

**Anna Karczewska, Cezary Kabala**

**GLEBY ZANIECZYSZCZONE METALAMI CIĘŻKIMI  
I ARSENIEM NA DOLNYM ŚLĄSKU – POTRZEBY I METODY  
REKULTYWACJI**

**THE SOILS POLLUTED WITH HEAVY METALS  
AND ARSENIC IN LOWER SILESIA – THE NEED  
AND METHODS OF RECLAMATION**

*Institut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
Institute of Soil Science and Environmental Protection, Wrocław University  
of Environmental and Life Sciences*

Badania prowadzone przez różne instytucje potwierdzają lokalne występowanie na Dolnym Śląsku gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi. Problem ten dotyczy zwłaszcza obszarów związanych z aktualnym i historycznym wydobywaniem oraz przetwórstwem rud metali, sąsiedztwa składowisk odpadów przemysłowych i komunalnych, a także różnych terenów miejskich i poprzemysłowych. Na części tych obszarów stwierdza się przekroczenie wartości dopuszczalnych określonych w standardach jakości gleb i ziem. W niniejszej pracy przedstawiono przykłady takich obiektów, z uwzględnieniem czynników wpływających na ocenę zagrożenia ekologicznego. Podjęto też dyskusję nad wyborem strategii postępowania służącej rekultywacji takich gleb, w odniesieniu do oceny zagrożenia oraz wymogów obowiązującego prawa.

**SŁOWA KLUCZOWE:** gleby, metale ciężkie, arsen, zanieczyszczenie, rekultywacja, tereny pogórnice, tereny przemysłowe, standardy jakości gleb

### **WSTĘP**

Metale ciężkie w glebach stanowią mogą potencjalne źródło zagrożenia dla roślin oraz dla wód podziemnych, a w konsekwencji – mogą być włączane do łańcucha pokar-

---

Do cytowania – For citation: Karczewska A., Kabala C., 2010. Gleby zanieczyszczone metalami ciężkimi i arsenem na Dolnym Śląsku – potrzeby i metody rekultywacji, Zesz. Nauk. UP Wroc., Rol., XCVI, Nr 576, 59–80.

owego. Dlatego problem ten wymaga stałej kontroli i monitorowania. Gleby zanieczyszczone metalami ciężkimi występują w Polsce lokalnie, głównie na obszarach uprzemysłowionych. W świetle badań przeprowadzonych na szeroką skalę przez IUNG gleby zanieczyszczone metalami ciężkimi w stopniu wyższym niż 1 (w skali 0–5) stanowią w województwie dolnośląskim nieznacznie ponad 2% powierzchni użytków rolnych (Terelak i wsp. 1997, GUS 2009). Dane te dotyczą jednak tylko użytków rolnych. Tymczasem na obszarach o innych kategoriach użytkowania stwierdza się także występowanie podwyższonych, a niekiedy wysokich zawartości metali ciężkich w glebach. Dotyczy to w szczególności gleb na obszarach wydobywania i przetwórstwa rud metali – aktualnego i historycznego, sąsiedztwa zakładów hutniczych i metalurgicznych oraz składowisk odpadów komunalnych i przemysłowych, a także terenów miejskich i poprzemysłowych. Ze względu na znaczną siłę wiązania większości metali ciężkich przez kompleks sorpcyjny gleby pierwiastki te zazwyczaj zostają unieruchomione w warstwie powierzchniowej gleby, co oznacza, że stan zanieczyszczenia pozostaje problemem na długo nawet po wyeliminowaniu źródła emisji.

Celem niniejszej pracy jest analiza problemu zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi na Dolnym Śląsku, ze szczególnym uwzględnieniem tych obszarów, na których przekroczone zostały dopuszczalne zawartości metali określone w standardach jakości gleb i ziem (Rozporządzenie 2002b). Gleby takie powinny bezwzględnie podlegać rekultywacji, jednak wybór strategii postępowania służącej temu celowi nie jest prosty i wymaga każdorazowo indywidualnej analizy problemu.

## **ŹRÓDŁA INFORMACJI O ZANIECZYSZCZENIU GLEB METALAMI CIĘŻKIMI**

Kompleksowy obraz stanu zanieczyszczenia metalami ciężkimi gleb użytków rolnych Polski, opublikowany przez IUNG, powstał na podstawie wyników uzyskanych dla ponad 40 tysięcy próbek gleb przeanalizowanych w latach 1992–1997 (Terelak i wsp. 1997). Badania te prowadzono na długo przed wprowadzeniem ustawowego wymogu kontroli stanu środowiska glebowego pod kątem jego zanieczyszczenia. Obecnie badania gleb poświęcone rozpoznaniu obiektów zanieczyszczonych prowadzone są głównie w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska i należą do ustawowych obowiązków starostów, wynikających z przepisów Prawo ochrony środowiska z 2001 r. (Ustawa 2001), a także z Ustawy o ochronie gruntów rolnych i leśnych z 1995 r. (Ustawa 1995). Wyniki badań monitoringowych gromadzone są i upowszechniane przez Inspekcję Ochrony Środowiska (IOŚ 2003–2009). Obowiązek prowadzenia stałych badań może być dodatkowo nałożony na podmioty władające obszarami, na których stwierdzono znaczne zanieczyszczenie środowiska glebowego. Dotyczy to zwłaszcza stref ograniczonego użytkowania, na przykład w otoczeniu hut miedzi.

Oprócz prac badawczych wynikających z wymogów prawa, służących inwentaryzacji i kontroli stanu zanieczyszczenia, wykonywane są także inne opracowania o charakterze kartograficznym, dające obraz zawartości poszczególnych pierwiastków w glebach

na różnych obszarach i w różnej skali. Należy tu w szczególności wymienić programy realizowane przez Państwowy Instytut Geologiczny, na podstawie których przygotowano atlasy geochemiczne, m.in. atlas geochemiczny Polski (Lis i Pasieczna 1995), atlasy różnych regionów, w tym najbardziej uprzemysłowionych, oraz atlas geochemiczny polskich miast (Lis i wsp. 1999, Pasieczna 2003).

Osobną grupę prac poświęconych problematyce zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi stanowią badania *stricto* naukowe, podejmowane nie tyle w celu rozpoznania obszarów zanieczyszczonych, ile dla szczegółowej analizy czynników decydujących o zagrożeniu dla zdrowia człowieka oraz dla środowiska, w zależności od rodzaju i pochodzenia zanieczyszczenia, właściwości gleb, a także różnych czynników decydujących o mobilności i bioprzyswajalności zanieczyszczeń w glebach. Autorzy niniejszego opracowania od lat zajmują się tą właśnie problematyką.

## KRYTERIA OCENY ZANIECZYSZCZENIA I WYMÓG REKULTYWACJI GLEB W ŚWIETLE PRAWA

W latach dziewięćdziesiątych podstawowym i praktycznie jedynym kryterium oceny zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi były wytyczne IUNG opracowane dla gleb użytkowanych rolniczo (Kabata-Pendias i wsp. 1993). Ocena stopnia zanieczyszczenia opiera się w nich na całkowitych zawartościach metali w powierzchniowej warstwie gleby (0–20 cm), z uwzględnieniem właściwości gleb decydujących o mobilności metali, takich jak skład granulometryczny, zawartość próchnicy oraz odczyn. Choć wytyczne przeznaczone dla gleb użytków rolnych, przyjęte w nich kryteria często wykorzystywano do orientacyjnej oceny stopnia zanieczyszczenia także na obszarach użytkowanych w inny sposób.

Dopiero w roku 2001 ustawa Prawo ochrony środowiska (Ustawa 2001) wprowadziła pojęcie standardów jakości gleb i ziem, a szczegółowe wartości standardów opublikowano w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 2002 r. (Rozporządzenie 2002b). Standardy określają dopuszczalne zawartości zanieczyszczeń w glebach, dla różnych form użytkowania gruntów (grupy sozologiczne A, B, C), i stanowią punkt odniesienia dla ochrony gleb przed antropogenicznym zanieczyszczeniem (tab. 1). Jednocześnie powinny być podstawą do egzekwowania obowiązku rekultywacji gleb zanieczyszczonych. Zgodnie z Prawem ochrony środowiska gleby, na których standardy zostały przekroczone, należy doprowadzić do stanu zgodnego ze standardami. Wymóg ten ma znaczenie kluczowe dla decyzji o rekultywacji gleb zanieczyszczonych, mimo że w znowelizowanej wersji Prawa ochrony środowiska (Ustawa 2001) sam termin „rekultywacja gleb” nie jest obecny.

Pojęcie rekultywacji gruntów zdegradowanych definiuje Ustawa o ochronie gruntów rolnych i leśnych z 1995 r. (Ustawa 1995), jednak stosowne zapisy tej ustawy nie dotyczą gleb, które zostały zanieczyszczone „substancjami, preparatami, organizmami lub mikroorganizmami”. W takich przypadkach zasady postępowania określa Ustawa o zapobieganiu szkodom w środowisku i ich naprawie (Ustawa 2007). Nie dotyczy ona jednak obiektów, na których zanieczyszczenie nastąpiło wcześniej niż przed 30 laty. Obowiązu-

jące są nadal regulacje prawne dotyczące obszarów ograniczonego użytkowania, istniejących wokół zakładów przemysłowych, zgodnie z Ustawą o ochronie gruntów rolnych i leśnych (Ustawa 1995).

Tabela 1

Table 1

Przykładowe wartości standardów jakości gleb i ziem dla wybranych metali ciężkich, według Rozporządzenia (2002)  
Examples of soil and earth quality standards for selected heavy metals, according to Rozporządzenie (2002)

Metal	Grupa obszarów – The group of areas								
	A	B						C	
	Głębokość (m) – Depth (m)								
	0–0,3	0,3–15		>15			0–2	2–15	
Wodoprzepuszczalność – Water permeability									
	–	w	n	w	n	n	–	w	n
As	20	20	20	25	25	55	60	25	100
Cu	30	150	100	100	100	200	600	200	1000
Pb	50	100	100	200	100	200	600	200	1000
Zn	100	300	350	300	300	720	1000	300	3000
Cr	50	150	150	190	150	380	500	150	800
Ni	35	100	50	100	70	210	300	70	500

Wodoprzepuszczalność: w – wysoka ( $> 10^{-7} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), n – niska ( $< 10^{-7} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

Water permeability: w – high ( $> 10^{-7} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), n – low ( $< 10^{-7} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

Należy zauważyć, że dopuszczalne zawartości zanieczyszczeń w glebach, określone jako standardy jakości gleb i ziem, zostały przyjęte arbitralnie, nie uwzględniają zróżnicowania właściwości gleb i *de facto* nie przesądzają jednoznacznie o istnieniu lub nie zagrożenia ekologicznego związanego z możliwym włączeniem tych zanieczyszczeń do obiegu biogeochemicznego. Zagrożenie takie zależy bowiem nie tylko od całkowitych zawartości zanieczyszczeń w glebie, ale od ich mobilności i bioprzyswajalności (Alloway i Ayres 1999, Kabata-Pendias i Pendias 1999). W europejskich i światowych regulacjach prawnych dotyczących rekultywacji gleb odchodzi się od określania wartości docelowych na rzecz oceny ryzyka (Gworek i wsp. 2003). Należy mieć świadomość, że zgodność zawartości zanieczyszczeń w glebie ze standardami nie musi w pełni gwarantować bezpieczeństwa ekologicznego, zwłaszcza gdy gleby zanieczyszczone charakteryzują się słabymi zdolnościami sorpcyjnymi i kwaśnym odczynem. W takich przypadkach niezbędne jest prowadzenie działań zapobiegających pogorszeniu właściwości gleby, zgodnie z ustawowym obowiązkiem przeciwdziałania degradacji gleb, zapisanym w Ustawie o ochronie gruntów rolnych i leśnych (Ustawa 1995).

## STRATEGIE I METODY REKULTYWACJI GLEB ZANIECZYSZCZONYCH METALAMI CIĘŻKIMI

Metody stosowane od lat w celu rekultywacji gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi opierają się na jednej z dwu strategii: unieruchomienia (immobilizacji) metali w glebie lub ich uruchomienia i usunięcia z gleby.

### Metody stabilizacji zanieczyszczeń w glebach

Zabiegi unieruchomiania metali ciężkich w glebie nie prowadzą wprawdzie do zmniejszenia całkowitych ich zawartości, ale skutecznie ograniczają ryzyko ekologiczne. Uzyskuje się w ten sposób efekt w postaci poprawy właściwości fizycznych i chemicznych gleby, co do roku 2007 czyniło zadość wymogom rekultywacji w świetle Ustawy o ochronie gruntów rolnych i leśnych (Ustawa 1995). Zabiegi immobilizacji metali powinny być stosowane szczególnie tam, gdzie nie zostały przekroczone standardy jakości gleb i ziem, a także w celu tymczasowego ograniczenia ryzyka ekologicznego na obszarach przekroczeń standardów, jeśli zabieg usunięcia nadmiaru metali z gleb nie może być w krótkim czasie zastosowany. Efekt immobilizacji metali ciężkich w fazie stałej gleby można uzyskać stosunkowo łatwo, dzięki zmianie właściwości gleb decydujących o rozpuszczalności metali w glebie, a zwłaszcza – dzięki regulacji odczynu oraz poprawie zdolności sorpcyjnych gleby. Podstawowym zabiegiem ograniczającym ruchliwość metali jest odkwaszenie gleb przez wapnowanie (McBride 1994, Kabata-Pendias i Pendias 1999, Alloway i Ayres 1999). Efekt zmniejszenia mobilności metali można uzyskać ponadto, wprowadzając do gleby materiały organiczne o dużej pojemności sorpcyjnej, takie jak torf, granulowany lub sproszkowany węgiel brunatny, kompost, trociny czy korę drzewną. Rzadziej stosowanym sposobem zwiększenia zdolności sorpcyjnych gleb lekkich jest zastosowanie dodatków bogatych w minerały ilaste, na przykład w formie zabiegu łożowania, polegającego na wymieszaniu powierzchniowej warstwy gleby piaszczystej z nawiezionym materiałem zwięźlejszym. Sorpcję chemiczną metali ciężkich w glebie wspomagać można przez zastosowanie materiałów zawierających fosforany, np. fosforytów lub hydroksyapatytu (Buczowski i wsp. 2002, Karczevska 2008). Należy tu zwrócić uwagę, że słabo zhumifikowana substancja organiczna wprowadzana do gleby może zawierać niskocząsteczkowe frakcje organiczne, łatwo rozpuszczalne w wodzie i zdolne do kompleksowania metali ciężkich, co może spowodować niepożądany wzrost ich rozpuszczalności. Między innymi dlatego przepisy polskiego prawa nie zezwalają na stosowanie komunalnych osadów ściekowych do użyźniania lub rekultywacji gleb zawierających wysokie koncentracje metali ciężkich (Rozporządzenie 2002a).

Skuteczne przykrycie powierzchni gleby zwartą okrywą roślinną dodatkowo ogranicza skutki erozji gleb zanieczyszczonych i określane jest terminem fitostabilizacja. Rośliny pełnią funkcję ochronną, przeciwerozryjną, a ponadto stymulują procesy sorpcji metali w glebie i modyfikują gospodarkę wodną gleby, zmniejszając zagrożenie wypłukiwaniem metali.

Metody oparte na strategii immobilizacji metali ciężkich w glebach zanieczyszczonych były dotąd praktycznie jedyną stosowaną w Polsce formą rekultywacji tych gleb

– powszechnie dostępną i ekonomicznie zasadną. Regulacja odczynu gleb pozwala na przywrócenie życia biologicznego i odtworzenie okrywy roślinnej na terenach wcześniej całkowicie zdewastowanych, na przykład wskutek oddziaływania emisji hutniczych nie tylko w Polsce, ale także w rejonach wielkich kompleksów hutniczych w innych krajach, jak Sudbury, Tacoma, Harjavalta czy Falun. Jednak ze względu na utrzymywanie się potencjalnego zagrożenia dla środowiska – metody immobilizacji zanieczyszczeń metalicznych uważa się za tymczasowe i niewystarczające, zwłaszcza wówczas gdy przekroczone są standardy jakości gleb.

### **Metody usuwania zanieczyszczeń z gleb**

Jeśli zawartość metali ciężkich w glebie przekracza standardy jakości gleb i ziem, zabiegiem, który należy przeprowadzić zgodnie z wymogami prawa, powinno być usunięcie z gleby ponadnormatywnych ilości metali. Uzyskuje się to bądź zdejmując najbardziej zanieczyszczoną warstwę i deponując ją na składowisku odpadów niebezpiecznych (co nie w pełni odpowiada zasadom kompleksowej ochrony środowiska), bądź zmniejszając koncentrację zanieczyszczeń w glebie. W szczególnych sytuacjach zabieg polegający na głębokim przeoraniu silnie zanieczyszczonej warstwy powierzchniowej może doprowadzić glebę do stanu zgodnego z wymogami standardów jakości, jednak jest to *de facto* półśrodek, który w niewielkim stopniu poprawia właściwości.

Techniczny proces oczyszczania (dekontaminacji) można realizować w dwojaki sposób: *in situ* – na miejscu, gdzie nastąpiło zanieczyszczenie lub *ex situ* – poza miejscem zanieczyszczenia, w stacjonarnym albo mobilnym zakładzie oczyszczania gleb. W celu uruchomienia metali z fazy stałej gleby i ich usunięcia wykorzystuje się najczęściej mechanizm wymywania (ekstrakcji), niekiedy wspomagany elektrochemicznie. Metody techniczne oczyszczania gleb z metali ciężkich budzą jednak wiele zastrzeżeń, nie tylko ze względu na ich wysokie koszty, ale na fakt radykalnej ingerencji we właściwości gleb. Procesy oczyszczania czynią z gleby martwy materiał pozbawiony żywych organizmów, często o zmienionej lub całkowicie zniszczonej strukturze. Do odtworzenia życia biologicznego niezbędne jest potem długotrwałe stosowanie metod biologicznej rekultywacji.

W świetle badań prowadzonych na świecie od początku lat dziewięćdziesiątych w celu usunięcia nadmiaru metali ciężkich z gleb duże nadzieje wiązano, i wiąże się nadal, z możliwością wykorzystania metod fitoremediacji, a zwłaszcza fitoekstrakcji. Metody te – jako nieinwazyjne, a przez to przyjazne środowisku – zyskały szerokie zainteresowanie. Efektywność fitoekstrakcji metali ciężkich z gleb jest jednak zazwyczaj bardzo niska i nie daje szans na usunięcie znaczniejszych ilości metali z gleby w realnym czasie rzędu kilkunastu – kilkudziesięciu lat. Próby zwiększenia skuteczności fitoekstrakcji, na przykład przez zastosowanie zjawiska hiperakumulacji naturalnej lub indukowanej, nie przyniosły na razie pożądanych rezultatów i pozostają nadal na etapie badań, bez widocznych perspektyw na ich zastosowanie w praktyce (Karczevska i wsp. 2008).

## OBSZARY ZANIECZYSZCZONE NA DOLNYM ŚLĄSKU – W ŚWIETLE BADAŃ WŁASNYCH I PRZEGLĄDU LITERATURY

Autorzy niniejszego opracowania nie stawiają sobie za cel przedstawienia pełnego obrazu stanu zanieczyszczenia gleb Dolnego Śląska. Inwentaryzacja i monitoring wszystkich obszarów zanieczyszczonych jest zadaniem na wiele lat, które sukcesywnie jest i będzie realizowane przez wyznaczone do tego instytucje. Poniżej przedstawiono dane dotyczące stanu zanieczyszczenia metalami ciężkimi gleb na obszarach, gdzie należy spodziewać się wzbogacenia gleb w metale, ale skala tego wzbogacenia nie jest oczywista i wymaga badań. Do takich obszarów, wartych prezentacji, zaliczono: tereny w zasięgu oddziaływania współczesnego przemysłu miedziowego, rejon historycznej eksploatacji i przetwarzania rud metali nieżelaznych, sąsiedztwo składowisk odpadów, a także wybrane obszary miejskie, zwłaszcza w obrębie Wrocławia.

### Współczesne rejonry górnictwa i przetwórstwa rud miedzi. LGOM

Produkcja miedzi w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym obejmuje 3 podstawowe etapy: wydobywania rudy, wzbogacania (flotacji) oraz termicznego przetwarzania i końcowej obróbki w hutach. Na każdym z tych etapów metale ciężkie emitowane są do środowiska i przyczyniają się do zanieczyszczenia gleb.

**Wydobycie rudy** jest przyczyną emisji metali ciężkich, związanych głównie z rejonami szybów górniczych. Krajewski i Nierzewska (1995) dokumentowali stan zanieczyszczenia powierzchniowych warstw gleb w rejonie szybów terenów górniczych Rudna, Polkowice, Lubin i Sierszowice. To opracowanie, a także późniejsze prace, wskazują na zróżnicowane wzbogacenie badanych gleb w metale ciężkie, przy czym zawartości Cu w glebach mieszczą się w szerokim zakresie od kilku do 670 mg·kg<sup>-1</sup>. Zawartości miedzi przekraczające 150 mg·kg<sup>-1</sup> stwierdzano w punktach zlokalizowanych w strefach bezpośredniego oddziaływania emisji z szybów. Wartość 600 mg·kg<sup>-1</sup> stanowiąca standard jakości gleb i ziem dla obszarów przemysłowych, w świetle pracy Krajewskiego i Nierzewskiej (1995), przekroczona została w pojedynczych punktach, jednak biorąc pod uwagę fakt, że zanieczyszczenie ma tam niewątpliwie charakter powierzchniowy, można przyjąć, że zawartość Cu w glebach w bezpośrednim sąsiedztwie szybów górniczych odpowiada standardom jakości gleb dla terenów przemysłowych, a w dalszej odległości od szybów – także standardom dla terenów kategorii B.

Kolejnym źródłem emisji metali do środowiska są **składowiska odpadów poflotacyjnych**, a zwłaszcza zbiornik Żelazny Most. Główny mechanizm zanieczyszczenia terenów przyległych związany jest z pyleniem z powierzchni przesuszonych plaż oraz skarp. Wieloletnie badania monitoringowe prowadzone wokół obiektu Żelazny Most potwierdzają wpływ składowiska na zawartość metali w glebach (Chodak i wsp. 1995–2004, 2006). Całkowita zawartość miedzi w powierzchniowej warstwie gleb wokół składowiska zmieściła się w 2007 r. w przedziałach 10–82 mg·kg<sup>-1</sup> (Kabała i wsp. 2009) i wykazywała wyraźny związek z odległością od korony. Najwyższe koncentracje Cu występują w bezpośrednim sąsiedztwie składowiska, szczególnie przy wschodniej zaporze, co jest związane z dominującym kierunkiem wiatrów. Analiza danych z kilku lat wskazuje jednak,

że funkcjonowanie składowiska nie powoduje już obecnie wzrostu zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi, co świadczy o wysokiej skuteczności stosowanych metod stabilizacji osadów na składowisku. W niektórych glebach obserwowano nawet trend zmniejszania się zawartości Cu i As (Kabała i wsp. 2009). W żadnym z badanych punktów nie została przekroczona zawartość Cu określona jako standard jakości gleb dla obszarów kategorii B (Rozporządzenie 2002b), wynosząca  $150 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Podobnie, nie stwierdzano przekroczenia określonych w standardach zawartości innych metali ciężkich. W żadnej z analizowanych próbek glebowych nie został w 2007 r. przekroczony standard jakości gleb dla arsenu, wynoszący  $20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , choć w latach 1996–2001 notowano w pojedynczych punktach zawartości tego pierwiastka nieznacznie przekraczające wartość standardu, sięgające  $34,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Jak już wspomniano, zanieczyszczenie gleb w rejonie składowiska Żelazny Most wiąże się głównie z procesami wywiewania materiału zdeponowanego na składowisku, o uziarnieniu sprzyjającym procesom erozji wietrznej. Problem zanieczyszczenia gleb w sąsiedztwie innych składowisk poflotacyjnych tak zwanego Starego Zagłębia (Iwiny, Lena), gdzie materiał zdeponowany ma uziarnienie zwięźlejsze, praktycznie nie istnieje (Karczewska i Król 2007).

Z istnieniem składowisk może wiązać się jeszcze jeden mechanizm chemicznego zanieczyszczenia gleb, powodowany przez niekontrolowane wydostanie się półpłynnej masy osadów poza koronę obwałowania. Taka sytuacja miała miejsce w 1967 r. w Iwinach, wskutek wytworzenia się potężnej wyrwy w obwałowaniu osadnika. Do dziś na powierzchni gleby wzdłuż doliny rzeki Bobrzycy pozostaje warstwa osadów poflotacyjnych, lokalnie przemieszana z glebą naturalną (Karczewska i Lizurek 2004). Zawartości Cu i Pb w próbkach pobranych z powierzchniowej warstwy gleb mieściły się w zakresach odpowiednio:  $167\text{--}835 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  oraz  $64\text{--}243 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , co oznacza, że gleby na tym obszarze nie spełniają standardów jakości dla użytków rolnych. Z drugiej strony, naniesienie na powierzchnię gleb piaszczystych osadów bogatych w węglany i frakcję ilastą wpłynęło na poprawę produktywności tych gleb, a wysoka zawartość węglanów zapobiega wymywaniu metali ciężkich do głębszych warstw gleby oraz ogranicza ich fitoprzyzwajalność.

**Hutnictwo** metali nieżelaznych było od wielu setek lat przyczyną emisji do środowiska zanieczyszczeń metalicznych, które – w połączeniu z oddziaływaniem silnego zakwaszenia związanego z emisją dwutlenku siarki – były przyczyną powstawania wokół hut stref zdewastowanych, pozbawionych roślin i silnie narażonych na erozję. Roczna emisja metali, zwłaszcza Cu i Pb, a także Cd oraz As, z hut LGOM wzrastała sukcesywnie od czasu uruchomienia zakładów do połowy lat osiemdziesiątych. W tym czasie zakłady te emitowały rocznie ponad 2600 ton pyłów metalurgicznych zawierających ponad 200 ton Cu i 150 ton Pb (Piestrzyński 1996). Mimo że w następnych latach udało się radykalnie ograniczyć emisje, to jednak nie rozwiązało to problemu istniejącego już zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi, zwłaszcza Cu i Pb, a także As. Badania monitoringowe prowadzone w rejonie hut miedzi Legnica i Głogów – w różnym zakresie – już od lat siedemdziesiątych wskazują, że w latach dziewięćdziesiątych w rejonach hut nastąpiła stabilizacja stanu zanieczyszczenia gleb miedzią i ołowiem na poziomie, z jakim mieliśmy do czynienia przed uruchomieniem nowoczesnych instalacji redukujących emisje pyłów (Szerszeń i wsp. 1999, 2004).



Najwyższe zawartości metali w powierzchniowej warstwie gleby, notowane w najbliższym sąsiedztwie hut w początkowym okresie ich działalności, sięgały:  $9800 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  Cu i  $4580 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  Pb w rejonie huty Legnica oraz  $5000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  Cu i  $18400 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  Pb w rejonie hut Głogów (Weber 1987, Roszyk i Szerszeń 1988). W miarę wzrostu odległości od źródeł emisji zawartości metali w glebach zmniejszały się. Na obszarach najsilniej zanieczyszczonych utworzono strefy ochrony sanitarnej, przekształcone później w strefy ograniczonego użytkowania. W latach osiemdziesiątych przystąpiono do rekultywacji zanieczyszczonych gleb. Tereny w obrębie stref ochronnych, po zwapnowaniu i wykonaniu głębokiej orki, objęto zadrzewieniem, wykorzystując głównie najbardziej odporne na zanieczyszczenie odmiany topoli. Otwarty pozostaje nadal problem zgodności właściwości gleb na zadrzewionych obszarach ze standardami jakości (Rozporządzenie 2002b).

Badania kontrolne i monitoringowe prowadzone w rejonie huty miedzi Legnica wskazują, że zawartości Cu w warstwie 0–30 cm na około 20% powierzchni strefy ograniczonego użytkowania przekraczają wartości określone dla obszarów przemysłowych (C), a standardy jakości gleb i ziem dla obszarów B, tj. użytkowanych leśnie bądź rolniczo, spełnione są tylko na obrzeżach dawnej strefy ochronnej, szczególnie w północnej części tej strefy (Kaszubkiewicz i wsp. 2005). Podobny obraz daje także zanieczyszczenie gleb ołowiem. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że standardy jakości dla terenów C odnoszą się do warstwy gleby 0–2 m (a nie 0–30 cm). Średnie koncentracje Cu i Pb w warstwie 0–2 m tylko w jednym (z ogólnej liczby 49) punkcie monitoringowym w sąsiedztwie huty miedzi Legnica przekraczają wartości standardów dla terenów przemysłowych (Kaszubkiewicz i wsp. 2005).

Zbliżony obraz stanu zanieczyszczenia metalami ciężkimi rysuje się również w rejonie huty miedzi Głogów (Szerszeń i wsp. 1999, 2004). Tu także jedynie w bezpośrednim sąsiedztwie huty wyróżnić można obszar, na którym nie są spełnione standardy – nie tylko dla kategorii zoologicznej B, ale też i dla obszarów kategorii C.

### **Obszary zanieczyszczone związane z historycznym i obecnym górnictwem oraz przetwórstwem rud metali**

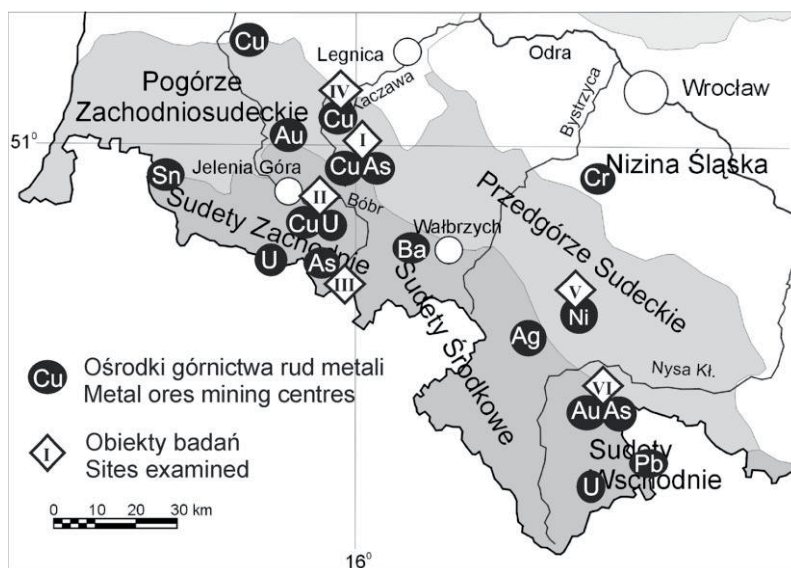
W Sudetach i na Przedgórzu Sudeckim, w wielu miejscach, występują rudy metali nieżelaznych, które eksploatowane były od średniowiecza – najpierw odkrywkowo, a potem podziemnie (Dziekoński 1979). Głębokość zalegania tych złóż jest zróżnicowana, niektóre leżą bardzo płytko, jak łupki miedzionośne w rejonie Leszczyny na Pogórzu Kaczawskim (Piątek i Piątek 1998). W wyniku prowadzonej przez wiele stuleci działalności górniczej powstawały zwały i hałdy odpadów górniczych oraz przetwórczych. Wytop rudy w hutach generował powstawanie żużli hutniczych, był także źródłem emisji do atmosfery pyłów metalonośnych, ulegających depozycji na powierzchni przyległych gleb, co doprowadziło do ich lokalnego znacznego wzbogacenia w metale ciężkie.

Przykładami rejonów górniczych objętych dawną działalnością górniczą w Sudetach i na Pogórzu Sudeckim są:

- Miedzianka i Czarnów w Rudawach Janowickich oraz rejon Żeleźniaka w Górach Kaczawskich, gdzie od XIII w. prowadzono eksploatację złóż arsenowo-polimetalicznych;
- Złoty Stok – ośrodek eksploatacji złota (XIII–XVIII w.), a następnie – górnictwa arsenu i produkcji arseniku (do roku 1962);
- Leszczyna i Chełmiec w rejonie Złotoryi, gdzie eksploatowano i przetapiano rudy miedzi;
- Marcinków i Lutynia, w rejonie Łądką Zdr. – ośrodki eksploatacji rud cynku i ołowiu;
- Szklary koło Ząbkowic Śl. i rejon przełęczy Tapadła w masywie Ślęży i Raduni – obszary mineralizacji niklowej i niklowo-chromitowej;
- Kowary i Miedzianka w Rudawach Janowickich oraz Kletno w Masywie Śnieżnika – ośrodki eksploracji polimetalicznych rud bogatych w uran;
- inne ośrodki górnictwa rud metali, w tym: baru (Boguszów, Stanisławów), cyny (Gierczyn), srebra (Srebrna Góra).

Lokalizację tych rejonów na mapie Dolnego Śląska ilustruje rysunek 1. Na wymienionych obszarach Instytut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska UP we Wrocławiu prowadził liczne prace poświęcone określeniu zawartości metali w glebach oraz oceny ryzyka ekologicznego (Bogda i wsp. 2002, Karczevska 1999, Karczevska i wsp. 2001, 2005, 2006 ab, 2007). Wybrane dane dotyczące zawartości metali ciężkich w materialewałd pozostałych na tych obszarach, jak też w glebach sąsiadujących zwałdami przedstawiono w tabelach 2–3. Lokalnie, nie tylko w materialewałd, ale także w sąsiadujących z nimi glebach, nie wykazujących widocznych domieszek materiału odpadowego, stwierdza się znaczne przekroczenie wartości standardów gleb i ziem. Trudno określić, w jakim stopniu zanieczyszczenie ma w tych przypadkach charakter naturalny, a w jakim antropogeniczny, związany z emisją metali do środowiska na poszczególnych etapach przetwarzania rudy. Niewątpliwie jednak podwyższone zawartości metali w glebach nie mają wyłącznie charakteru naturalnego wzbogacenia i nie mogą być traktowane jako zgodne ze standardami jakości gleb i ziem (Rozporządzenie 2002b).

Najpoważniejsze przekroczenia wartości określonych w standardach na dawnych obszarach górniczych dotyczą niewątpliwie arsenu na obszarach jego eksploatacji i przetwarzania (rejon Żeleźniaka, Czarnów), a przede wszystkim – w rejonie Złotego Stoku. Tu stwierdzono silne wzbogacenie powierzchniowych warstw gleby w arsen (tab. 3) zarówno na obszarze Złotego Jaru, jak i poniżej Złotego Stoku, w dolinie rzeki Trującej, gdzie osady poflotacyjne przelały się poza koronę zbiorników i warstwą o nierównomiernej grubości pokryły gleby w dolinie rzeki. Na obszarze wielu hektarów zawartości As w glebach przekraczają  $1000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Krysiak i Karczevska 2007). Szczegółowa analiza problemu zanieczyszczenia gleb arsenem w Złotym Stoku pozostaje jednym z ważniejszych zadań w dziedzinie ochrony i rekultywacji środowiska glebowego na Dolnym Śląsku, gdyż – ustalone wprawdzie na bardzo niskim poziomie – standardy jakości gleb dla obszarów B i C (wynoszące odpowiednio: 20 i  $60 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) przekroczone są nie tylko na obszarach leśnych i nieużytkach przemysłowych, ale także w glebach ogrodów działkowych i pól uprawnych (Karczevska i Duszyńska 2007, Krysiak i Karczevska 2007, Karczevska i wsp. 2010).



Rys. 1. Lokalizacja ważniejszych ośrodków dawnego górnictwa rud metali na Dolnym Śląsku, z uwzględnieniem obiektów opisanych w tekście: I. Żeleźniak, II. Miedzianka, III. Czarnów, IV. Leszczyna i Chełmiec, V. Szklary, VI. Złoty Stok (Karczewska i wsp. 2006)

Fig. 1. Location of former ore mining centres in Lower Silesia and situation of the sites described in the text: I. Żeleźniak, II. Miedzianka, III. Czarnów, IV. Leszczyna i Chełmiec, V. Szklary, VI. Złoty Stok (Karczewska et al. 2006)

Tabela 2

Table 2

Całkowite zawartości metali ciężkich w materiale hałd i w glebach sąsiadujących z hałdami górnictwymi (zakresy,  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) na obszarach dawniej eksploatacji rud miedzi w rejonie Miedzianki oraz Leszczyny i Chełmca (Karczewska i wsp. 2006b)

Total concentrations of arsenic and heavy metals in mine spoils material and in surrounding soils (the ranges,  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) in the areas of former mining of copper ores in Miedzianka, Leszczyna and Chełmiec (Karczewska et al. 2006b)

Rejon Region	Liczba punktów No of sites	Powierzchnia Area (ha)	Całkowite zawartości ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) Total concentrations ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )		
			Cu	Pb	Zn
Hałdy górnicze – Mine spoils					
Miedzianka	12	x	370–8870	156–2170	195–6150
Leszczyna i Chełmiec	5	x	53–9940	13–13600	105–1500
Gleby – Soils					
Miedzianka	9	100	180–460	139–348	213–698
Leszczyna i Chełmiec	5	10	28–2700	15–524	125–308

Tabela 3  
Table 3

Całkowite zawartości arsenu i wybranych metali ciężkich w materiale hałd i w sąsiadujących z nimi glebach (zakresy,  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) na obszarach dawnej eksploatacji rud arsenu (Karczewska i wsp. 2006b, Krysiak i Karczewska 2007)  
Total concentrations of arsenic and heavy metals in mine spoils material and in surrounding soils (the ranges,  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) in the areas of former mining of arsenic ores (Karczewska et al. 2006b, Krysiak and Karczewska 2007)

Rejon Region	Liczba punktów No of sites	Powierzchnia Area (ha)	Całkowite zawartości ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) Total concentrations			
			As	Cu	Pb	Zn
Hałdy górnicze – Mine spoils						
Żeleźniak	13	x	32–18080	8–2490	15–12120	32–420
Złoty Jar	9	x	8600–14500	88–110	7–310	52–188
Dolina Trującej*	6	x	3100–17200			
Gleby – Soils						
Żeleźniak	110	3000	1,8–6710	7–3430	5,8–2090	28–3660
Złoty Jar	28	1000	70–11500	5–100	45–320	51–280
Dolina Trującej	16	200	800–11500			

\*Dolina Trującej – osadniki połotacyjne – The Trująca valley – tailings impoundments

### Sąsiedztwo składowisk odpadów (komunalnych i przemysłowych)

Dane dotyczące rejonów sąsiadujących ze składowiskami odpadów przemysłowych i komunalnych gromadzone są głównie dzięki badaniom prowadzonym przez IOŚ oraz przez starostów powiatów na wytypowanych terenach narażonych na zanieczyszczenie. Z badań tych wynika, że w sąsiedztwie składowisk odpadów notuje się często stan znacznego zanieczyszczenia metalami, w tym także przekroczenie wartości określonych w standardach. Szczegółowe dane na ten temat publikowane są corocznie w raportach Wojewódzkiej Inspekcji Ochrony Środowiska (IOŚ 2003–2009).

Dla mieszkańców Wrocławia szczególnie znacznie w grupie składowisk odpadów przemysłowych ma pozostała po dawnej hucie Siechnice hałda żużła żelazochromowego, usytuowana w bezpośrednim sąsiedztwie wrocławskich terenów wodonośnych. Badania gleb w otoczeniu hałdy i na obszarze pól wodonośnych prowadzone m.in. przez IOŚ (IOŚ 2003–2009), a także autorów niniejszego opracowania (Karczewska i Bortniak 2008) wskazują, że pylenie z hałdy, a niewątpliwie także dawna emisja pyłów z huty, doprowadziły do znaczącego wzbogacenia gleb w chrom. W centralnej i wschodniej części wrocławskich pól wodonośnych stwierdzono przekroczenie standardów jakości gleb dla chromu, co wiązać należy z dawną działalnością huty żelazochromu i obecnością hałdy żużła. Analiza potencjalnej i aktualnej rozpuszczalności chromu w glebach nie potwier-

dza jednak ryzyka ługowania tego pierwiastka do wód. Wydaje się zatem, że konstrukcja standardów jakości gleb i ziem wymaga korekty, z uwzględnieniem nie tylko całkowitych zawartości zanieczyszczeń w glebach, ale także ich rozpuszczalności decydującej o ekologicznym zagrożeniu.

### **Inne obszary, w tym obszary miejskie – parki i ogrody działkowe**

Problem zanieczyszczenia gleb miejskich stanowi w ostatnich latach przedmiot licznych prac badawczych. W dużych miastach Polski przeprowadzono m.in. kompleksowe rozpoznanie zawartości metali ciężkich w powierzchniowej warstwie gleb. Rozpoznanie to ma przede wszystkim charakter monitoringowy (Pasieczna 2003). Charakterystyczną cechą gleb miejskich jest lokalne występowanie w nich bardzo wysokich zawartości metali ciężkich (Pasieczna 2003, Kabała i Chodak 2002, Kabała i wsp. 2009). Problem ten stwierdzono m.in. we Wrocławiu, podobnie jak i w innych dużych miastach, takich jak Warszawa, Łódź czy Kraków (Pasieczna 2003). Większość autorów prac poświęconych badaniu gleb miejskich wskazuje na duże lokalne zróżnicowanie zanieczyszczenia, co przypisywać należy rozmaitym mechanizmom, m.in. wpływowi emisji motoryzacyjnych, stosowaniu farb i tynków zawierających metale ciężkie, emisjom przemysłowym, wreszcie – sytuowaniu miast na terenach poprzemysłowych i wykorzystywaniu różnych materiałów oraz odpadów do niwelacji i zagospodarowania terenu, w tym także do urządzania terenów komunikacyjnych i terenów zielonych, a nawet ogrodów działkowych (Kabała i Chodak 2002, Kabała i wsp. 2009). Zagadnienie zanieczyszczenia metalami gleb miejskich, w tym także gleb miasta Wrocławia, pozostaje jednak stale na etapie rozpoznania i wymaga dalszych szczegółowych badań, poświęconych m.in. uwarunkowaniom i skutkom lokalnego zróżnicowania stanu zanieczyszczenia.

Szczególną uwagę zwraca jednak fakt, że w aglomeracjach miejskich znaczne ilości metali ciężkich stwierdza się w glebach niektórych zespołów ogrodów działkowych. Ilustruje to tabela 4, w której przedstawiono dane dla ogrodów działkowych miasta Wrocławia (Kabała i Chodak 2002). Na obszarach wrocławskich ogrodów działkowych, w szczególności w rejonie zakładu Hutmen, stwierdzano lokalnie znaczne przekroczenie standardów jakości gleb dla obszarów B. Niewątpliwie, w takich ogrodach należy wykluczyć uprawę roślin na cele konsumpcyjne, jednak problem zgodności stanu tych gleb ze standardami pozostaje nierozwiązany. Problem rekultywacji i zagospodarowania takich obszarów, jak również parków i zieleńców miejskich, na których stwierdza się lokalnie przekroczenie standardów jakości gleb, powinien być poddany szczegółowej dyskusji. W świetle dodatkowych czynników, a zwłaszcza istotnych funkcji pełnionych w miastach przez tereny zielone, wydaje się że akceptacja istniejącego stanu zanieczyszczenia i skuteczne zastosowanie zabiegów fitostabilizacyjnych jest kierunkiem działań znacznie bardziej racjonalnym niż bezkrytyczne dążenie do usunięcia nadmiaru zanieczyszczeń z takich gleb.

Tabela 4  
Table 4

Całkowite zawartości metali ciężkich w glebach ogródków działkowych Wrocławia  
(Kabała i Chodak 2002)  
Total concentrations of heavy metals in soils of allotment garden in Wrocław  
(Kabała and Chodak 2002)

Rejon Region	Osiedle Quarter	Pb	Cu	Zn	Cd
		(mg·kg <sup>-1</sup> )			
Płn.-wsch.	Psie Pole, Zalesie	17–53	13–25	38–107	0,3–0,8
Zach.	Kozanów	28–38	28–30	110–148	0,3–0,5
	Kuźniki, Szczepin	13–154	14–89	45–560	0,3–1,3
Płn.	Kowale	39–229	13–115	86–750	0,2–1,3
Płd.-zach.	Grabiszyn (zach.)	54–70	36–63	198–272	1,0–1,2
	Grabiszyn (wsch.: rejon Hutmenu)	54–660	34–595	112–2100	0,3–9,9
	Gajowice	88–110	50–93	250–560	1,5–3,7
Płd.-wsch.	Krzyki, Wojszyce	34–140	19–67	51–283	–
	Księża Wlk.	58–185	14–250	48–300	0,1–0,5

## SPECJACJA I ROZPUSZCZALNOŚĆ METALI CIĘŻKICH W GLEBACH ZANIECZYSZCZONYCH

Jak już wielokrotnie nadmieniano, ryzyko ekologiczne związane z zanieczyszczeniem gleb metalami ciężkimi nie jest prostą funkcją ich całkowitej zawartości w glebie. Ocenie zagrożenia dla zdrowia ludzi oraz dla środowiska służą m.in. testy poświęcone badaniu rozpuszczalności form metali obecnych w glebach, a także ich specjacji, pozwalającej na ocenę warunków, w jakich zagrożenie może się radykalnie zwiększyć (Karczewska 2002). Coraz częściej prowadzi się badania specjacji metali w środowisku glebowym, realizowane na przykład metodą sekwencyjnej ekstrakcji chemicznej. W ocenie ryzyka środowiskowego stosowane są także coraz powszechniej testy aktywności biologicznej, testy ekotoksykologiczne oraz badania fitoprzyzwajalności i fitotoksyczności zanieczyszczeń obecnych w glebach. Możliwość powszechnego zastosowania tych testów ograniczona jest głównie wysokimi kosztami oraz pracochłonnością analiz. Niekiedy jednak prosta analiza aktualnej lub potencjalnej rozpuszczalności metali ciężkich w glebach dostarcza cennych informacji o zagrożeniu ekologicznym, wynikającym z możliwości włączania tych pierwiastków do obiegu biogeochemicznego.

W tabeli 5 przedstawiono przykładowe dane ilustrujące zróżnicowanie zawartości aktualnie rozpuszczalnych form metali ciężkich w glebach i materiale hałd dawnego górnictwa i przetwórstwa rud metali. Jak widać, zróżnicowanie to dotyczy zarówno pierwiastków, jak i poszczególnych obiektów. Jeśli pierwiastki metaliczne występują w materiale hałd w formie minerałów krzemianowych, wówczas ich rozpuszczalność jest bardzo niska. W sytuacji gdy metale obecne są w formie siarczkowej, tlenkowej lub węglanowej,

podatność na wymywanie metali z materiału zgromadzonego na hałdach może być duża i stanowić istotne zagrożenie dla środowiska. Zawartości łatwo rozpuszczalnych form metali w glebach naturalnego pochodzenia są zwykle niewielkie, jednak zanieczyszczenie antropogeniczne może w znacznym stopniu przyczynić się do ich zwiększenia. Badanie aktualnej rozpuszczalności metali w glebach pozwala na szybką ocenę bezpośredniego zagrożenia środowiska.

Tabela 5

Table 5

Rozpuszczalne formy metali ciężkich w materiale hałd i w glebach sąsiadujących z hałdami w wybranych rejonach górniczych (Karczeńska i wsp. 2006a,b)  
Soluble forms of heavy metals in mine spoil material and in neighbouring soils in selected mine areas (Karczeńska et al. 2006a,b)

Obiekty Objects	Liczba punktów No of sites	Formy metali rozpuszczalne w 1M NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (mg·kg <sup>-1</sup> ) Forms of metals soluble in 1M NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>			
		Cu	Pb	Zn	As
Hałdy górnicze – Mine spoils					
Żeleźniak	13	1,2–54	0,7–493	2,5–115	2,2–20,4
Miedzianka	12	1,3–724	1,2–87	4,0–870	0,3–2,0
Czarnów	5	<0,2–13,5	1,8–7,7	1,2–88	0,7–110
Złoty Stok	9	0,2–2,5	<0,5–79	6,0–26	<0,3–24
Leszczyna i Chełmiec	5	1,7–1990	<0,5–5800	0,7–150	n.o.
Gleby – Soils					
Żeleźniak	110	0,1–412	<0,2–79	<0,2–120	0,12–41
Miedzianka	9	<0,2–14	3,5–14,8	0,5–42	<0,3–0,5
Czarnów	4	<0,2–3,5	1,2–6,5	2,0–29	0,7–28
Złoty Stok	28	<0,2–1,0	<0,5–22	1,0–23	<0,3–2,5
Leszczyna i Chełmiec	5	<0,2–1,0	<0,5–16,8	0,5–28,5	n.o.

\* hałdy – mine spoils, gleby – soils

\*\* n.o. – nie oznaczono – not determined

## DYSKUSJA

Przedstawione wyżej przykłady obszarów, na których stwierdzono występowanie przekroczeń standardów jakości gleb i ziem w zakresie metali ciężkich, wskazują na złożoność problemu oceny zagrożenia i uwarunkowań decyzji o rekultywacji. Wprawdzie Prawo ochrony środowiska (Ustawa 2001) jednoznacznie wymaga doprowadzenia takich gleb do stanu zgodnego ze standardami, jednak w praktyce podejście do tego wymogu musi być elastyczne, głównie ze względu na fakt, że szybkie doprowadzenie do stanu

zgodnego ze standardami może być uzyskane tylko w wyniku zastosowania radykalnych metod technicznych, bardzo kosztownych i zawsze stwarzających przejściowo znaczne ryzyko ekologiczne. Zwłaszcza w sytuacjach, gdy zanieczyszczenie występuje na obszarach biochemicznie i biologicznie ustabilizowanych, praktycznie nie stwarzających zagrożenia, i jednocześnie poddawanych regularnej kontroli, bezkrytyczne podejmowanie działań prowadzących do oczyszczania gleb byłoby ze wszech miar nieracjonalne. Należy podkreślić, że aktualne, realne zagrożenie ekologiczne zależy nie tylko od całkowitej zawartości metali ciężkich w glebach (uwzględnionej w standardach), ale także od właściwości gleb i innych czynników.

Coraz bardziej oczywiste staje się również to, że w świetle poszerzającego się stanu wiedzy dotyczącej zanieczyszczenia środowiska glebowego przyjęte standardy będą niewątpliwie wymagały weryfikacji (Stuczyński i wsp. 2004). Można również przewidywać, że w perspektywie oceny stanu zanieczyszczenia gleb decyzje dotyczące rekultywacji będą prowadzone nie tyle na podstawie wartości docelowych, ale metod analizy ryzyka (Stuczyński i wsp. 2004).

W tym duchu przygotowane zostały m.in. założenia Ramowej Dyrektywy Glebowej, która – mimo wstępnej akceptacji przez Komisję Europejską – nie została przyjęta przez Parlament Europejski. We wstępnie uzgodnionym tekście Dyrektywy zdefiniowano remediację gleb (będącą w odniesieniu do gleb zanieczyszczonych synonimem rekultywacji) jako „poddanie gleby działaniom mającym na celu usunięcie, kontrolowanie, ograniczenie rozprzestrzeniania się lub zmniejszenie ilości substancji zanieczyszczających, tak aby teren zanieczyszczony przestał stwarzać znaczne zagrożenie dla zdrowia ludzkiego lub dla środowiska, z uwzględnieniem jego obecnego lub zatwierdzonego na przyszłość sposobu użytkowania” (Art. 13). Wyraźnie zwrócono uwagę na uwarunkowania decydujące o wyborze sposobu rekultywacji: „Działanie remediacyjne może polegać na naturalnej regeneracji. Podejmując decyzje o właściwych działaniach remediacyjnych państwa członkowskie należy uwzględniać skutki, jakie planowane działania mogą wywrzeć na społeczeństwo, gospodarkę i środowisko, a także biorą pod uwagę ich efektywność kosztową i wykonalność techniczną. Jeśli koszty [...] są nieproporcjonalnie duże w stosunku do oczekiwanych korzyści dla środowiska, na danych terenach można stworzyć warunki, dzięki którym nie będą one stwarzać znacznego zagrożenia dla zdrowia ludzkiego ani dla środowiska; w ramach tego można także ograniczyć dostęp do tych terenów” (Projekt Dyrektywy Glebowej 2006).

Takie podejście do problemu remediacji gleb wydaje się bardzo racjonalne i coraz bardziej powszechne. Raport EEA (2005) zwraca uwagę na „nowe techniki rekultywacji, z wykorzystaniem roślin silnie akumulujących metale, co będzie prowadzić do zmniejszenia zawartości metali ciężkich w glebach i jednocześnie umożliwi obniżenie kosztów rekultywacji”. W raporcie tym zaznaczono jednak, że „możliwości zastosowania tych metod i ich skuteczność są bardzo ograniczone, dlatego i powierzchnia terenów zanieczyszczonych historycznie będzie zmniejszać się bardzo wolno”.

Podobna strategia w dziedzinie rekultywacji gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi, pozostawiająca decyzję o radykalnym oczyszczaniu gleb do ewentualnego przyszłego rozstrzygnięcia, zwłaszcza w odniesieniu do gleb zanieczyszczonych przed wielu laty, realizowana jest w praktyce w wielu krajach Europy. Wprawdzie w Niemczech do



roku 2004 poddano rekultywacji technicznej około 30% zinwentaryzowanych gleb ponadnormatywnie zanieczyszczonych (Umweltgutachten 2004, za Evangelou i wsp. 2007), to najczęściej stosowaną metodą w odniesieniu do gleb najbardziej zanieczyszczonych jest ich usunięcie z miejsca występowania i deponowanie na składowiskach odpadów. Belgia planuje usunąć zanieczyszczenia „historyczne”, pochodzące z nieczynnych już źródeł emisji w dość odległej perspektywie, bo do roku 2036, a zanieczyszczenia pilnie wymagające wyeliminowania – do roku 2021. Austria deklaruje rozwiązanie większości problemów terenów zanieczyszczonych do roku 2040. W Holandii założono, że do roku 2030 zostaną zbadane wszystkie tereny z zanieczyszczeniem historycznym, które będą kontrolowane i poddane rekultywacji tylko w razie potrzeby.

Należy zatem spodziewać się, że wkrótce zostanie zatwierdzona ramowa dyrektywa glebowa, i że stanie się ona podstawą do zmian legislacyjnych dotyczących szczególnych regulacji wymogu rekultywacji w Polsce. Niewątpliwie, to ocena zagrożenia dla zdrowia ludzi oraz ocena ryzyka środowiskowego powinna mieć kluczowe znaczenie dla wyboru metody działań rekultywacyjnych niezbędnych do przeprowadzenia na terenach zanieczyszczonych.

## WNIOSKI

1. Badania monitoringowe i różne prace badawcze potwierdzają występowanie lokalne obszarów, na których istnieje zanieczyszczenie metalami ciężkimi, o różnym pochodzeniu i różnym wieku, w wielu przypadkach jest to zanieczyszczenie „historyczne”, sprzed wielu dekad lub stuleci. Do obszarów takich należą m.in. dawne obszary górnictwa i przetwórstwa rud metali.

2. Na części tych obszarów stwierdza się przekroczenie wartości określonych w standardach jakości gleb i ziem.

3. Decyzja dotycząca działań rekultywacyjnych na takich obszarach nie powinna być dyktowana bezkrytycznym dążeniem do przywrócenia standardów jakości, ale ma uwzględniać uwarunkowania decydujące o ryzyku ekologicznym, w tym specjację i bioprzyswajalność zanieczyszczeń.

4. Obszary zanieczyszczone, na których występują przekroczenia standardów jakości gleb i ziem, a które zostały zabezpieczone w drodze fitostabilizacji, wymagają obserwacji i kontroli, jednak nie jest wskazane bezkrytyczne podejmowanie działań służących doprowadzeniu gleb do standardów. Działania takie mogłyby być bezzasadne z punktu widzenia przyrodniczego i ekonomicznego.

5. Należy dążyć do udoskonalenia legislacyjnej strony tego problemu, a w szczególności – weryfikacji obowiązujących standardów jakości gleb i ziem oraz uwzględnienia szeroko rozumianej oceny ryzyka jako kryterium decydującego o sposobie postępowania z glebami zanieczyszczonymi metalami ciężkimi.

**PIŚMIENNICTWO**

- Alloway B.J., Ayres D.C., 1999. Chemiczne podstawy zanieczyszczenia środowiska. PWN, Warszawa.
- Bogda A., Karczewska A., Lech E., Marynowicz K., 2002. Metale ciężkie w glebach sąsiadujących z hałdami dawnego górnictwa miedzi i uranu w Miedziance (Rudawy Janowickie). Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 493, I: 45–52.
- Buczkowski R., Kondzielski I., Szymański T., 2002. Metody remediacji gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi. Wyd. UMK Toruń: 95.
- Chodak T., Szerszeń L., Kabała C., Kaszubkiewicz J. i wsp., 1995–2004. Dokumentacja zawartości metali ciężkich w glebach i roślinach w rejonie składowiska „Żelazny Most” ze szczególnym uwzględnieniem wsi Tarnówek. Ekspertyzy dla KGHM S.A. Instytut Gleboznawstwa i Ochrony Środowiska Rolniczego AR we Wrocławiu (maszynopisy).
- Chodak T., Kaszubkiewicz J., Kabała C., Szerszeń L., Kotecki A., Mikołajczak Z., Jezierski D., Gałka B., Woźniczka P., Ochman D., 2006. Ocena degradacji oraz możliwości zagospodarowania gleb obszaru ograniczonego użytkowania w otoczeniu składowiska odpadów poflotacyjnych Żelazny Most. Zesz. Nauk. Politechniki Śląskiej, 1732, Górnictwo, 272: 21–30.
- Dziekoński T., 1979. Wydobywanie i metalurgia kruszców na Dolnym Śląsku od XIII w. do połowy XX w. Ossolineum, Wrocław.
- EEA, 2005: European Environment Agency, 2005. The European environment – state and outlook 2005. Copenhagen.
- Evangelou M.W.H., Ebel M., Schaeffer A., 2007. Chelate assisted phytoextraction of heavy metals from soil. Effect, mechanism, toxicity, and fate of chelating agents. Chemosphere, 68, 6: 989–1003.
- GUS, 2002–2009. Ochrona Środowiska 2002–2009. Wydawnictwo GUS. Warszawa.
- Gworek B., Czarnomski K., Barański A., 2003. Ocena ryzyka w zarządzaniu gruntami zanieczyszczonymi, [w:] Skiba S., Drewnik M., Kacprzak A. (red.) Gleba w środowisku. Materiały 26 Kongresu PTG, Kraków 2003: 134–136.
- IOŚ, 2003–2009. Raporty o stanie środowiska w województwie dolnośląskim w roku 2002, 2003, ... 2008. WIOŚ we Wrocławiu, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Wrocław.
- Kabała C., Chodak T., 2002. Gleby, [w:] Smolnicki K., Szykasiuk M. (red.). Środowisko Wrocławia – Informator 2002. Dolnośląska Fundacja Ekorozwoju, Wrocław: 66–73.
- Kabała C., Chodak T., Szerszeń L., Karczewska A., Szopka K., Frątczak U., 2009. Factors influencing the concentration of heavy metals in soils of allotment gardens in the city of Wrocław, Poland. Fresenius Env. Bullet., 18 (7): 1118–1124.
- 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.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa.
- Karczewska A., 1999. Metale ciężkie w glebach i roślinach na hałdach pogórnich dawnych ośrodków górnictwa i hutnictwa miedzi w Parku Krajobrazowym Chelmy. Ochr. Środ. Zas. Nat., 18: 177–186.
- Karczewska A., 2008. Ochrona gleb i rekultywacja terenów zdegradowanych. Podręcznik. Wydawnictwo UP we Wrocławiu.

- Karczewska A., Bogda A., Kurnikowska B., 2001. Nickel, chromium, lead and cadmium in soils and common plant species in the area of nickel mining and smelting (Szklary, SW Poland). Proc. 6th ICOBTE; Guelph 2001, GP327, 570.
- Karczewska A., 2002. Metale ciężkie w glebach zanieczyszczonych emisjami hut miedzi – formy i rozpuszczalność. Zesz. Nauk. AR Wroc. CLXXXIV, 432, Wrocław.
- Karczewska A., Lizurek S. 2004. Właściwości gleb w dolinie potoku Bobrzyca w 35 lat po katastrofie zbiornika osadów poflotacyjnych Iwiny. Roczn. Glebozn., LV, 4: 51–62.
- Karczewska A., Bogda A., Gałka B., Krajewski J., 2005. Ocena zagrożenia środowiska przyrodniczego w rejonie oddziaływania złoża rud polimetalicznych Żeleźnik (Wojcieszów – Góry Kaczawskie). Monografia. Wydawnictwo AR we Wrocławiu.
- Karczewska A., Bogda A., Gałka B., 2006a. Problem rekultywacji gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi na terenie dawnego górnictwa rud metali w Sudetach. Roczn. Glebozn. LVII, 1 / 2: 106–116.
- Karczewska A., Bogda A., Gałka B., Szulc A., Czwardziel D., Duszyńska D., 2006b. Natural and anthropogenic soil enrichment in heavy metals in the areas of former metallic ore mining in the Sudety Mts. Polish J. Soil Science, 39, 2: 143–150.
- Karczewska A., Bogda A., Gałka B., Kabała C., Krysiak A., Szopka K., 2007. Metale ciężkie i arsen w glebach na obszarach dawnego górnictwa rud metali w Sudetach i na Przedgórzu Sudeckim. Bezp. Pracy i Och. Środ. w Górn. Miesięcznik WUG, 4 (152): 25–27.
- Karczewska A., Duszyńska D., 2007. Metale ciężkie i arsen w powierzchniowych poziomach gleb leśnych Złotego Jaru na obszarze dawnego górnictwa złota i arsenu w Złotym Stoku. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. Z. 520/ I /101–106.
- Karczewska A., Król A., 2007. Zawartość i formy rozpuszczalne Cu, Zn i Pb w glebach rejonu składowiska odpadów poflotacyjnych „Wartowice” w rejonie Bolesławca. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych. Nr 31: 131–136.
- Karczewska A., Bortniak M., 2008. Chrom i inne metale ciężkie w glebach wrocławskich terenów wodonośnych na obszarze sąsiadującym z hałdą żużla żelazochromowego w Siechnicach. Roczn. Glebozn. LIX, 1: 106–111.
- Karczewska A., Spiak Z., Kabała C., Gałka B., Szopka K., Kocan K., Jezierski P., 2008. Ocena możliwości zastosowania metody wspomaganą fitoekstrakcją do rekultywacji gleb zanieczyszczonych emisjami hutnictwa miedzi. Monografia. Wyd. Zante, Wrocław.
- Karczewska A., Kocan K., Agata M., Krysiak A., 2010. Soil pollution with arsenic within the allotment gardens in Złoty Stok. Ecolog. Chem Engineering, 16 (w druku).
- Kaszubkiewicz J., Karczewska A., Jezierski P., Kabała C., 2005. Ekspertyza dotycząca określenia zawartości metalicznych zanieczyszczeń przemysłowych w glebach strefy ochronnej Huty Miedzi „Legnica”, w zależności od wielkości emisji w okresie działalności zakładu. Ekspertyza dla KGHM Polska Miedź S.A. Wrocław AR, IGiOŚR. 2005. Maszynopis.
- Krysiak A., Karczewska A., 2007. Arsenic extractability in soils in the areas of former arsenic mining and smelting, SW Poland. Sci Total Env., 379, 2: 190–200.
- Krajewski J., Nierzewska M., 1995. Metale ciężkie w glebach na terenach górniczych kopalń rud miedzi. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 418/ I: 407–414.
- Lis J., Pasieczna A., 1995. Atlas geochemiczny Polski 1:2 500 000. PIG, Warszawa.
- Lis J., Pasieczna A., Bojakowska I., Gliwicz T., Frankowski Z., Paślawski P., Popiołek E., Sokołowska G., Strzelecki R., Wołkowicz S., 1999. Atlas Geochemiczny Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego 1:250 000. PIG, Warszawa.
- Mc Bride M.B., 1994. Environmental chemistry of soils. Oxford University Press, New York, NY.
- Pasieczna A., 2003. Atlas zanieczyszczeń gleb miejskich w Polsce. PIG Warszawa.

- Piątek E., Piątek Z., 1998. Dzieje górnictwa i hutnictwa na obszarze PK Chełmy. Dyrekcja PK Chełmy, Myślubórz (maszynopis).
- Piastrzyński A. (red.), 1996. Monografia KGHM S.A. Wyd. CBPM Cuprum, Wrocław-Lubin.
- Projekt Dyrektywy Glebowej 2006. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the protection of soil and amending Directive 2004/35/EC. Commission of the European Communities, Brussels, 22.9.2006. COM(2006) 232 final. 2006/0086 (COD).
- Roszyk E., Szerszeń L., 1988. Nagromadzenie metali ciężkich w warstwie ornej gleb stref ochrony sanitarnej przy hutach miedzi. 1: Legnica. 2. Głogów. Roczn. Glebozn., 39, 4, 135–141, 147–156.
- Rozporządzenie 2002a. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 w/s komunalnych osadów ściekowych. (Dz. U. 2002, Nr 134, poz. 1140).
- Rozporządzenie 2002b. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w/s Standardów jakości gleb oraz standardów jakości ziem (Dz. U. 2002, Nr 165, Poz. 1359).
- Stuczyński T., Siebielec G., Maliszewska-Kordybach B., Smreczak B., Gawrysiak L. 2004. Wyznaczanie obszarów, na których przekroczone są standardy jakości gleb. Poradnik metodyczny dla administracji. Biblioteka Monitoringu Środowiska. IOŚ, Warszawa 2004.
- Szerszeń L., Chodak T., Borkowski J., Bogda A., Karczewska A., 1995. Stan środowiska glebowego Dolnego Śląska. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 418: 61–74.
- Szerszeń L., Chodak T., Kabała C., 1999. Monitoring zawartości pierwiastków śladowych w glebach przylegających do Hut Miedzi w Głogowie i Legnicy. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 467, 2: 405–412.
- Szerszeń L., Chodak T., Kabała C., 2004. Zmiany zawartości miedzi, ołowiu i cynku w glebach w rejonie hut miedzi Głogów i Legnica w latach 1972–2002. Roczn. Glebozn., 55, 3: 195–205.
- Terelak H., Stuczyński T., Piotrowska M., 1997. Heavy metals in agricultural soils in Poland. Polish J. Soil Sci., 30, 2: 35–42.
- Ustawa 1995. Ustawa o ochronie gruntów rolnych i leśnych z dnia 3 lutego 1995 r., Dz. U. Nr 16, poz. 78, z późniejszymi zmianami.
- Ustawa 2001. Ustawa Prawo ochrony środowiska z dnia 27 kwietnia 2001 r., Dz. U. Nr 62, poz. 627.
- Ustawa 2007. Ustawa o zapobieganiu szkodom w środowisku i ich naprawie z dnia 13 kwietnia 2007 r. Dz. U. Nr 75, poz. 493.
- Weber J., 1987. Stan ekologiczny gleb Dolnego Śląska, [w:] Stan ekologiczny Dolnego Śląska. Materiały konferencyjne, Wrocław 1987, DTSK Wrocław.

## THE SOILS POLLUTED WITH HEAVY METALS AND ARSENIC IN LOWER SILESIA – THE NEED AND METHODS OF RECLAMATION

### Summary

Various research works, carried out in Lower Silesia by various institutions and surveys, confirm local occurrence of soils polluted with heavy metals. This problem is related first of all to the areas affected by present and historical mining and processing of metal ores, the vicinities of industrial and municipal waste dumping sites, as well as different urban and industrial areas. In some

parts of those areas, exceeded are the threshold values for metal concentrations, established as soil and earth quality standards. Presented are several examples of such areas, with special attention given to the factors affecting ecological risk caused by the presence of heavy metals in soils. The choice of the best strategy for soil reclamation is a matter of discussion, which should involve the assessment of ecological risk as well as the requirements of present legal regulations.

**KEY WORDS:** soils, heavy metals, arsenic, contamination, reclamation, mining areas, industrial areas, soil quality standards

Recenzent – Reviewer: prof. Anna Wójcikowska-Kapusta, UP w Lublinie

