we frakcji piaszczystej, bo już po wezbraniu lipcowym. Podobnie w dolnym biegu rzeki, zawartość Cd we frakcji <0,063 mm obniżyła się znacznie w stosunku do tej z 1993 r. również już po wezbraniu lipcowym. Nieco inaczej sytuacja wygląda w środkowym odcinku Białej Przemszy: po drugim wezbraniu zaznaczył się wzrost koncentracji Cd, wyraźny zmniejszeniem ubytku stężeń w stosunku do 1993 r. na 23,0 i 26,1 km badanego profilu.

Dyskusja

Natężenie erozji osadów jest uzależnione od parametrów hydraulicznych przepływu oraz od właściwości osadów dennych. Erozja wzrasta bardzo szybko (do kwadratu) wraz ze wzrostem prędkości płynięcia wody, jej wzrost natomiast jest odwrotnie proporcjonalny do głębokości. Oznacza to, że podczas wezbrania, kiedy prędkość płynięcia wody wzrasta, najszybciej są porywane ziarna osadów zdeponowane w płytkiej strefie przybrzeżnej, a dopiero później erodowane jest dno koryta w strefie nurtu rzeki. Natężenie erozji jest uzależnione także od kompaktacji osadów drobnoziarnistych. Ogólnie najłatwiej są erodowane osady świeżo akumulowane w strefie przybrzeżnej. Wraz z upływem czasu ich gęstość wzrasta, gdyż woda jest wyciskana z osadów na ich powierzchnię. Zjawisko to zachodzi najszybciej przy dużej głębokości wody, przy brzegach natomiast, gdzie warstwa wody jest cienka, osady najdłużej pozostają niespójne (Jepsen i in., 1997). Ponieważ były analizowane osady przybrzeżne, o przeważającej frakcji pylastej, można stwierdzić bez wątpliwości, że zostały one erodowane znacznie wcześniej przed nadejściem kulminacji wezbrania. Dzięki temu podczas ekstremalnego wezbrania mogły one być transportowane na dużą odległość, przekraczającą długość badanego odcinka. W rezultacie, w tych samych miejscach w powierzchniowej warstwie dna, zostały zdeponowane osady pochodzące z miejsc położonych w górę rzeki. Są to osady frakcji drobno-piaszczysto-pylastej, które były zdeponowane po przejściu kulminacji wezbrania.

Wezbrania odgrywają istotną rolę nie tylko w erozji, ale też i w transporcie zdeponowanych w dnie koryta osadów. Uważa się, że w strefie klimatu umiarkowanego największą część ładunku osadów w zawieszynie

transportują przepływy umiarkowanej wielkości i częstości. Ma to miejsce przede wszystkim w zlewniach, których powierzchnia jest dobrze chroniona przez pokrywę roślinną (Webb & Walling, 1982). W zlewniach, w których gleby i osady pozakorytowe są podatne na erozję, maksymalny transport jest związany z przepływami i opadami najwyższymi (Froehlich, 1982). Ponieważ, z kolei, przeważająca część metali ciężkich zgromadzonych w korycie jest związana z osadami drobnoziarnistymi, można założyć, że efektywność wynoszenia metali ciężkich z koryta będzie zbliżona do efektywności erozji i transportu fluwialnego tych osadów.

Spadek koncentracji metali we frakcji <1 mm osadów, zanotowany po wezbraniu lipcowym na całej długości koryta wskazuje, że podczas trwania tego wezbrania znaczna część ładunku metali została wyniesiona wraz z drobnoziarnistymi osadami poza koryto Białej Przemszy (prawdopodobnie większa jego część dostała się do koryta Przemszy). Na obniżenie ich zawartości w osadach zapewne miał wpływ także efekt rozcieńczania przez piaszczyste osady erodowane z dna koryta, a także w pewnym stopniu dostawa materiału pochodzącego z erozji gleb na obszarze zlewni. Trudno jest jednak jednoznacznie stwierdzić w jakim stopniu spadek koncentracji metali w osadach jest spowodowany zmniejszeniem całkowitego ładunku zanieczyszczeń zgromadzonych pierwotnie w korycie, a w jakiej części jest skutkiem rozcieńczania. Także bardzo zróżnicowane nagromadzenie osadów zanieczyszczonych zarówno w profilu poprzecznym, jak i podłużnym koryta powoduje, że trudno jest bezpośrednio ocenić wielkość i zmianę całkowitego ładunku metali ciężkich znajdującego się w korycie. Te trudności powodują, że zmiany wielkości ładunku metali zgromadzonego w korycie mogą być ocenione tylko w dużym przybliżeniu na podstawie zmian koncentracji metali w osadach dennych. Należy również zastrzec, że zmiany koncentracji metali w analizowanych osadach są reprezentatywne przede wszystkim dla osadów przybrzeżnych i z pewnością nie mogą być odnoszone do wszystkich miejsc w przekrojach koryta o różnej morfologii. Przykładem są osady pylasto-ilaste zgromadzone w specyficznych dla koryta Białej Przemszy odcinkach roztokowych, w których tworzą one utrwalone roślinnością łachy. Jak wskazują obserwacje, nie były one zniszczone w czasie powodzi. W takich miejscach, a także w płytkich korytach bocznych, którymi nie płynie silny prąd wody, stwierdzono nawet przyrost osadów drobnoziarnistych o czym świadczy przykrycie porastającej je roślinności.

Wpływ wezbrania z lutego 1998 r. na zmiany zanieczyszczenia osadów metalami ciężkimi był w porównaniu z wpływem ekstremalnego wezbrania lipcowego niewielki. O ile w czasie dużego wezbrania dominująca część erodowanych drobnoziarnistych, zanieczyszczonych osadów mogła zostać przemieszczona na całej długości koryta i być wyniesiona poza jego obręb, o tyle małe wezbranie spowodowało transport osadów na znacznie mniejszą odległość, a ich redepozycja nastąpiła w innym miejscu koryta Białej Przemszy. Wskazuje na to przede wszystkim stosunkowo niewielkie zmniejszenie mediany koncentracji metali w badanych punktach. W próbkach osadów pobranych w górnym odcinku rzeki w marcu 1998 r., obserwuje się także zwiększenie stężeń metali w stosunku do stanu z listopada 1997 r., w górnym odcinku. Najlepiej widoczny jest wzrost stężeń Pb w 12,0 i 14,5 km biegu rzeki (ryc. 5),

poniżej połączenia wód kopalnianych z wodami Białej Przemszy. Jego przyczyną jest prawdopodobnie nie tylko wezbranie w lutym 1998 r., ale także zwiększone w ostatnim okresie przepływy minimalne i maksymalne w całym badanym odcinku rzeki począwszy od kopalni. Zwiększone zrzuty wód nie tylko mogą transportować zwiększone ilości zanieczyszczonej zawiesiny z kopalni ale przede wszystkim powodować erozję silnie zanieczyszczonych ilasto-pylastych osadów dna doliny rzeki Białej. Grubość warstwy tych osadów, powstałych w wyniku 30-letniej działalności kopalni, dochodzi do 1,5 m; są one zgromadzone na powierzchni ok. 1 km². Znaczna zawartość w nich Zn, Cd i Pb powoduje, że osady te nawet mimo porastającej je bujnej roślinności stanowić będą zapewne jeszcze bardzo długo źródło zanieczyszczenia Białej Przemszy.

W próbkach osadów pobranych do badań w marcu 1998 r. w dolnym biegu rzeki, zanotowano spadek koncentracji metali w obu badanych frakcjach ziarnowych. Może on sugerować niewielką efektywność transportu zanieczyszczonych osadów z wyżej położonych odcinków w dół rzeki. W dolnym odcinku rzeki erozja zanieczyszczonych osadów przeważała więc nad ich dostawą.

Zbliżony mechanizm odzwierciedlają także różnice koncentracji metali ciężkich we frakcji <0,063 mm. Wzrost koncentracji w próbkach osadów pobranych w górnej części badanego odcinka rzeki jest skutkiem dostawy silnie zanieczyszczonej zawiesiny z wodami kopalnianymi, a także erozji osadów ilasto-pylastych budujących brzegi i wypełniających starorzecza w dolinie Białej. Ich spadek w najniższej części profilu natomiast, jest wynikiem wypłukania części osadów zanieczyszczonych z koryta Białej Przemszy. Niewątpliwie również, pewien wpływ na zmiany koncentracji w tej frakcji odgrywają, kontrolowane parametrami chemicznymi, procesy sorpcji i desorpcji pierwiastków przez cząstki osadów, jednak przedstawione wyniki nie dają podstaw do ich oceny.

Wnioski

Wpływ wezbrań na zawartość metali w osadach dennych jest zróżnicowany w różnych odcinkach rzeki. W zależności od warunków sedimentacji wywołanych morfologią koryta rzeki oraz odległością od źródła zanieczyszczeń w jednych miejscach może nastąpić zwiększenie a w innych zmniejszenie ich koncentracji.

Wezbrania o ekstremalnej wielkości skutecznie erodują osady denne i mogą transportować metale ciężkie związane w zawieszynie na bardzo duże odległości powodując w efekcie zmniejszenie zanieczyszczenia koryta. Redepozycja uruchomionych silnie zanieczyszczonych osadów zachodzi głównie w odcinkach koryta rzeki o najmniejszym spadku, powyżej progów wodnych, odcinkach roztokowych, a także w zbiornikach zaporowych itp.

Częste, niewielkie wezbrania wody również mogą zmniejszyć zanieczyszczenie osadów dennych rzek, do których zaprzestano zrzutów zanieczyszczeń. Ich efektywność w redukcji zanieczyszczenia osadów korytowych może być w dłuższym okresie czasu nawet większa niż ekstremalnych, występujących rzadko (np. raz na 100 lat) wezbrań. Redepozycja transportowanych przez nie osadów jest uzależniona przede wszystkim od zróżnicowania prędkości prądów wody w przekroju poprzecznym koryta.

Przykład Białej Przemszy wskazuje, że w silnie zanieczyszczonym korycie rzeczonym, w którym znajduje się duże źródło zanieczyszczeń, wezbrania nawet ekstremalne, powodują stosunkowo krótkotrwały spadek koncentracji metali ciężkich w osadach gdyż nawet w ciągu około 1–2 lat może nastąpić przywrócenie poprzedniego poziomu zanieczyszczenia.

Można przypuszczać, że nawet po ustaniu zrzutów ścieków z kopalni Zn–Pb, znaczny poziom zanieczyszczenia osadów korytowych Białej Przemszy, przekraczający kilkakrotnie wartość tła geochemicznego, będzie utrzymywał się prawdopodobnie przez kilkadziesiąt lat.

Autor wyraża podziękowanie Oddziałowi IMGW w Katowicach za udostępnienie danych hydrologicznych.

Literatura:

- BOJAKOWSKA I. & SOKOŁOWSKA G. 1993 — Zmiany zawartości Cd, Cr, Pb, Zn w aluwiach wybranych rzek Polski, monitoring geochemiczny osadów wodnych Polski 1990–1992. *Prz. Geol.*, 41: 155–162.
- BRADLEY S.B. 1984 — Flood effects on the transport of heavy metals. *Intern. J. Environ. Stud.*, 22 : 225–230.
- BRICK CH. & MOORE J.N. 1996 — Diel variation of trace metals in the upper Clark Fork River, Montana. *Env. Sci. Tech.*, 30: 1953–1960.
- CISZEWSKI D. 1998 — Wpływ morfologii koryta rzeki na akumulację metali ciężkich w osadach dennych. *Prz. Geol.*, 46: 264–270.
- FÖRSTNER U. & SALOMONS W. 1980 - Trace metal analysis on polluted sediments, Part I. Assessment of sources and intensities, *Env. Tech. Lett.*, 1 : 494–505.
- FROELICH W. 1982 — Mechanizm transportu fluwialnego i dostawy zwietrzelin do górskiej zlewni fliszowej. *Pr. IG, PAN*, 143: 1–144.
- GAIERO D.M., ROSS R.G., DEPETRIS P.J. & KEMPE S. 1997 — Spatial and temporal variability of total non-residual heavy metals content in stream sediments from the Suquia River system, Cordoba, Argentina. *Water, Air, Soil Pollut.*, 93: 303–319.
- GONÇALVES E.P.R., SOARES H.V.M., BONAVENTURA R.A.R., MACHADO A.A.S.C. & da SILVA J.C.G.E. 1994 — Seasonal variations of heavy metals in sediments and aquatic mosses from the Cavado River basin, Portugal. *Sc. Tot. Envir.*, 142: 143–156.
- HELLMANN H. 1994 — Load trends of selected chemical parameters of water quality and of trace substances in the River Rhine between 1955 and 1988. *Wat. Sci. Tech.*, 29: 69–76.
- JANKOWSKI A.T. 1987 — Wpływ urbanizacji i uprzemysłowienia na zmianę stosunków wodnych w rejonie śląskim w świetle dotychczasowych badań. *Pr. Nauk. UŚI*, 813: 62–99.
- JARZĘBSKI L. (red) 1997 — Raport o stanie środowiska w województwie katowickim w latach 1995–1996. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Katowice.
- JEPSEN R., ROBERTS J & LICK W. 1997 — Effects of bulk density on erosion rates. *Water, Air, Soil Pollut.* 99 : 21–31.
- LEENAERS H. 1989 — The transport of heavy metals during flood events in the polluted River Geul, The Netherlands. *Hydrol. Proc.*, 3: 325–338.
- MALLE K.G 1990 — The pollution of the River Rhine with heavy metals. w: Heling D., Rothe R., Förstner U., Stoffers P. (ed.) *Sedim. Environm. Geochem.*: 279–289.
- MILLER A.J. & SCHOEMACHER L.L. 1986 — Channel storage of fine-grained sediment in the Potomac River. *Drainage basin sediment delivery IAHS Publ.*, 159: 287–304.
- PROTASOWICKI M., NIEDŹWIECKI E., CIERESZKO W., PERKOWSKA A. & MELLER E. 1998 — The comparison of bottom sediment contamination in the area of estuary and the lower course of the Odra before and after the flood of summer 1997., *I. Heavy metals. Intern. Odra Res. Conf.*, 16–19.06, Kraków: 127–130.
- RANG M.C. & SCHOUTEN C.J. 1989 — Evidence for historical heavy metal pollution in floodplain soils: the Meuse. [W:] Petts G.E. *Historical change of large alluvial rivers: western Europe.* Wiley, 127–142.
- VERHOF F., MELFI D.A. & YAKSICH S.M. 1979 — Storm travel distance calculations for total phosphorous and suspended materials in rivers. *Wat. Res. Research*, 15: 1354–1360.
- WARREN L.J. 1981 — Contamination of sediments by lead, zinc and cadmium: a review. *Env. Pollut.*, 2: 401–436.
- WEBB B.W. & WALLING D.E. 1982 — The magnitude and frequency characteristics of fluvial transport in a Devon drainage basin and some geomorphological implications. *Catena*, 9: 9–23.