

ANNA KARCZEWSKA, SEBASTIAN LIZUREK

WŁAŚCIWOŚCI GLEB W DOLINIE POTOKU BOBRZYCA W 35 LAT PO KATASTROFIE ZBIORNIKA OSADÓW POFLOTACYJNYCH IWINY

SOIL PROPERTIES IN THE VALLEY OF BOBRZYCA CREEK, 35 YEARS AFTER A DISASTEROUS DAM BREAKAGE IN THE IWINY TAILING POND

Instytut Gleboznawstwa i Ochrony Środowiska Rolniczego, Akademia Rolnicza
we Wrocławiu

Abstract: Presented are soil properties along the Bobrzyca creek valley covered with copper tailings after Iwiny dam breakage in 1967. In grassland and forest profiles, surface layer of silty-clayey sludge, rich in carbonates, can still be morphologically distinguished, with Cu, Pb, and Zn concentrations: 645–767, 186–243, and 46–60 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively. In arable profiles, the sludge was mixed with soil, plough layers became homogeneous, with respective concentrations: 167–835, 64–219, and 38–73 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, Cu and Pb exceeding Polish standards for agricultural soils. A need for remediation is discussed against low metal solubility and negligible plant uptake.

Słowa kluczowe: gleby, osady poflotacyjne, miedź, ołów, rozpuszczalność, rekultywacja.

Key words: soils, tailings, copper, lead, solubility, remediation.

WSTĘP

Flotacja jest procesem technologicznym służącym wzbogacaniu rud metali ciężkich, m.in. rud cynku i ołowiu oraz rud miedzi, w wyniku czego powstają półpłynne odpady zwane osadami poflotacyjnymi, zawierające resztkowe ilości metali, deponowane metodą hydrauliczną w składowiskach, zazwyczaj o charakterze nadpoziomowym. Kopalnie Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego eksploatują aktualnie jedno takie składowisko – zbiornik Żelazny Most, natomiast 6 innych zostało już wyłączonych z eksploatacji [Piestrzyński 1996]. Osadniki poflotacyjne stanowią źródło zagrożenia dla środowiska głównie ze względu na pylenie wysychających osadów [Szerszeń i in. 1996] oraz przesączanie się wód zasolonych na przedpolu zbiornika [Dobrzański,

Byrdziak 1995, Piestrzyński 1996], jednak największe zagrożenie związane jest z niebezpieczeństwem katastrofy budowlanej polegającej na przerwaniu zaporę i zalaniu osadami poflotacyjnymi sąsiednich obszarów. W dniu 13 grudnia 1967 roku, w wyniku utworzenia się wyrwy w zaporze osadnika poflotacyjnego Iwiny, w rejonie Bolesławca, dolina niewielkiej rzeki Bobrzycy, prawego dopływu Bobru, na długości 19 km została zalana osadami o łącznej objętości 4,6 mln m³. Wskutek katastrofy zginęło 18 osób i wiele zwierząt gospodarskich [Tarasiewicz 1968, Rosiński 1978, Piestrzyński 1996]. W latach 60 i 70 ubiegłego stulecia podobne katastrofy miały także miejsce w różnych miejscach świata, m.in. w Aberfan w Wlk. Brytanii, Buffalo Creek w USA i w Stawa we Włoszech [Piestrzyński 1996], natomiast w 1998 roku osady kopalni Aznalcollar w Hiszpanii zalały obszar ponad 5 tysięcy ha, w tym m.in. park narodowy Donana [Pain i in. 1998].

Celem niniejszej pracy jest określenie aktualnego stanu gleb doliny Bobrzycy zalanej osadami zbiornika Iwiny, w 35 lat po katastrofie. Szczególną uwagę poświęcono ocenie zawartości i mobilności metali ciężkich: Cu i Pb w tych glebach.

METODY I OBIEKT BADAŃ

Charakterystyka obszaru badań

Obszar gleb pokrytych w wyniku katastrofy różnej miąższości warstwą osadów rozciąga się na długości ponad 19 km i ma szerokość 50–250 m. Teren ten należy do 6 wsi i jest w znacznej części użytkowany rolniczo, w jego obrębie znajdują się zarówno grunty orne, jak i trwałe użytki zielone, ogrody przydomowe, a także nieużytki. Niewielką część zalanej doliny, w jej dolnej części, stanowią enklawy leśne. Po katastrofie warstwa osadów została zdjeta z powierzchni gleby jedynie na obszarach zabudowanych, natomiast na użytkach rolnych i terenach leśnych nie wykonywano żadnych zabiegów rekultywacyjnych. Na gruntach ornym wskutek normalnych zabiegów agrotechnicznych powierzchniowa warstwa osadów o różnej miąższości została wymieszana ze znajdującą się pod nią glebą. Na innych obszarach bądź przeprowadzono jednokrotną lub kilkukrotną orkę, bądź pozostawiono osady bez jakichkolwiek zabiegów.

Metodyka

W celu określenia aktualnego stanu gleb, w 35 lat po katastrofie, w 9 punktach zlokalizowanych wzdłuż doliny Bobrzycy, w 4 różnych miejscowościach (Iwiny, Lubków, Tomaszów Bolesławiecki i Kraśnik) wykonano odkrywki glebowe, które opisano pod względem morfologicznym, a z wydzielonych poziomów pobrano próbki do analiz laboratoryjnych. Punkty lokalizacji odkrywek reprezentowały wszystkie formy użytkowania gleb doliny: grunty orne (3 profile), trwałe użytki zielone (2), ogrody przydomowe (2) oraz obszary leśne (2). Pobrano także próbki roślin z poszczególnych punktów oraz próbki osadów poflotacyjnych ze zbiornika Iwiny i osadów zdeponowanych na hałdach w 2 miejscowościach: Tomaszowie Bolesławieckim i Kraśniku.

Analizy laboratoryjne gleb i pobranych próbek osadów obejmowały skład granulometryczny i podstawowe właściwości fizykochemiczne i chemiczne, oznaczane ogólnie przyjętymi metodami. W szczególności zawartość węgla organicznego w próbkach mineralnych oznaczano oksydometryczną metodą Tiurina, a w ściółkach – na automatycznym analizatorze C i S Ströhlein CS-MAT 5500, odczyn pH w KCl o stężeniu $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ mierzono potencjometrycznie, a zawartość węglanów (przeliczoną na CaCO_3) – oznaczono metodą Scheiblera. Zawartości metali ciężkich, a zwłaszcza Cu i Pb w glebach, oznaczano metodą płomieniową AAS na aparacie Philips Unicam PU 9100X, po mineralizacji próbek w stężonym kwasie nadchlorowym HClO_4 , a dla próbek o niskich zawartościach metali – po ich zagęszczeniu do fazy organicznej MIBK. Oznaczono ponadto aktualną rozpuszczalność Cu i Pb w glebach, stosując ekstrakcję roztworami obojętnych soli: NH_4NO_3 – $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ wg procedury niemieckiej [Prüß 1997] oraz CaCl_2 – $0,01 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$, zgodnie z uniwersalną procedurą ekstrakcji makro- i mikroelementów z gleby wg Novozamsky'ego i in. [1993]. Wyniki obu tych ekstrakcji zestawiono z rzeczywistym pobraniem Cu i Pb przez rośliny, określonym na podstawie zawartości całkowitej metali w materiale roślinnym, oznaczanej po suchej mineralizacji próbek i roztworzeniu popiołu w kwasie HNO_3 .

WYNIKI I DYSKUSJA

Charakterystyka morfologiczna i podstawowe właściwości gleb

Badane gleby, mady doliny Bobrzyca zazwyczaj wykazują w głębszych częściach profilu luźny skład granulometryczny: od piasków luźnych i słabogliniastych do nieco związlejszych glin lekkich pylastych. W warstwach powierzchniowych występują natomiast utwory znacznie związlejsze: od glin średnich pylastych do glin ciężkich, co niewątpliwie związane jest z naniesieniem na powierzchnię gleb warstwy osadów poflotacyjnych, bogatych we frakcje ilaste. Same osady, których próbki pobrano ze zbiornika Iwiny I i ze zdeponowanych hałd, wykazują związły skład granulometryczny: iłu bądź iłu pylastego, o udziale frakcji koloidalnej w zakresie od 14 do ponad 30% (tab. 1), co potwierdzają także dane literaturowe [Piestrzyński 1996]. Związły skład granulometryczny odróżnia te osady od gromadzonych w Nowym Zagłębiu, w zbiornikach Gilów (nieczynnym) i Żelazny Most [Bogda, Chodak 1995, Piestrzyński 1996], które mają uziarnienie piasków i utworów pyłowo-piaszczystych. Osady Iwin wykazują alkaliczny odczyn i są bogate w węglany [Piestrzyński 1996], pobrana z osadnika próbka osadów o pH (w KCl $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$) wynoszącym 7,7 zawierała 44% CaCO_3 (tab. 1).

W 4 profilach badanych gleb – zlokalizowanych na użytkach zielonych oraz na terenach leśnych – warstwa pyłowo-ilastych osadów poflotacyjnych, o miąższości od kilku do kilkunastu cm, do dziś odróżnia się morfologicznie od leżących pod nią utworów o znacznie lżejszym składzie granulometrycznym, co dla gleby trwałego użytku zielonego w Iwinach zilustrowano na rysunku 1a. Miąższość tej warstwy zależy od odległości od koryta Bobrzyca oraz od mikroreliefu terenu; w ramach niniejszej pracy nie wykonano szczegółowej inwentaryzacji dotyczącej występowania i miąższości tej warstwy osadu. W profilach gleb jednokrotnie lub kilkakrotnie zaoranych po katastrofie, a następnie

TABELA 1. Podstawowe właściwości gleb doliny Bobrzyicy
TABLE 1. Basic properties of soils in the Bobrzyca valley

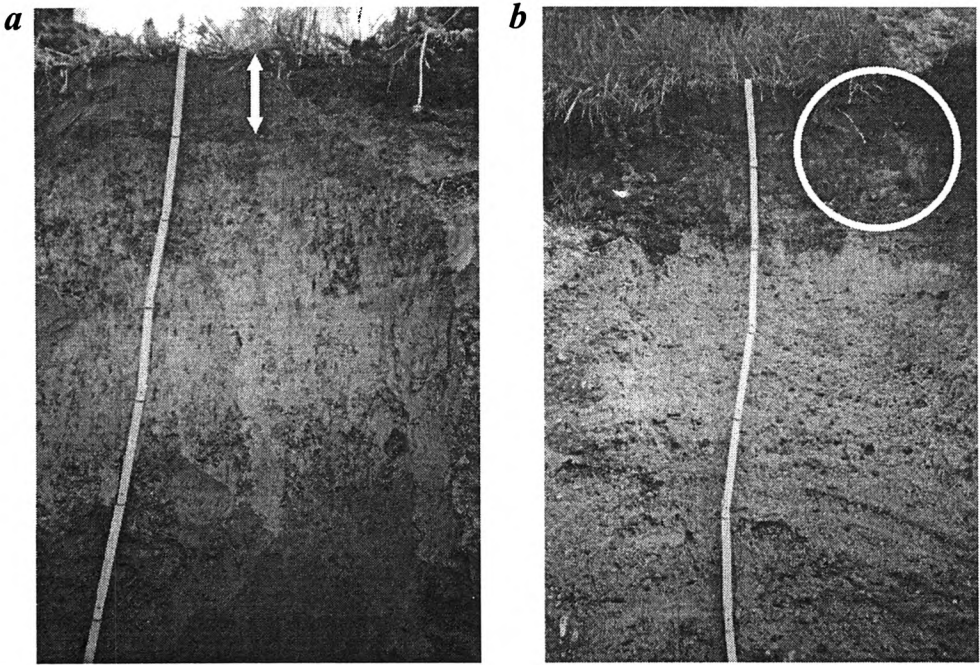
Opis obiektów Site description	Głębokość Depth [cm]	Liczba profili Profile number	Zawartość frakcji [%] Percent of fractions		Corg. [g · kg ⁻¹]	pH _{kCl}	CaCO ₃ [%]
			<0,02 mm	<0,002 mm			
Osad poflotacyjny (zbiornik Iwiny 1) Tailings (pond)	0–20	1	96	32	7,0	7,7	44
Hałdy osadów Dumps	–	4	49–80	14–26	14–23	7,5–7,6	18–33
Wyizolowany osad Separated sludge	–	4	>50–75	20–25	8–10	7,1–7,6	17–31
Gleby uprawne Arable soils	Ap 0–20 30–100 >100	7	34–79 8–43 2–22	2–26 0–15 0–4	6–70 3–26 n.o.	7,0–7,5 5,4–6,7 3,6–6,5	0,1–29 0 0
Gleby leśne Woodland soils	O – litter 5–15 >30	2	– 73–79 8–27 (44*)	– 17–33 1–8	270–470 4–13 n.o.	6,9 7,3–7,6 6,5–7,1	5,5–8,1 29–32 0–0,34

* Wartość w nawiasie dotyczy cienkiego (2 cm) zwęższego przewarstwienia
The value in brackets refers to a thin (2 cm) layer of a heavier texture

pozostawionych do użytkowania jako trwałe użytki zielone, widoczne są obecnie nieregularne wkładki osadów (rys. 1b). 4 próbki takich wkładek osadów, pobrane do analiz z 2 profili wykazywały skład granulometryczny iłu, zawierały 20–25% frakcji iłu koloidalnego i znaczny udział węglanów: 17–31% CaCO₃ (tab. 1). Natomiast w profilach zlokalizowanych na gruntach omych i w przydomowych ogrodach osady zostały wymieszane z warstwą omą gleb, która stała się przez to znacznie zwęższa od warstw leżących niżej (tab. 1). Wskutek zmieszania z osadami poflotacyjnymi warstwa omą gleb charakteryzuje się do dziś obojętnym lub alkalicznym odczynem (pH: 7,0–7,5) i zawiera zróżnicowane ilości węgla wapnia, w zakresie: 0,13–29%. W głębszych częściach profili gleb omych węgiel wapnia nie występuje, a pH wykazuje znaczne zróżnicowanie: od 3,6 do 6,7.

Całkowite zawartości Cu i Pb w glebach i osadach

Osady poflotacyjne zgromadzone w Iwinach zawierają (w mg · kg⁻¹): Cu – 700–1500 oraz Pb – 250–800 [Piestrzyński 1996], co potwierdza skład próbek pobranej z osadnika Iwiny, która zawierała Cu oraz Pb w ilościach odpowiednio 902 i 350 mg · kg⁻¹. Również w osadach zdeponowanych na hałdach stwierdzano podobne zawartości metali: Cu – 617–932 i Pb – 170–280 mg · kg⁻¹ (tab. 2). Zawartości Cu i Pb w 4 wyizolowanych próbkach osadów stanowiących wkładki niez mieszane z glebą były podobnego rzędu i mieściły się w zakresach dla Cu:



RYSUNEK 1. Morfologia profili glebowych z widocznymi osadami poflotacyjnymi: a – gleba trwałego użytku zielonego (Iwiny) z widoczną, niezmienioną warstwą osadu na powierzchni; b – gleba użytku zielonego (Lubków), przeorana 1-krotnie lub kilkakrotnie po zalaniu, widoczne „wkładki” osadu poflotacyjnego w warstwie ornej

FIGURE 1. Morphology of soil profiles with recognizable tailing sludge: a – meadow soil (village Iwiny) with undisturbed layer of the sludge on the surface; b – meadow soil (village Lubkow), ploughed once or several times after flooding; „intrusions” of sludge can be seen in the plough layer

645–767 oraz dla Pb 186–243 mg · kg⁻¹. Podobnie wysokie zawartości obu metali stwierdzono w mineralnych poziomach akumulacyjnych gleb leśnych, niewątpliwie wytworzonych z warstwy naniesionych osadów. Zawartości metali w próbkach pobranych z warstwy ornej – utworzonej z pierwotnego poziomu próchnicznego wymieszanego z osadami – były bardziej zróżnicowane: Cu – 167–835 mg · kg⁻¹ i Pb – 64–219 mg · kg⁻¹. Te zawartości Cu i Pb w badanych glebach użytków rolnych odpowiadają III, IV i V stopniowi zanieczyszczenia wg kryteriów IUNG [Kabata-Pendias i in. 1993], tj. glebom od średnio zanieczyszczonych do bardzo silnie zanieczyszczonych, w związku z czym na większości badanego obszaru należałoby wykluczyć uprawy do celów konsumpcyjnych i paszowych oraz prowadzić systematyczne badania zawartości metali w płodach rolnych. Stwierdzone zawartości Cu w badanych glebach przekraczają także wartość 150 mg · kg⁻¹, tj. wartość standardu jakości gleb dla użytków rolnych oraz leśnych [Rozporządzenie 2002], co wskazywałoby na konieczność rekultywacji tych gleb. Należy jednak przy tym zwrócić uwagę na fakt, że zarówno nienaruszone osady tworzące ciągłe warstwy na powierzchni gleb, jak i wkładki osadów obecne w profilach oraz warstwy przeorane

TABELA 2. Całkowite zawartości Cu i Pb w glebach doliny Bobrzyzcy
 TABLE 2. Total concentrations of Cu and Pb in soils of the Bobrzyca valley

Opis obiektów Site description	Głębokość Depth [cm]	Liczba profili Profile number	Cu [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$]		Pb [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$]	
			zakres range	średnia mean	zakres range	średnia mean
Osad poflotacyjny (zbiornik Iwiny 1) Tailings (pond)	0–20	1	–	902	–	350
Hakły osadów Dumps	–	4	617–932	758	170–280	218
Wyizolowany osad Separated sludge	–	4	645–767	718	186–243	206
Gleby uprawne Arable soils	Ap 0–20	7	167–835	360	64–219	145
	30–100		4–24	11	<1–47	20
	>100		<1–24	3	<1–40	5
Gleby leśne Woodland soils	O – litter	2	412–458	435	138–173	155
	5–15		945–950	947	265–270	267
	>30		3–40	11	8–38	18

utworzone z poziomów próchnicznych wymieszanych z osadami, charakteryzują się wysoką zawartością węglanów i alkalicznym odczynem, co powoduje skuteczne unieruchomienie metali ciężkich, zapobiega ich wymywaniu do głębszych warstw gleby oraz ogranicza fitoprzyswajalność. Potwierdzają to nieznaczne zawartości Cu i Pb w głębszych poziomach gleb. Maksymalne stwierdzone zawartości miedzi i ołowiu w próbkach z warstwy podornej i głębszych wynosiły odpowiednio $24 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ i $47 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Typowy układ profilowy rozmieszczenia Cu i Pb w glebie trwałego użytku zielonego, użytkowanej przez wiele lat po katastrofie jako grunt orny (miejsce Iwiny) oraz w glebie leśnej (Kraśnik), na tle procentowej zawartości frakcji iłu koloidalnego ($<0,002 \text{ mm}$) ilustruje rysunek 2. Uwagę zwracają natomiast znaczne zawartości Cu i Pb w ściółkach leśnych ($\text{Cu } 412\text{--}458 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ oraz $\text{Pb } 138\text{--}173 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), wskazujące na możliwość bioakumulacji obu metali. Wysokie zawartości Cu i Pb w poziomach organicznych można oczywiście tłumaczyć mechanicznym przemieszaniem i zanieczyszczeniem ściółek mineralnymi składnikami gleby, ale należałoby przeprowadzić bardziej szczegółowe badania nad bioakumulacją obu metali w nadziemnych częściach, a zwłaszcza w liściach drzew.

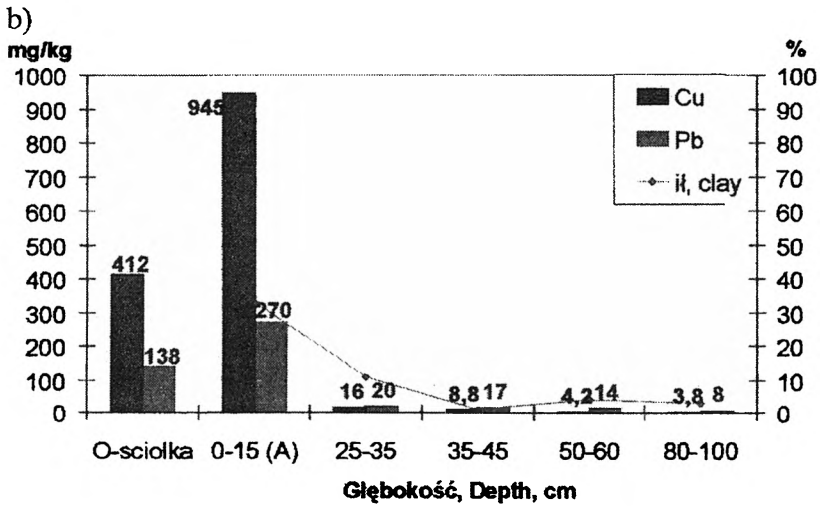
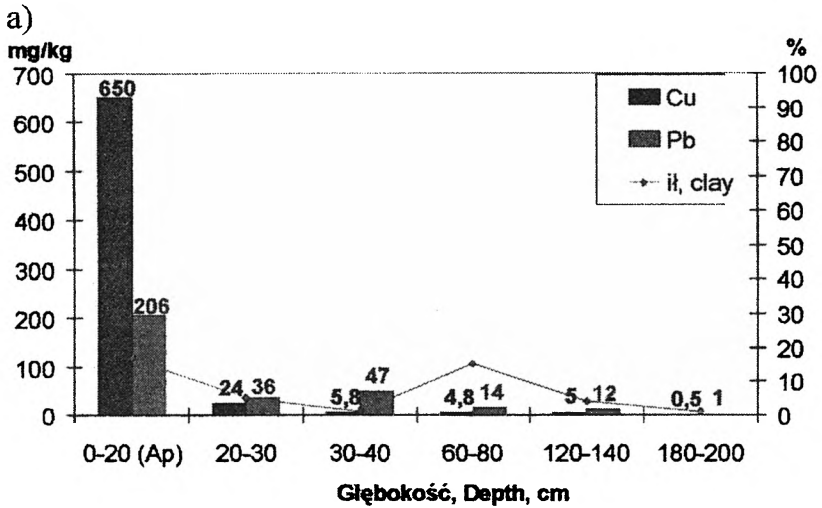
Rozpuszczalność Cu i Pb w osadach i glebach

Jak już wspomniano, znaczna zawartość frakcji iłu koloidalnego oraz węglanów w powierzchniowych warstwach badanych gleb powoduje skuteczne ograniczenie rozpuszczalności metali i ich migracji w głąb profilu. Potwierdzają to wyniki ekstrakcji

TABELA 3. Aktualna rozpuszczalność Cu i Pb w glebach, określana na podstawie ekstrakcji roztworami: NH_4NO_3 o stężeniu $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ i CaCl_2 o stężeniu $0,01 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$
 TABLE 3. Actual solubility of Cu and Pb in soils, as determined in the extraction with $1 \text{ M NH}_4\text{NO}_3$ and 0.01 M CaCl_2

Metal	Opis próbek (poziomy glebowe) Sample description, (soil horizons)	Liczba próbek Number of samples	Formy rozpuszczalne w roztworach Soluble forms in solutions of [$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$]			
			$\text{NH}_4\text{NO}_3 - 1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$		$\text{CaCl} - 0.01 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$	
			zakres range	średnia mean	zakres range	średnia mean
Cu	Wyseparowany osad Separated sludge	8	42–299	184	0,08–0,12	0,09
	Poziomy A wzbogacone w metale Metal-rich A horizons	9	8,5–297	232	0,03–1,0	0,16
	Głębsze poziomy Lower horizons	18	<0,5–1.0	<0,6	<0,01–0,04	0,02
Pb	Wyseparowany osad Separated sludge	8	<0,25	<0,25	<0,01–0,01	<0,01
	Poziomy A wzbogacone w metale Metal-rich A horizons	9	<0,25	<0,25	<0,01–0,08	0,03
	Głębsze poziomy Lower horizons	18	<0,25	<0,25	<0,01–0,08	0,02

Cu i Pb z gleb oraz osadów przy użyciu roztworów: CaCl_2 $0,01 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ (tab. 3). Ekstrahowane tym roztworem z poziomów powierzchniowych wzbogaconych w miedź ilości Cu mieściły się w zakresie $0,03\text{--}1,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, a w przypadku poziomów głębszych, a także czystych osadów – nie przekraczały wartości $0,12 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Wyniki ekstrakcji form rozpuszczalnych ołowiu pozostawały jeszcze niższe: poniżej $0,08 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, a zazwyczaj – poniżej granicy detekcji AAS, odpowiadającej $0,01 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Świadczy to o bardzo niskiej rozpuszczalności aktualnej obu metali, a zwłaszcza Pb, w glebach doliny Bobrzyca. Uwagę zwracają jednak wyniki ekstrakcji metali z gleb i osadów przy użyciu jako roztworu ekstrakcyjnego NH_4NO_3 o stężeniu $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$, stosowanego standardowo w Niemczech do określania przyswajalnych form pierwiastków śladowych [Prüß 1997]. Ekstrakty zawierały śladowe koncentracje Pb oraz bardzo wysokie stężenia Cu odpowiadające $8,5\text{--}299 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Formy Cu podatne na ekstrakcję roztworem NH_4NO_3 stanowiły w przypadku czystych osadów (ze zbiornika Iwiny, hałd oraz osadów wyseparowanych z profili glebowych) wysoki udział $21,7\text{--}34,0\%$ całkowitej zawartości Cu. W przypadku poziomów powierzchniowych gleb,



RYSUNEK 2. Profilowe rozmieszczenie Cu i Pb na tle zawartości iłu koloidalnego: a) w glebie łąkowej (miejscowość Iwiny), b) w glebie leśnej (miejscowość Kraśnik)

FIGURE 2. Profile distribution of Cu and Pb at the background of clay content: a) in present meadow soil, over several years used as arable field (village Iwiny), b) in a forest soil (village Kraśnik)

TABELA 4. Zawartości Cu i Pb w roślinach – TABLE 4. Cu and Pb concentrations in plants

Roślina – Plant	Liczba próbek No. of samples	Cu [mg · kg ⁻¹ s.m. – d.m.]		Pb [mg · kg ⁻¹ s.m. – d.m.]	
		zakres range	średnia mean	zakres range	średnia mean
Zboża – słoma Cereals – straw	4	3–11	8,5	0,10–0,20	0,12
Zboża – ziarno Cereals – grains	4	2,5–6,5	4,2	0,01–0,10	0,04
Ruń łąkowa (trawy i zioła) Meadow grass & herbs	6	6,2–9,6	7,5	0,15–0,28	0,22
Mniszek lekarski Dandelion	5	16–21	19	0,4–0,60	0,55
Ziemniaki (bulwy) Potatoes (tubers)	3	17–20	19	0,15–0,51	0,42
Buraki ćwikłowe – korzeń Red beet – roots	1	15	15	0,10	0,10
Pietruszka – liście Parsley – shoots	3	21–29	26	0,20–0,32	0,24
Pietruszka – korzeń Parsley – roots	3	20–29	23	0,35–1,14	0,78

wymieszanych z osadami, udział ten był nieco niższy: 4,9–22,2% całkowitej zawartości Cu w glebie. Wysoka rozpuszczalność Cu w roztworze NH_4NO_3 wynika z tworzenia przez jony tego pierwiastka w środowisku alkalicznym połączeń kompleksowych z jonami amonowymi, co potwierdzają prace różnych autorów poświęcone zachowaniu się miedzi w glebach węglanowych i w innych glebach po ich alkalizacji [McBride, Bouldin 1984, Brümmer 1986, Hogg i in. 1993, McBride i in. 2000, Karczewska 2002a,b]. Podobnie wysoką rozpuszczalność Cu w roztworze NH_4NO_3 stwierdzono także wcześniej w materiale warpii górniczych, zawierającym margliste łupki miedzionośne bogate w węglan wapnia [Karczewska 1999]. Możliwość tworzenia rozpuszczalnych kompleksów Cu z jonami amonowymi należy uwzględnić przy projektowaniu zabiegów agrotechnicznych, a w szczególności – przy doborze form stosowanych nawozów azotowych. Zagadnienia te powinny stać się także przedmiotem dalszych szczegółowych badań.

Pobranie Cu i Pb przez rośliny uprawne

Zawartości Cu i Pb w roślinach uprawnych oraz w próbkach runi łąkowej pobranych w bezpośrednim sąsiedztwie odkrywek glebowych zestawiono w tabeli 4. Uzyskane dane dotyczące Pb potwierdzają nieznaczną ruchliwość i niewielką fitoprzyswajalność

tego pierwiastka w badanych glebach. Nieco podwyższone zawartości Pb przekraczające $0,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. stwierdzono jedynie w przypadku mniszka lekarskiego oraz korzeni pietruszki, a lokalnie – także w bulwach ziemniaków, tj. w tych roślinach, które pobierają zazwyczaj znaczniejsze ilości metali ciężkich z gleb [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Zawartości miedzi w pobranych próbkach materiału roślinnego są nieznacznie wyższe od przeciętnie spotykanych w warunkach gleb niezanieczyszczonych. Podobnie jak w przypadku Pb, dotyczy to zwłaszcza roślin warzywnych (pietruszka, buraki ćwikłowe) oraz bulw ziemniaków. Należy jednak stwierdzić, że zawartości Cu poniżej $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. w próbkach roślin o przeznaczeniu konsumpcyjnym (z wyjątkiem pietruszki) oraz poniżej $25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. w runi łąkowej, w tym w liściach mniszka lekarskiego, nie budzą zastrzeżeń w związku z ewentualnym przeznaczeniem tych roślin odpowiednio na cele konsumpcyjne lub paszowe [Kabata-Pendias i in. 1993; Kabata-Pendias, Pendias 1999].

WNIOSKI

1. W wyniku naniesienia na powierzchnię gleb doliny Bobrzycy warstwy zwięzłych, bogatych w węglany osadów poflotacyjnych, nastąpiła poprawa właściwości fizycznych i fizykochemicznych tych gleb, czego efekty pozostają trwałe po 35 latach. W klasyfikacji systematycznej należałoby te gleby zaliczyć już nie do mad, lecz do pararendzin antropogenicznych.
2. Powierzchniowe warstwy gleb nadal zawierają bardzo wysokie ilości Cu i Pb, znacznie przekraczające wartości standardów dla gleb użytków rolnych i leśnych. Zgodnie z wymogami prawa gleby te należałoby rekultywować tak, aby usunąć z nich nadmiar metali. Jednak ze względu na ograniczoną rozpuszczalność Cu i Pb rzeczywista konieczność takiej rekultywacji pozostaje dyskusyjna.
3. Zarówno Cu i Pb pozostają w glebach w formach bardzo słabo rozpuszczalnych, co potwierdzają wyniki ekstrakcji w CaCl_2 , a także profilowe rozmieszczenie obu metali w glebach.
4. Nie istnieje poważniejsze zagrożenie związane z pobieraniem Cu i Pb przez rośliny uprawne przeznaczone na cele konsumpcyjne lub paszowe.
5. Wobec faktu, że kompleksowanie Cu i Pb przez jony amonowe lub niskocząsteczkowe kwasy organiczne może następować także w warunkach obojętnego odczynu, należy podjąć dalsze badania nad możliwym wpływem tych czynników na uruchomienie metali i wzrost ich biodostępności w glebach doliny Bobrzycy.

LITERATURA

- BOGDA A., CHODAK T. 1995: Wybrane właściwości fizyczne i skład mineralogiczny osadów poflotacyjnych zbiornika Gilów. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* **418**, I: 415–420.
- BRÜMMER G.W. 1986: Heavy metal species, mobility and availability in soils. W: Bernhard M., Brinckman F.E., Sadler P.J. (eds.) The importance of chemical “speciation” in environmental processes. Dahlem Konferenzen 1986. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg: 169–192.
- DOBRZAŃSKI J., BYRDZIAK H. 1995: Wpływ polskiego przemysłu miedziowego na środowisko. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* **418**: 399–405.

- HOGG D.S., MCLAREN R.G., SWIFT R.S. 1993: Desorption of copper from some New Zealand soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **57**: 361–366.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1999: Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa: 398 ss.
- KABATA-PENDIAS A., PIOTROWSKA M., WITEK T. 1993: Ocena jakości i możliwości rolniczego użytkowania gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi. W: Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. Ramowe wytyczne dla rolnictwa. IUNG, Puławy.
- KARCZEWSKA A. 1999: Metale ciężkie w glebach i roślinach na hałdach pogórnictwa dawnych ośrodków górnictwa i hutnictwa miedzi w Parku Krajobrazowym Chełmy. *Och. Środ. Zas. Natur.* **18**: 177–186.
- KARCZEWSKA A. 2002a: Metale ciężkie w glebach zanieczyszczonych emisjami hut miedzi – formy i rozpuszczalność. Rozprawa habilitacyjna. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu. Rozprawy CLXXXIV, Wydział Rolniczy*, **432**, Wrocław.
- KARCZEWSKA A. 2002b: Rozpuszczalność miedzi, ołowiu i cynku w glebach zanieczyszczonych w zależności od odczynu i kompleksowania związkami organicznymi. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* **482**: 269–274.
- MC BRIDE M.B., BOULDIN D.R. 1984: Long-term reactions of copper (II) in a contaminated calcareous soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **48**: 56–59.
- MC BRIDE M.B., MARTINEZ C.E., TOPP E., EVANS L. 2000: Trace metal solubility and speciation in a calcareous soil 18 years after no-till sludge application. *Soil Sci.* **165**, 8: 646–656.
- NOVOZAMSKY I, LEXMOND TH.M., HOUBA V.J.G. 1993: A single extraction procedure of soil for evaluation of uptake of some heavy metals by plants. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.* **51**: 47–58.
- PIESTRZYNSKI A. (red.) 1996: Monografia KGHM S.A. Wyd. CBPM Cuprum, Wrocław-Lubin
- PRÜß A. 1997: Action values for mobile (NH_4NO_3 -extractable) trace elements in soils based on the German national standard DIN 19730. W: Prost R. (ed.) Contaminated Soils. 3rd International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements, Institut National de la Recherche Agronomique, Paris: 415–423.
- ROSIŃSKI B. 1978: Błędy w rozwiązaniach geotektonicznych. Wydaw. Geologiczne, Warszawa: 21–27.
- ROZPORZĄDZENIE 2002: Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi z dnia 9 września 2002. Dz.U. Nr 165, poz. 1358.
- SZERSZEŃ L., CHODAK T., KABAŁA C., KARCZEWSKA A., BARTOSZEWSKA K. 1996: Pierwiastki śladowe w glebach i roślinach w rejonie zbiornika odpadów poflotacyjnych „Żelazny Most”. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* **434**: 889–894.
- TARASIEWICZ M. 1968: Wydarzenia w Iwinach. *Kultura* 2/68.

dr hab. Anna Karczewska
Instytut Gleboznawstwa i Ochrony Środowiska Rolniczego,
Akademia Rolnicza we Wrocławiu,
50-357 Wrocław, ul. Grunwaldzka 53
E-mail: karcz@ozi.ar.wroc.pl

