

Paweł BIJATA*

METALE CIĘŻKIE W OSADACH ŻŁOTEGO POTOKU JAKO EFEKT WIELOWIEKOWEGO GÓRNICTWA ŻŁOTA

Wielowiekowa eksploatacja górnicza w rejonie Złatych Hor (Czechy) przyczyniła się do zanieczyszczenia osadów rzecznych Żłotego Potoku metalami ciężkimi. W celu określenia wpływu górnictwa przeprowadzono badania próbek osadów korytowych oraz profilów pozakorytowych na obszarze zlewni potoku. Otrzymane wyniki pozwoliły określić rozmieszczenie metali wzdłuż potoku oraz zmienność metali w pionowych profilach pozakorytowych. Analiza FAAS wykazała znaczne zawartości Cu, Zn, Cd na obszarze górnictwem i równinie zalewowej bezpośrednio do niego przyległym, mieszczące się w odpowiednim zakresie [mg/kg]: 83–3534; 311–8764; <0,1–47,4. Jednocześnie zawartości metali uległy znacznym redukcjom w dolnym biegu cieku, powyżej ujścia mieszczące się w przedziałach odpowiednio: 42–180; 245–726; 0,35–3,6. Zmiany zawartości metali w profilach można wiązać ze zmianami w podejmowanych działaniach górnictwem. W badanych profilach stwierdzono wysokie zawartości frakcji spławialnej, pochodzącej zarówno z górnictwa jako efekt wzbogacania rud, jak również z erozji odsłoniętych zboczy górskich wzdłuż doliny Żłotego Potoku. Znaczną dostawę materiału drobnociąmistej spoza obszaru górnictwem powiązano z redukcją zawartości metali ciężkich w dolnej części doliny.

1. WSTĘP

Występowanie wychodni złóż kruszczośnych nierozdzielnie wiąże się z procesami wietrzenia, które przyczyniają się do podwyższonych naturalnych zawartości metali ciężkich w glebach i osadach rzecznych danego obszaru. Historyczna działalność górnictwem, a także przeróbka rud, w znaczący sposób przyczyniły się do wzbogacenia środowiska w metale śladowe [1]. Efektem wydobywania i przeróbki rud metali jest powstawanie dużych ilości zanieczyszczonych odpadów, dawniej składowanych na hałdach najczęściej blisko miejsca powstawania bez poszanowania dla środowiska naturalnego. Miejsca takie stanowią potencjalne, wtórne źródło metali, na skutek ich erozji i wymywania. Historycznie już na etapie samej przeróbki znaczące ilości zanieczyszczeń dostawały się do środowiska,

* Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, pawel.bijata@agh.edu.pl

z uwagi na częste stosowanie płynącej wody do ekstrakcji metali- mała efektywność procesu wzbogacania skutkowało przemieszczaniem znaczących ilości drobnoziarnistego materiału zawierającego metale do dolin rzecznych. W wielu zlewniach rzecznych poddanych działalności górniczej znaczne zanieczyszczenie obserwowane jest na stosunkowo krótkim dystansie kilku(nastu) kilometrów, choć sam wpływ w postaci rozproszenia zanieczyszczeń może sięgać większych odległości [3-5, 12].

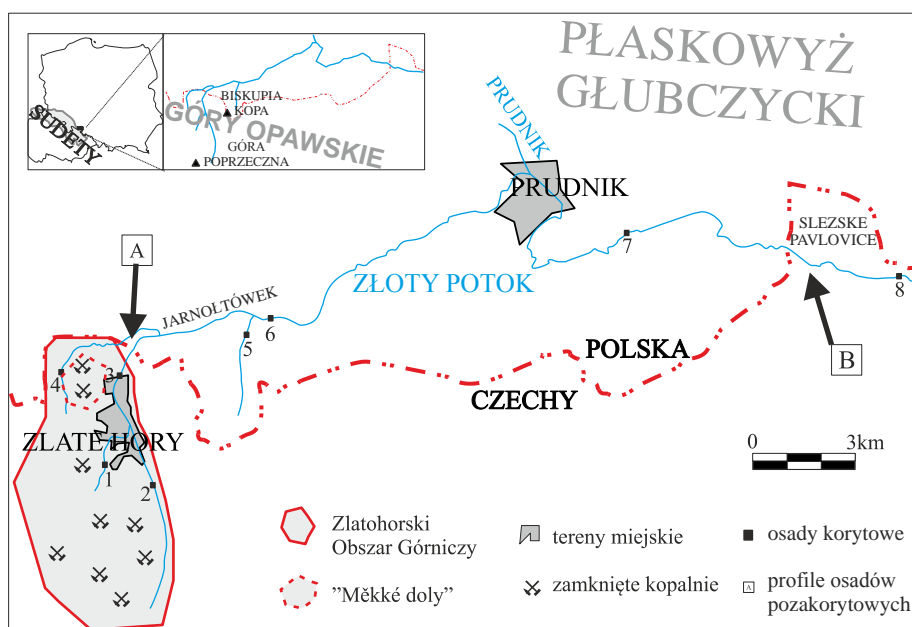
Badanie zróżnicowania zawartości metali ciężkich w profilach osadów rzecznych może wskazywać na długookresowe zmiany w zanieczyszczeniu rzek, spowodowane zmiennym wpływem antropogenicznym z uwagi na eksploatację górniczą [2]. Zestawiając ze sobą zmienność zanieczyszczenia osadów oraz historyczne dane dotyczące wydobycia z migracją koryta rzecznego- której charakter można uzyskać na podstawie kolejnych edycji map- możliwe jest dokonanie datowania tych osadów. Dla rzek meandrujących różnice w zanieczyszczeniu osadów pomiędzy poszczególnymi odsypami można powiązać ze zmianami w prowadzonych pracach górniczych, skutkujących różną dostawą zanieczyszczeń do środowiska [5]. Osady silnie zanieczyszczone, w przeszłości akumulowane w korycie i w osadach pozakorytowych, w szczególności na równinach zalewowych, mogą stanowić potencjalne źródło wtórnego zanieczyszczenia w przyszłości. Równiny zalewowe nie stanowią permanentnego zbiornika dla tych osadów, lecz są środowiskiem dynamicznym, podlegającym ciągłym przekształceniom, skąd metale mogą być usuwane poprzez procesy takie jak erozja boczna, wahania zwierciadła wody czy zmiany chemizmu wód wskutek kwaśnych opadów [5-7].

2. OBSZAR BADAŃ

Złoty Potok, zgodnie z podziałem fizycznogeograficznym Polski [9], znajduje się na granicy Sudetów Wschodnich i Płaskowyżu Głubczyckiego. Czerpie on swoje źródła z południowo-wschodnich stoków Góry Poprzecznej (cz. Příčný Vrch, 975 m n.p.m.), będącej najwyższym szczytem masywu Gór Opawskich. W górnym biegu Złoty Potok płynie na północ pomiędzy Górą Poprzną i Biskupią Kopą (889 m n.p.m.), aby po ok. 9 km zmienić kierunek na wschodni, generalnie utrzymywany aż do ujścia do rzeki Osobłogi (stanowiącej lewobrzeżny dopływ Odry) na granicy polsko-czeskiej. Złoty Potok wraz ze swymi dopływami odwadnia znaczą część masywu Góry Poprzecznej oraz odprowadza część wód z północnych stoków Gór Opawskich. W środkowym biegu łączy się z rzeką Prudnik, która płynąc równoległe do niego, niesie materiał erodowany z Płaskowyżu Głubczyckiego (rys. 1).

Masyw Góry Poprzecznej zbudowany jest ze zdeformowanych, zmetamorfizowanych utworów dewońskich. W spękaniach pierwotnych utworów skalnych, podczas procesów metamorficznych, następowało krystalizowanie minerałów mono- i polimetalicznych, głównie siarczków zawierających Cu-Pb-Zn. Minerale rudne utworzyły

złoża w postaci soczewek i żył. Główne minerały rudne stanowiły piryt i pirotyt, a z ekonomicznego punktu widzenia istotne było występowanie m.in. chalkopiryty, sfalerytu, galeny oraz złota. W efekcie wietrzenia pokrywy skalnej następowało przemieszczanie rumoszu skalnego (wzbogaconego w złoto) ze stoków w kierunku dolin rzecznych. Powstałe w ten sposób wtórne złoża Au, w następstwie zlodowacenia południowopolskiego, zostały przykryte pokrywą gliny zwałowej [11].



Rys. 1. Położenie obszaru badań

Zlatohorski Obszar Górniczy był miejscem wielowiekowej eksploatacji górniczej (głównie w poszukiwaniu złota), a okoliczne obszary (doliny i stoki) rozwiniętego osadnictwa. Osadnictwo skutkowało znacznym wyrębem lasów na stokach – drewna wymagało zarówno górnictwo, przeróbka rud (zapotrzebowanie na węgiel drzewny), jak i zwykłe potrzeby bytowe ludności. Obszary wyrębu były zajmowane pod produkcją żywności, wraz z rozwojem następowała ekspansja na coraz wyższe rejony górskie, wraz z tworzeniem teras na stokach o dużym stopniu nachylenia. Powyższe procesy przyczyniły się do dostawy materiału drobnoziarnistego (głównie z uwagi na erozję wodną odsłoniętej gleby) ze zboczy do doliny Złotego Potoku. Szacuje się, że z hektara stoku przemieszczeniu uległy w wyniku tych procesów setki, a nawet tysiące m³ pokrywy glebowej [8].

Istnieją ślady wskazujące na poszukiwania złota już przez Celtów, a na znaczną skalę górnictwo rozwinięte zostało przez Słowian od ok. X wieku. Dla okresu od śre-

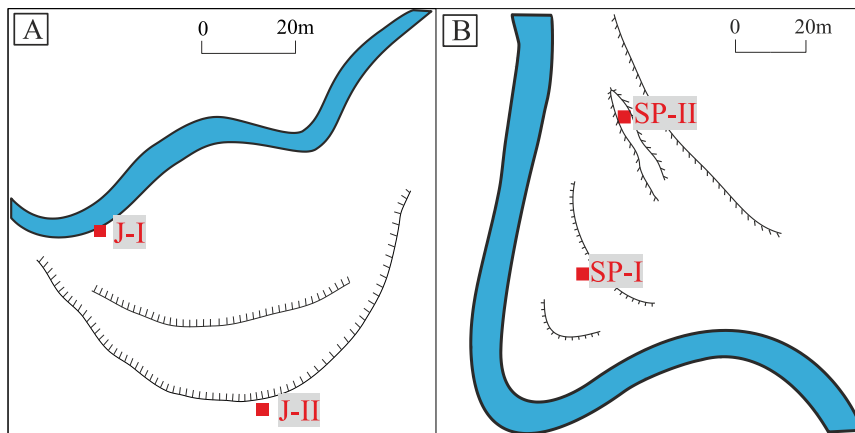
dniowiecza można mówić o sposobach i zakresie eksploatacji, dzięki zachowanym zarówno zapiskom, jak i pozostałościom w terenie. Eksploatacji podlegały zarówno złoża wtórne – rozsypy u podnóża Góry Poprzecznej (tzw. „Měkké doly”) – jak również złoża pierwotne w samym górotworze. Eksploatacja złóż wtórnych polegała na drażeniu pionowych szybów, przebijających osady holocenu i polodowcowych glin zwałowych, a następnie wybieraniu warstwy złotoonośnej – drażeniu komór. W złożach pierwotnych kopano głównie długie sztolnie. Oba sposoby eksploatacji dostarczały znaczne ilości drobnoziarnistego materiału, który przepłukiwany wodą przedstawiał się do Złotego Potoku. Szacuje się, że w efekcie wielowiekowej eksploatacji złota, przemieszczeniu uległo 1609400 m³ utworów skalnych [8, 11].

Górnictwo rozmaitych złóż złota, ze zmiennym szczęściem, a także z przerwami spowodowanymi zawirowaniami historycznymi, miało miejsce do końca XIX wieku, kiedy ostatnia podjęta próba eksploatacji została oprotestowana przez centrum hydroterapii w Złatych Horach. W połowie XX wieku podjęto prace geologiczne w obrębie Góry Poprzecznej, w wyniku których rozpoczęto eksploatację złóż miedzi. W bezpośrednim sąsiedztwie Złotego Potoku zlokalizowano zakład przeróbczy rudy oraz składowano odpady przeróbcze. Całkowita ilość wydobytej rudy miedzi w latach 1965-1993 sięgnęła ponad 6400 kiloton ze średnią zawartością Cu wynoszącą 0,55%. Pod koniec działalności, obok wyczerpywanych złóż Cu, eksploatowano również rudy polimetaliczne Pb-Zn. Efektem XX-wiecznego, nowoczesnego górnictwa, było wydobywanie ok. 1500 kg złota, czyli ilości porównywalnej do szacowanego, łącznego wydobycia od początków eksploatacji aż do roku 1793 [11].

3. MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

3.1. OPRÓBOWANIE

Zawartość metali ciężkich była badana w osadach rzecznych wzdłuż Złotego Potoku i jego dopływów na obszarze całego dorzecza. Pobrano powierzchniowe osady korytowe (rys. 1), jak również profile osadów pozakorytowych. Profile osadów pozakorytowych pobrano w dwóch lokalizacjach (oznaczonych jako A i B na rys. 1) – w górnym (powyżej Jarnołtówka, na obszarze równiny zalewowej – rys. 2A) i dolnym (na wysokości miejscowości Slezske Pavlovice – rys. 2B) biegu potoku, w miejscach występowania intensywnej migracji bocznej koryta.



Rys. 2. Położenie profili osadów w górnym (A) i dolnym odcinku Złotego Potoku

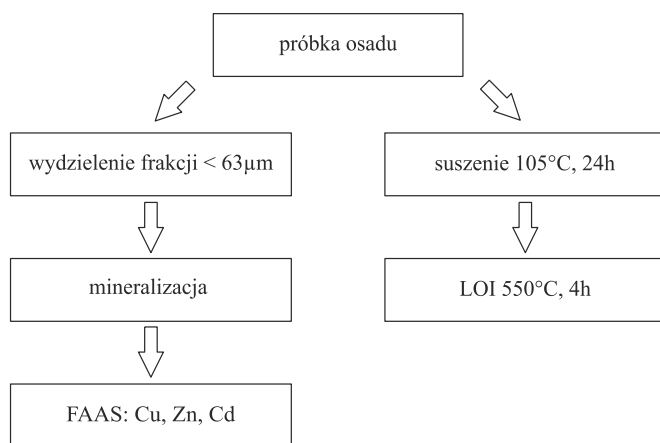
Profil J-I o miąższości 120 cm pobrano z krawędzi morfologicznej aktualnie erodowanej przez Złoty Potok, z kolei profil J-II o miąższości 90 cm pobrano w odległości ok. 35m od brzegu potoku, ze starszej krawędzi morfologicznej stanowiącej granicę dla wyższej o ok. 0,5 m terasy zalewowej. Profil SP-I o miąższości 125 cm pobrany został z łachy utworzonej we wnętrzu meandru w odległości ok. 30 m od brzegu, a profil SP-II o miąższości 130 cm w odległości ok. 50 m.

Bazując na archiwalnych austro-węgierskich mapach wojskowych z połowy XIX wieku (w skali 1:28 800), niemieckich mapach topograficznych z początku XX wieku („Messtischblatt” w skali :25 000), a także czeskich zdjęciach lotniczych z połowy XX wieku, można w przybliżeniu określić migrację koryta Złotego Potoku, a tym samym wiek pobieranych profili pozakorytowych. Profil J-1 prawdopodobnie został ukształtowany ok. 1912 r., a profil J-2 przed 1845 r. Profile SP, pobrane z wewnętrznej części meandru, wykształcone zostały po 1936 roku, kiedy to Złoty Potok w swoim dolnym biegu posiadał uregulowane koryto. SP-I pochodzi z okresu 1936-1955, po którym widoczna jest na zdjęciach lotniczych wyraźna migracja boczna, a SP-II utworzony został po 1955 r.

Profile osadów pozakorytowych posiadają zróżnicowane miąższości (90-130 cm) – położenie spągu profilu wyznaczone było obecnością bruku korytowego. Poboru profili dokonano na płaskich łachach i złagodzonych krawędziach morfologicznych (wewnętrzne części meandru dla 2 profili SP na wysokości Slezskich Pavlovic oraz starsza krawędź morfologiczna dla profil J-2 powyżej Jarnołówka) wstępnie wykonano odkrywki przy pomocy szpadla, a następnie pogłębiono przy pomocy świdra. W górnych częściach profili, odkrytych za pomocą szpadla, dokonano podziału na warstwy w oparciu o widoczne zmiany morfologiczne. W przypadku profilu J-I poboru dokonano z podciętej przez potok, pionowej krawędzi morfologicznej.

3.2. BADANIA LABORATORYJNE

Metodykę postępowania z pobranymi osadami przedstawia zamieszczony schemat (Rys. 3). Próbki osadów podzielono na dwie podpróbki. W pierwszej podpróbce – po wstępnym wysuszeniu w 105 °C przez 24h – określono straty prażenia (LOI) w 550 °C przez 4h. Druga podpróbka posłużyła do oznaczenia zawartości wybranych pierwiastków. Wydzielono na mokro frakcję o średnicy ziaren <63µm, następnie próbkę zmineralizowano stężonym HNO₃ (65%) wg zmodyfikowanej normy EPA 3051 (1g naważka, 10 cm³ HNO₃, 2 cm³ 30% H₂O₂) w bombach teflonowych (Mikrofała Milestone Start D). W otrzymanych roztworach oznaczono wybrane pierwiastki za pomocą metody FAAS na spektrometrze Thermo Scientific ICE 3500.



Rys. 3. Schemat przeprowadzonych badań laboratoryjnych

4. WYNIKI BADAŃ

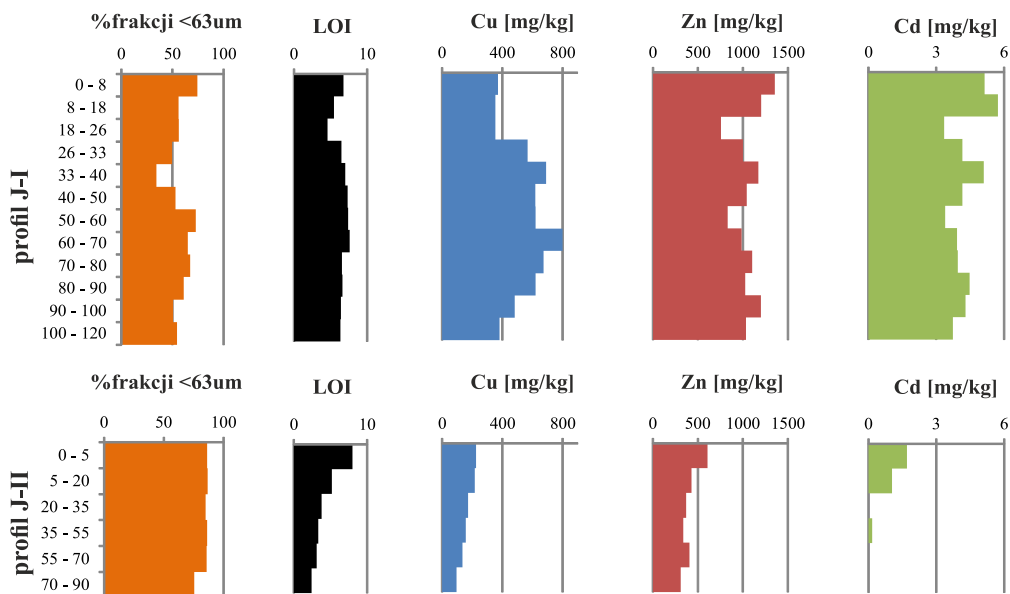
Zawartości metali ciężkich w osadach wodnych pobranych w dorzeczu Żółtego Potoku cechuje znaczna zmienność (Tabela 1). Można zauważyć wysokie koncentracje wszystkich pierwiastków w próbkach pobranych na obszarze Złatohorskiego Obszaru Górniczego, zarówno w samym Żółtym Potoku (próbki 2, 3), jak również w jego dopływach na tym obszarze (próbki 1 i 4). Próbki te odznaczają się wielokrotnym przekroczeniem zawartości średnich określonych dla Odry przez Lisa i Pasiczną (ostatnia pozycja w tabeli 1). Wraz z oddaleniem od miejsca eksploatacji, zawartości pierwiastków ulegają znacznej redukcji – porównanie zawartości na obszarze górniczym względem próbki pobranej ok. 3–4 km poniżej tego obszaru (próbka 6) wskazuje na ponad 20-krotną redukcję

zawartości miedzi, ponad 9-krotną cynku i ponad 30-krotną kadmu. Wyraźne, co najmniej kilkukrotne różnice są widoczne dla Zn i Cu w przypadku próbki 5 (pobranej z Bystrego Potoku, czerpiącego swe źródła na Biskupiej Kopie, na której nie prowadzono eksploatacji), w porównaniu z pozostałymi próbkami (a dla skrajnie wysokich zawartości z rejonu wydobywania są to różnice kilkudziesięciokrotne). U ujścia do Osobłogi (próbka 8) zawartości badanych metali w przypadku Cu i Cd przewyższają dwukrotnie tło geochemiczne (redukcja odpowiednio 44- i 13-krotna), a dla Zn osiągają wartość tła. W większości pobranych próbek zaobserwowano znaczne ilości frakcji spławialnej (<63 μm), będącej miejscem akumulacji metali ciężkich.

Tabela 1. Zawartości metali ciężkich w osadach korytowych

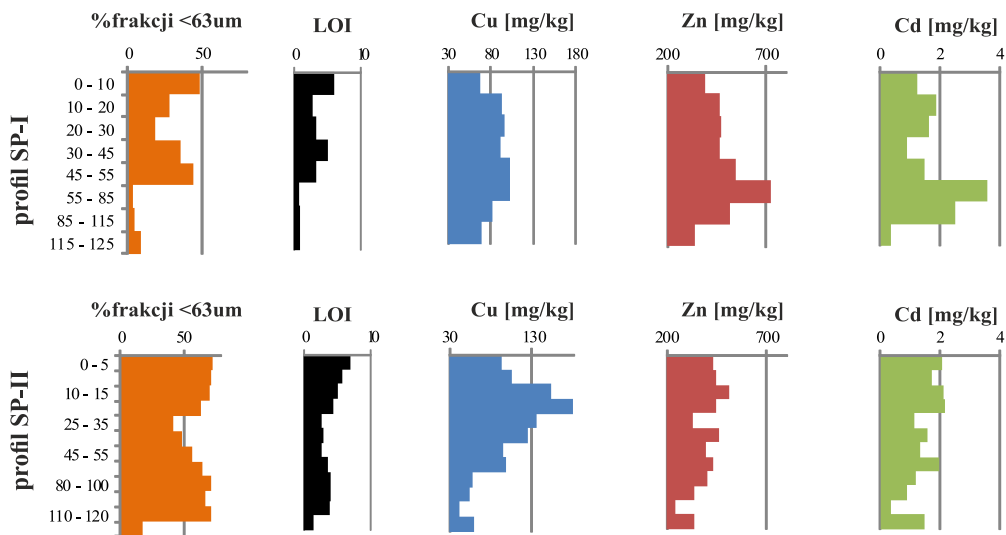
próbka	%frakcji <63 μm	LOI	zawartość metali [mg/kg]		
			Cu	Zn	Cd
1	7,5	1,7	1112	5948	22,2
2	46,6	23,3	3534	8764	47,4
3	49,3	6,5	159	1163	6,4
4	72,7	11,6	83	787	7,9
5	53,5	10,8	38	292	<0,1
6	54,5	10,0	162	914	1,5
7	49,0	6,9	150	717	2,3
8	9,1	1,4	80	465	3,5
Średnie zawartości dla Odry [10]			44	426	1,6

Oznaczone parametry w profilach osadów pozakorytowych pobranych w górnej części zlewni Złotego Potoku prezentują wykresy na rysunku 4. Widoczna jest znaczna różnica pomiędzy oboma profilami – profil młodszy (J-I) charakteryzuje się znacznie wyższymi zawartościami wszystkich badanych pierwiastków względem J-II. Rozkład Zn i Cd jest podobny dla poszczególnych warstw, z wyraźnym wzrostem w warstwach przypowierzchniowych. Z kolei Cu charakteryzuje się najwyższymi zawartościami w środkowej części profilu. Dla całości profilu zawartości materii organicznej (przyjętej jako tożsama ze stratami prażenia – LOI) wahają się nieznacznie, oscylując około 6–7%, a zawartość wydzielonej frakcji <63 μm najczęściej przekracza nieznacznie 50%. Profil J-II cechuje się znacznie niższymi zawartościami badanych pierwiastków. Zawartości miedzi wznoszą się od niecałych 100 ppm w spągu profilu do ponad 220 ppm w jego stropie. Analogiczny wzrost jest obserwowalny dla cynku – z 300 ppm do 600 ppm. Kadm zauważalny jest dopiero w przypowierzchniowych poziomach. Podobieństwem do Cu i Zn charakteryzuje się także zawartość LOI – wznosząc się stopniowo z ponad 2 do 8%, a zawartość frakcji spławialnej – poza spągiem, gdzie zaznaczał się bruk korytowy – niezmiennie oscyluje koło 85%.



Rys. 4. Parametry osadów pozakorytowych powyżej Jarnołówka

Parametry profili pobranych w dolnym odcinku Złotego Potoku pokazane są na Rysunku 5. W profilu starszym (SP-II) zawartości cynku i kadmu wykazują nieznaczną



Rys. 5. Parametry osadów pozakorytowych na wysokości Sleskich Pavlovic

zmienność na całej długości profilu, mieszcząc się odpowiednio w zakresach 300–400 ppm i 1,5-2 ppm. Zawartość miedzi jest zmienna, w spągu wykazuje wartości bliskie 50 ppm, na głębokości 15-25 cm p.p.t. osiąga maksimum rzędu 180 ppm, a następnie ulega redukcji do 100 ppm. Niemal cały profil cechuje się znaczną zawartością frakcji < 63µm rzędu 50%. W młodszym profilu SP-I najwyższe zawartości wszystkich pierwiastków mają miejsce w warstwach bliskich spągu profilu (odpowiednio 100 ppm dla Cu, 720 ppm dla Zn i 3,6 ppm dla Cd), jednocześnie warstwy przyspągowe charakteryzują się stosunkowo niewielkimi zawartościami frakcji spławialnej – rzędu 3–9%. Profil w warstwach pomiędzy powierzchnią a 55cm p.p.t. cechuje się znacznym spadkiem zawartości metali, osiągając przy powierzchni <70 ppm dla Cu, <400 ppm dla Zn i <1,5 ppm dla Cd.

5. PODSUMOWANIE

Znaczne zanieczyszczenie osadów rzecznych można zaobserwować w górnym odcinku Złotego Potoku, w tym na obszarze rozległej równiny zalewowej powyżej Jarnołówka. Zestawienie wyników zawartości metali ciężkich w osadach korytowych i pozakorytowych na całej długości Złotego Potoku wskazuje na znaczną redukcję zanieczyszczeń wraz z odległością od terenów górniczych, zbliżając się u ujścia do wartości tła wyznaczonych dla osadów Odry. Wyniki uzyskane dla próbki osadu korytowego z Bystrego Potoku, niezwiązanego z górnictwem na tym obszarze, pozwalają na wskazanie wartości tłowych metali. Dostawa materiału drobnoziarnistego spoza obszaru górniczego mogła się przyczynić do rozcieńczenia zawartości metali w dolnym odcinku Złotego Potoku: jako skutek rolnictwa na stokach górskich, a także w wyniku erozji lessowego Płaskowyżu Głubczyckiego przez rzekę Prudnik. Zestawienie zawartości metali w profilach pozakorytowych z migracją koryta oraz zmianami w działalności górniczej można wykorzystać do datowania osadów rzecznych.

LITERATURA

- [1] ALEKSANDER-KWATERCZAK U., HELIOS-RYBICKA E., *Contaminated sediments as a potential source of Zn, Pb and Cd for a river system in the historical metalliferous ore mining and smelting industry area of South Poland*. Journal of Soils and Sediments, 2009, Vol. 9, 13-22.
- [2] ALEKSANDER-KWATERCZAK U., HELIOS-RYBICKA E., *Rozmieszczenie metali ciężkich w pionowych profilach osadów rzecznych Małej Panwi*. Geologia, 2004, Vol. 30, 153-164.
- [3] BRADLEY S.B., *Incorporation of metalliferous sediments from historic mining into river floodplains*. GeoJournal, 1989, Vol. 19, 5-14
- [4] CISZEWSKI D, KUBSIK U., ALEKSANDER-KWATERCZAK U., *Long-term dispersal of heavy metals in a catchment affected by historic lead and zinc mining*. Journal of Soils and Sediments, 2012, Vol. 12, 1445-1462.

- [5] CISZEWSKI D., MALIK I., *Zapis XX-wiecznej historii zanieczyszczenia rzeki Malej Panwi metalami ciężkimi w jej osadach*. Przegląd Geologiczny, 2003, Vol. 51, 142-147.
- [6] DENNIS I.A., COULTHARD T.J., BREWER P., MACKLIN M.G., *The role of floodplains in attenuating contaminated sediment fluxes in formerly mined drainage basins*. Earth Surface Processes and Landforms, 2009, Vol. 34, 453-466.
- [7] HUDSON-EDWARDS K.A., MACKLIN M.G., CURTIS C.D., VAUGHAN D.J., *Chemical remobilization of contaminant metals within floodplain sediments in an incising river system: implications for dating and chemostratigraphy*. Earth Surface Processes and Landforms 1998, Vol. 23, 671-684.
- [8] KLIMEK K., *Past and present interaction between the catchment and the valley floor: Upper Osoblaha basin, NE Sudetes slope and foreland*. Quaternary International, 2010, Vol. 220, 112-121.
- [9] KONDRACKI J., *Geografia regionalna Polski*. PWN, Warszawa, 2009.
- [10] LIS J., PASIECZNA A., *Atlas geochemiczny Polski*. PIG, Warszawa, 1995.
- [11] VECERA J., VECEROVA J., *Historie zlatohorských dolů*. PINKA, Jeseník, 2010.
- [12] WALLING D.E., OWENS P.N., LEEKS G.L., *The role of channel and floodplain storage in suspended sediment budget of the River Ouse, Yorkshire, UK*. 1998, Geomorphology, Vol. 22, 225-242.

HEAVY METALS IN SEDIMENTS OF THE ZLOTY POTOK AS A RESULT OF CENTURIES OF GOLD MINING

Centuries of mining in Opawskie Mts resulted in contamination of riverbed and overbank sediments of Zloty Potok (40 km ca.). Heavy metals concentrations have been investigated, FAAS was used to determine Cu, Zn and Cd contents. The highest contents was determined in Zlate Hory Mining District and on floodplain above Jarnoltówek village, which ranged [mg/kg]: 83–3534 Cu; 311–8764 Zn; <0.1–47.4 Cd. Concentrations of heavy metals were significant reduced in lower reaches of stream, ranged 42–180; 245–726; 0.35–3.6 respectively. Obtained variability of overbank profiles allow to determine the age of individual layers when compared with historical maps and recorded changes of mining production. Significant content of fine-grained fraction were observed, ranged mainly 40–85%. Erosion of slope covers, which was exposed as a result of growing settlements and agriculture, provided considerable amount of uncontaminated fine-grained fraction to river valley, giving the effect of dilution.