

Urszula ALEKSANDER-KWATERCZAK, Dariusz CISZEWSKI
Akademia Górniczo-Hutnicza

ZANIECZYSZCZENIE GLEB NA OBSZARZE HISTORYCZNEJ EKSPLOATACJI RUD ZN-PB (REJON LGOTY)

Streszczenie. Przeprowadzono badania profili gleb w rejonie Lgoty w południowej części Wyżyny Olkuskiej na obszarze o długoletniej historii wydobywania i przetwórstwa rud cynkowo-ołowiowych. Profile zostały wykonane w sąsiedztwie zwałowisk poeksploatacyjnych, znajdujących się przy dawnych szybach wydobywczych tzw. warpiach. Na podstawie otrzymanych wyników oznaczeń stwierdzono wysokie koncentracje metali, głównie cynku, kadmu i ołowiu (odpowiednio 119,3-31 816, 1,7-741,9 oraz 43,3-8583 mg/kg), pozostające jednakże w ścisłym związku ze składem petrograficznym podłoża. Dobre właściwości buforowe gruntów, pH powyżej neutralnego oraz pokrycie zwartą roślinnością powodują, że obszar ten nie wymaga rekultywacji.

SOIL CONTAMINATION IN THE AREA OF THE Zn-Pb ORES HISTORICAL EXPLOITATION (LGOTA REGION)

Summary. Researches of soil profiles were conducted at Lgota in the southern part of Olkusz Upland in southern Poland, with a long history of mining and processing of zinc-lead ores. Profiles were outcropped at waste dump sites located at former shafts called "warpie". The analyses exhibit high heavy metal concentrations, particularly of Zn (119.3-31 816 mg/kg) of Cd (1.7-741.9 mg/kg) and of Pb (43.3-8583 mg/kg), which correspond with petrography of profiles. Good buffer properties, pH over neutral as well as dense plant cover make soil reclamation not necessary.

1. Wprowadzenie

Historyczna eksploatacja i przeróbka rud cynkowo-ołowiowych pozostawiła po sobie w wielu rejonach świata liczne hałdy skały płonnej, zawierającej bardzo często znaczne koncentracje eksploatowanych rud (Alvarez i in. 2003, Yang i in. 2006, Pruvot i in. 2006). Obiekty te ulegają wietrzeniu i wskutek wymywania wodami opadowymi oraz erozji eolicznej stanowią źródło zanieczyszczenia środowiska wodno-gruntowego. Negatywne oddziaływanie wietrzejących zwałowisk może mieć bardzo zróżnicowany zasięg. Może mieć jedynie znaczenie lokalne, na co mają wpływ działania, tj. zasypywanie wyrobisk i utrwalanie hałd roślinnością lub dochodzić aż do wielu kilometrów na przykład wskutek stałego zasilania wód powierzchniowych przez odcieki z hałd (Kovacs i in. 2006, Lintnerova i in. 2008,

Navarro i in. 2008 Aleksander-Kwaterczak, Helios-Rybicka 2009, Aleksander-Kwaterczak i in. 2010).

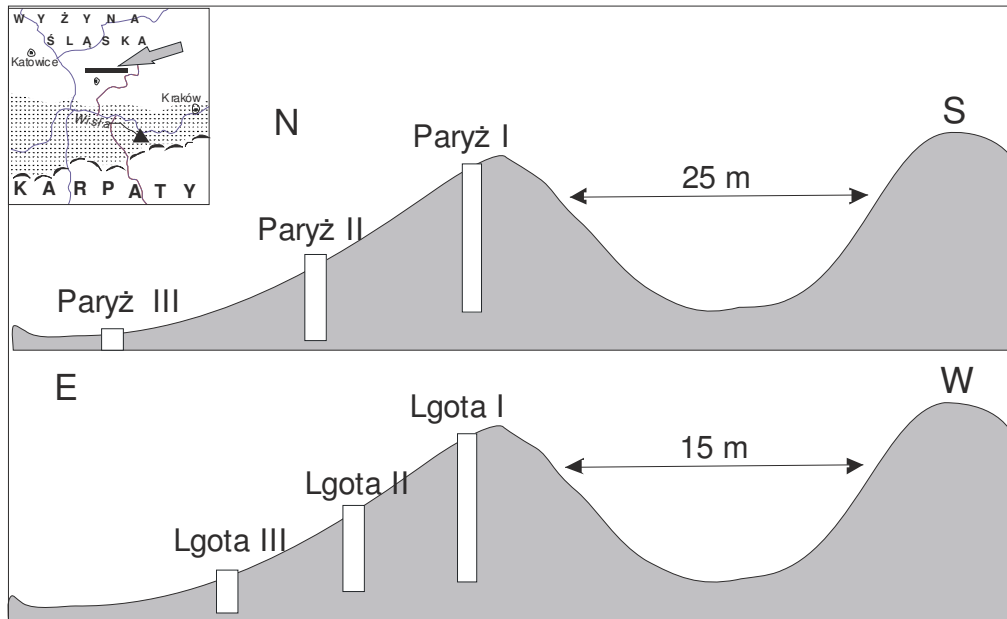
W Polsce złoża rud cynkowo-ołowiowych występują w triasowych dolomitach kruszczośnych Wyżyny Śląsko-Krakowskiej w południowej części kraju i należą do największych w Europie. Współcześnie są one jednak wydobywane jedynie z większej głębokości w jednej podziemnej kopalni. Złoża płytko zalegające zostały wyczerpane w wyniku trwającej kilkaset lat eksploatacji (Molenda 1963).

Eksploatacja rud ołowiuowo-cynkowych w rejonie Lgoty, położonym w południowej części Wyżyny Olkuskiej, była już prowadzona od przełomu XV i XVI wieku (Górecki, Szwed 2005). Początkowo okoliczni mieszkańcy wydobywali okruszczowane skały metodą odkrywkową. Dopiero w XIX wieku powstała na tym obszarze kopalnia Katarzyna, obejmująca swym zasięgiem okolice Ostrężnicy i Lgoty, tj. łącznie ok. 5 km². Z powodu wyczerpania surowca została ona zamknięta w 1912 roku (Molenda 1972). Historyczna eksploatacja wprowadziła daleko idące zarówno geomorfologiczne, jak i geochemiczne zmiany w środowisku naturalnym. Powierzchnia około 8 km² do dziś pokryta jest przez tzw. warpie, czyli głębokie na kilka metrów i szerokie od kilku do kilkudziesięciu metrów zagłębienia - dawne szyby- z wyraźnym obwałowaniem usypanym ze skał nadkładu. W rejonie Lgoty jest ich około 400 i są przeważnie porośnięte lasem.

Celem pracy było określenie zmienności i prawidłowości występowania metali ciężkich w profilach glebowych zlokalizowanych w różnych odległościach od zwałów sąsiadujących z zagłębieniami poeksploatacyjnymi rud.

2. Obszar i materiał do badań

Badania przeprowadzono w okolicy miejscowości Lgota oraz Paryż na obszarach charakteryzujących się różnymi zespołami leśnymi, na których dominują gleby typu rędziny. Gleby w pierwszej z lokalizacji pokrywa las bukowy, w drugiej natomiast las mieszany z dominacją sosny. Odkrywki glebowe na tych terenach wykonano w zwałach około 3-metrowej wysokości, które powstały wokół zagłębień poeksploatacyjnych. W każdej z lokalizacji wykonano po trzy odkrywki glebowe w przekroju poprzecznym do nasypu (rys. 1). Pierwszą z odkrywek lokalizowano w najwyższym punkcie nasypu, drugą na skarpie, a trzecią tuż u podnóża nasypu. Miąższość odkrywek wahała się między 2,8 a 0,5 metra (rys. 2) i była uzależniona od głębokości występowania pogrzebanej pod rumoszem skalnym pierwotnej warstwy organicznej.



Rys. 1. Obszar badań oraz schemat opróbowania
 Fig. 1. Area and schame of soil sampling



Rys. 2. Odkrywka glebowa w okolicy Paryża i Lgoty
 Fig. 2. Soil profile in the Paryż and Lgota region

3. Metodyka

Na podstawie wykonanych odkrywek wykonano opis profili glebowych i z poszczególnych warstw pobrano próbki, w których oznaczono gęstość objętościową, pH potencjalne i czynne, zawartości: wody (105°C, suszarka) oraz substancji organicznej (550°C, piec mufłowy) metodą wagową i węglanów zarówno metodą wagową (925°C, piec mufłowy), jak i objętościową (aparatus Scheiblera) oraz skład ziarnowy metodą sitową.

W wydzielonej frakcji ziarnowej <0,063 mm po mineralizacji w piecu mikrofalowym (MDS 2000) w 65% HNO₃ oznaczono zawartości metali, tj. Cd, Pb, Zn i Cu metodą

plamieniowej atomowej spektrometrii absorpcyjnej (AAS SOLAAR). Użycie do badań pylasto-ilastej frakcji ziarnowej miało na celu wykrycie nawet stosunkowo niewielkich zmian postdepozycyjnych, odzwierciedlających procesy readsorpcji i migracji pierwiastków, zachodzących w stosunkowo krótkim okresie czasu.

4. WYNIKI I DISKUSJA

We wszystkich badanych profilach występuje litologiczne zróżnicowanie budującego je materiału. Generalnie, ich powierzchniową część tworzy warstwa próchnicza o miąższości 5-10 cm i intensywnym czarnym zabarwieniu. Pod nią występują warstwy piaszczyste przechodzące na różnej głębokości w intensywnie żółte warstwy gliniaste, w których obecne są bardzo liczne, różnej wielkości ostrokrawędziste odłamki skalne (dolomity), pochodzące ze skał nadkładu oraz z warstw rudonośnych. Pod nimi pojawia się ponownie warstwa organiczna – przed wykonaniem zwałowiska występująca na powierzchni terenu.

Wraz ze zmianą litologii zmieniają się własności gruntu. W obrębie odkrywki Lgota I o głębokości 200 cm (rys. 1) gleby o najniższym pH ($pH_{H_2O}=6,15$ a $pH_{KCl}=5,55$) występują w warstwie próchnicznej (0-3 cm). W poziomie tym istnieje równocześnie stosunkowo najwyższa zawartość substancji organicznej wynosząca 53% oraz najmniejsza ilość węglanu wapnia (6,5%). Wartość pH wzrasta w głąb profilu i na głębokości 82-112 cm, w warstwie bogatej w okruchy dolomitów pH_{H_2O} dochodzi do 9,20. W poziomie tym występuje równocześnie najniższa (1,2%) dla całego profilu zawartość substancji organicznej oraz najwyższa zawartość węglanu wapnia (93%). Poniżej tej warstwy pH ponownie spada i w poziomie organicznym znajdującym się pod nasypem wydobytych skał płonnych (na głębokości 138-144 cm) przyjmuje wartość 8,45. W warstwie tej jest obserwowany wzrost w stosunku do warstw nadległych substancji organicznej (6,3%) oraz wyraźny spadek zawartości węglanu wapnia do ilości 2,3% (rys. 3).

W odkrywce wykonanej w środkowej części nasypu, Lgota II (rys. 1), o głębokości 82 cm, powierzchniowa warstwa organiczna sięga do głębokości 7 cm p.p.t. Charakteryzuje ją relatywnie niskie pH ($pH_{H_2O}=6,8$ a $pH_{KCl}=5,08$), wysoka zawartość substancji organicznej (ok. 50%) oraz niska zawartość węglanu wapnia wynosząca 5,7%. Poniżej tego poziomu następuje, aż do głębokości 57 cm, wzrost pH_{H_2O} do 8,05, spadek zawartości materii organicznej (do 2,5%) oraz wzrost zawartości $CaCO_3$ (do 82%). Poniżej ponownie pojawia się warstwa wyraźnie uboga w węglany (<6%), o nieco niższym pH_{H_2O} (ok. 7,9) oraz niewielkim wzroście zawartości substancji organicznej (3,7%) (rys. 3).

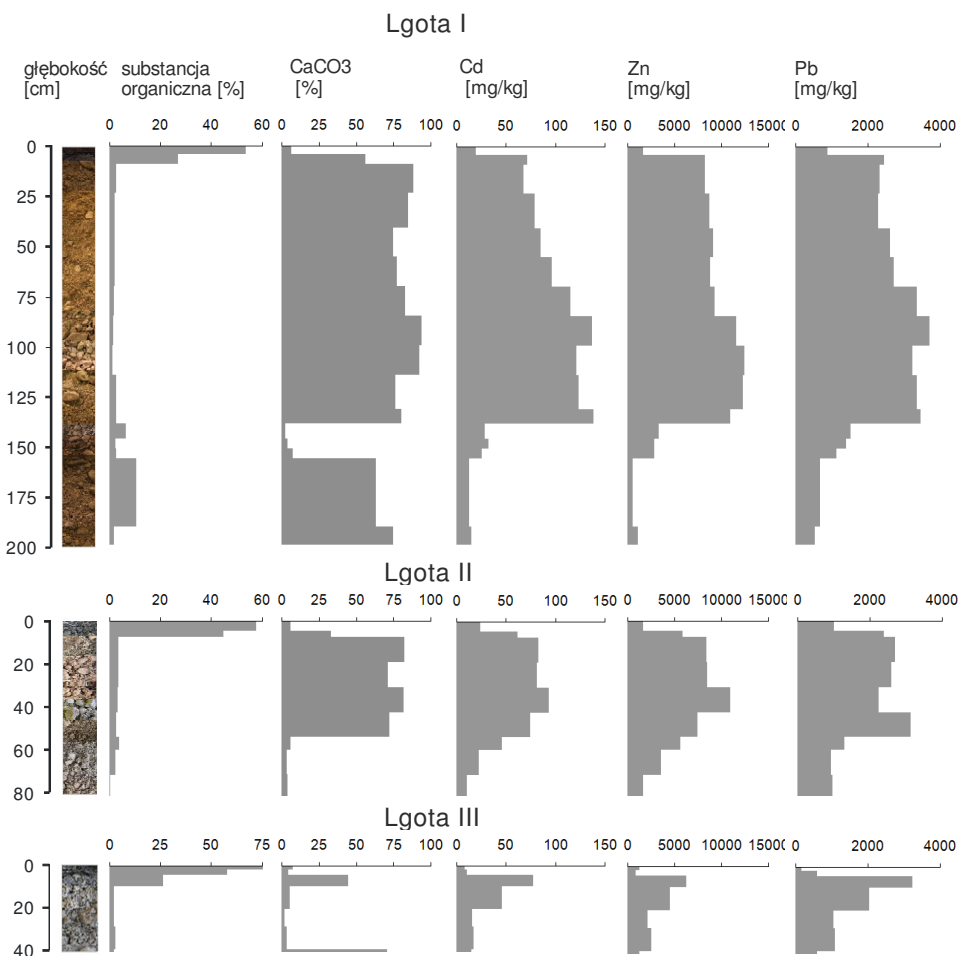
W odkrywce Lgota III o głębokości 40 cm powierzchniowa warstwa próchniczna ma w stosunku do dwóch wyżej opisanych profili największą miąższość, tj. 10 cm. W warstwie tej stwierdzono najwyższą zawartość substancji organicznej, bo dochodzącą do 75,3%. Wartość ta następnie maleje wraz z głębokością i dla poziomu z okruchami dolomitów (37-40 cm) wynosi zaledwie 2,0%. Zawartość węglanu wapnia jest niska w warstwie powierzchniowej i wzrasta w dolnej części profilu aż do wartości 70% (rys. 3). Jest ona silnie skorelowana z wartością pH, które to od lekko kwaśnego ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 6,15$) w warstwie organicznej wzrasta w głąb profilu do zasadowego ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 8,04$).

Na terenie drugiej lokalizacji badań, tj. Paryża (rys. 1), porośniętym w głównej mierze drzewami iglastymi, odkrywka na szczytowej części nasypu (Paryż I) została wykonana do głębokości 282 cm. Odczyn występujących tam gruntów jest nieco wyższy w stosunku do pH materiału budującego pozostałe profile, ale jest zachowana analogiczna tendencja. W warstwie powierzchniowej (0-4 cm) o zawartości substancji organicznej 43%, gleby mają najniższe pH ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 7,21$) i najniższą zawartość CaCO_3 , natomiast najbardziej zasadowe są warstwy dolomityczne ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 8,72$). Poniżej wraz z głębokością, wartość pH oraz zawartość węglanu wapnia rosną, natomiast ilość substancji organicznej maleje. W warstwie bogatej w okruchy eksploatowanego dolomitu (74-172 cm), $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ dochodzi do 9,0, natomiast zawartość CaCO_3 do 97%. Poniżej głębokości 225 cm występuje warstwa, o niższym pH i niewielkim wzroście zawartości substancji organicznej. Jest to najprawdopodobniej pierwotna warstwa powierzchniowa terenu (warstwa organiczna). Następnie wraz z głębokością substancja organiczna i węglan wapnia zanikają (rys. 4).

Odkrywka Paryż II o głębokości 96 cm została wykonana na skarpie zwałowiska (rys. 1). Warstwa organiczna sięga tutaj do głębokości 6 cm p.p.t., jednakże przypowierzchniowe trzy centymetry gleby charakteryzują się stosunkowo najniższym dla tej odkrywki pH ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}=5,6$) i najwyższą zawartością substancji organicznej (58%). W profilu tym występuje relatywnie cienka, wynosząca ok. 30 cm, warstwa bogata w okruchy dolomitów, w której zawartość CaCO_3 wynosi około 87%. Poniżej tej warstwy pH osadów ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}\approx 8$) oraz zawartość substancji organicznej (ok. 1%) utrzymują się na względnie stałym poziomie. Zawartość węglanu wapnia maleje do 2% (rys. 4).

Podobny trend jest także zachowany na terenie reprezentowanym przez odkrywkę Paryż III. Jednakże, występująca tu 6-centymetrowa warstwa organiczna posiada wyjątkowo niskie dla tej lokalizacji pH ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} 4,4-5,0$), a warstwa bogata w okruchy dolomitów posiada miąższość zaledwie 10 cm (występuje na głębokości 10-20 cm) (rys. 4).

W pobranych z odkrywek w Lgocie próbkach gleb (las liściasty) zawartość kadmu waha się w granicach 8,125-138,2; cynku w granicach 559,6-12 433, natomiast ołowiu w zakresie 158,8-3692 [mg/kg]. Generalnie, w warstwie powierzchniowej (poziom organiczny) można zauważyć niższe w stosunku do podścielających je warstw koncentracje Cd, Zn i Pb. Następnie zawartości stopniowo wzrastają i osiągają maksymalne wartości w przypadku odkrywki Lgota I na głębokości 82-138 cm, średnio [mg/kg]: dla Cd ok. 130, dla Zn ok. 11 800 i dla Pb ok. 3400. W przypadku odkrywki Lgota II maksymalne koncentracje są nieco niższe, średnio [mg/kg] dla Cd ok. 85, dla Zn ok. 9250 i dla Pb ok. 2660, i występują na płytszych głębokościach (7-57 cm). Najniższe z maksymalnych koncentracji stwierdzono w odkrywce Lgota III, średnio [mg/kg]: dla Cd ok. 60, dla Zn ok. 5400 i dla Pb ok. 2625, a warstwa wzbogacona w te metale ma jedynie 15 cm (głębokość: 5-20 cm). Poniżej wymienionych poziomów koncentracje badanych metali ponownie i gwałtownie maleją. Inny trend stwierdzono dla miedzi, która we wszystkich trzech odkrywkach z Lgoty występuje w największych zawartościach w powierzchniowej warstwie organicznej i wynosi [mg/kg]: 69,80 dla odkrywki Lgota I (3-7 cm), 68,8 dla odkrywki Lgota II (3-7 cm) oraz nieco mniej, bo 42,2 w odkrywce Lgota III (2-5 cm). Następnie zawartości te maleją wraz z głębokością, osiągając w spągowej części wartość ok. 5 mg/kg.

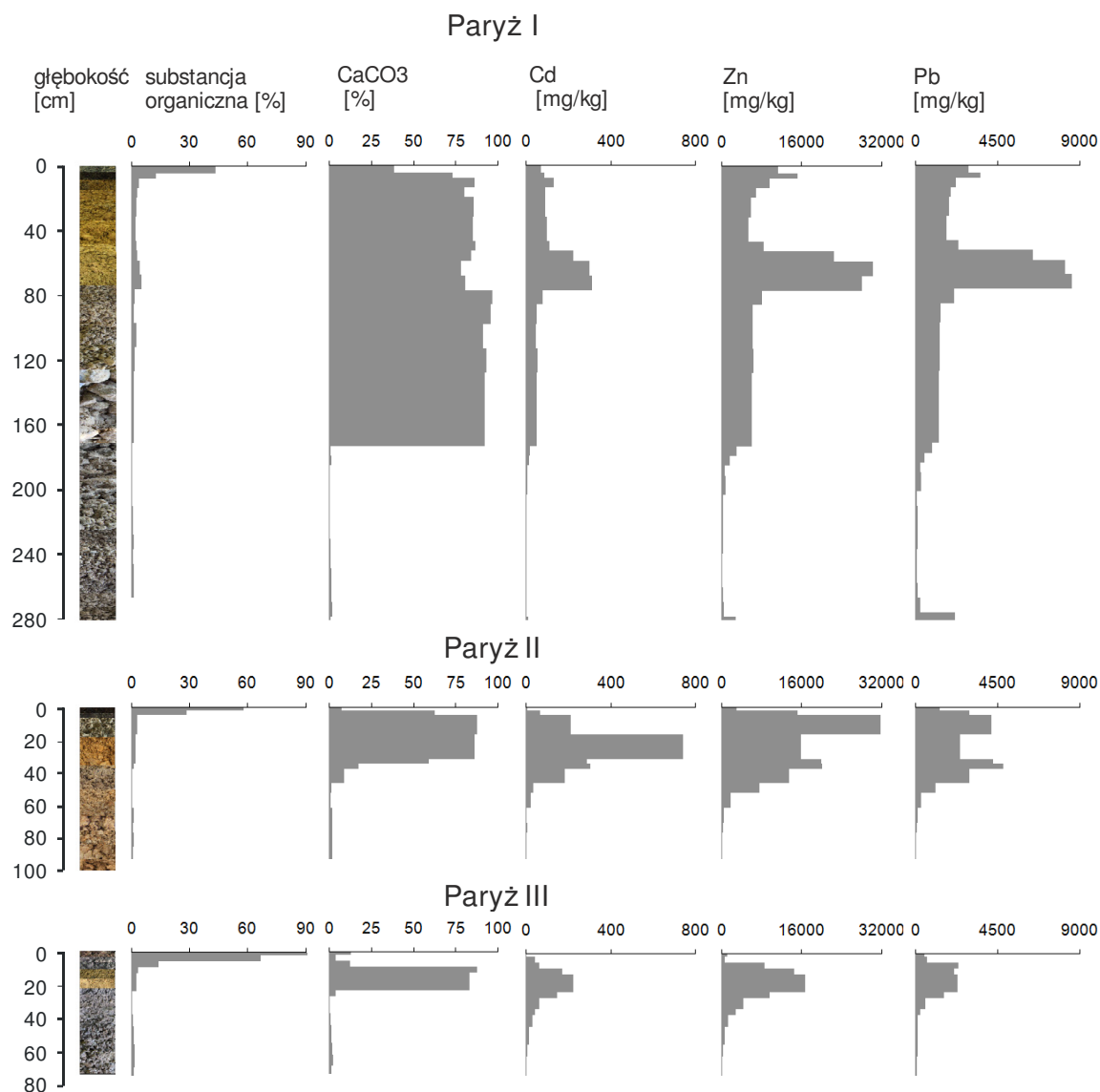


Rys. 3. Rozmieszczenie zawartości substancji organicznej, węglanu wapnia oraz kadmu, cynku i ołowiu w profilach z Lgoty

Fig. 3. Distribution of organic matter, carbonates, cadmium, zinc and lead in the soil profiles from Lgota

W analizowanych próbkach pobranych z odkrywek w Paryżu (las z przewagą drzew iglastych) zawartości analizowanych metali są wyższe w stosunku do tych stwierdzonych w Lgocie i wynoszą odpowiednio [mg/kg]: 1,721-741,9 dla Cd, 119,3-31 816 dla Zn oraz 43,3-8583 dla Pb. Można jednakże zauważyć podobne tendencje. Maksymalne koncentracje w odkrywce Paryż I występują na głębokości 53-74 cm, na której Cd przekracza 300 mg/kg, Zn 30 000 mg/kg, a Pb 8500 mg/kg. Nieco odmienna sytuacja panuje w odkrywce Paryż II, gdzie istnieje stosunkowo duża miąższość gruntów o podwyższonej koncentracji omawianych metali (od 3 do 40 cm), a maksymalne koncentracje przewyższają te stwierdzone dla materiału pobranego z góry nasypu i wynoszą [mg/kg]: Cd - 742, Zn - 31 816 oraz Pb - 4798. Sytuacja taka może świadczyć o migracji metali w głąb profilu. W odkrywce Paryż III maksymalne koncentracje są niższe niż dla poprzednich profili [mg/kg]: Cd - 224, Zn - 16 760 Pb - 2334, a miąższość gruntów, w jakich one występują, wynosi zaledwie 10 cm (głębokość 10-20 cm).

Najwyższe zawartości [mg/kg] Cu można zauważyć podobnie jak dla lokalizacji Lgota w powierzchniowym poziomie organicznym i wynoszą one dla próbek z odkrywki Paryż I - 44,6 (4-15 cm), dla odkrywki Paryż II - 67,8 (3-6 cm), a dla odkrywki Paryż III najwięcej, bo 104,3 (6-10 cm). W odkrywce Paryż I dodatkowo wysokie koncentracje Cu (49,6 mg/kg) zostały odnotowane na głębokości 182-189 cm.



Rys. 4. Rozmieszczenie zawartości substancji organicznej, węglanu wapnia oraz kadmu, cynku i ołowiu w profilach z Paryża

Fig. 4. Distribution of organic matter, carbonates, cadmium, zinc and lead in the soil profiles from Paryż

Generalnie, zawartości Cd, Pb i Zn wzrastają wraz z głębokością, osiągając maksimum na głębokości występowania warstw zbudowanych z okruszków skalnych hałdy, po czym poniżej, w pogrzebanych pod nimi poziomach glebowych, ich ilości gwałtownie maleją i utrzymują się na względnie stałym poziomie. Łączna miąższość warstw wzbogaconych

w metale maleje wraz z odległością od centralnej części warpii, a co za tym idzie nachyleniem skarpy.

Wysokie koncentracje metali na badanym terenie powodują, że nawet jeśli niewielka część stosunkowo mobilnych pierwiastków, jakimi są Cd, Zn i Pb, ulega wymyciu z luźno upakowanego materiału zwałowisk, to jest zauważalny wzrost koncentracji w pogrzebanych organicznych poziomach glebowych. Wtórne wzbogacenie zmniejsza się jednak w większości profili dość szybko poniżej tego poziomu i jest nawet większe w profilach, w których warstwa zwałów ma kilka centymetrów niż w tych o warstwie o największej miąższości. Wynika to zapewne z płytszego zalegania tych warstw, ale też większego zakwaszenia warstw poziomu próchniczego, który powstał po zaprzestaniu eksploatacji i ma większą miąższość niż na wyżej położonej powierzchni zwałowiska. Również warstwy przykryte przez zwałowisko mają wyższe zakwaszenie niż w profilach najgłębszych, co zapewne wynika ze słabszych właściwości buforowych, gdyż poza zwałami dominują piaski.

Tempo migracji, jakkolwiek trudne do ilościowego oszacowania, nie jest przypuszczalnie wyższe niż w glebach w innych rejonach zanieczyszczonych głównie cynkiem i kadmem (Sterckeman i in. 2000), jakkolwiek przemieszczanie metali w miejscach składowisk odpadów pohutniczych jest szacowane w ciągu ponad 1000 lat nawet na kilka metrów (Maskall i in. 1996).

Generalnie, otrzymane wyniki wskazują, że w okresie około 150 lat, jaki minął od powstania zwałowisk, wzrost zanieczyszczenia w pogrzebanych horyzontach glebowych jest ograniczony do niewielkiej stosunkowo głębokości. Warstwy te znajdują się znacznie powyżej poziomu wód gruntowych, zalegającego na wyżynie na głębokości nawet kilkudziesięciu metrów. Mimo więc bardzo wysokich koncentracji metali w zwałach, występujących na powierzchni kilku km² w całym rejonie Lgoty (Pasieczna 2008), znacznie odbiegających od wartości typowych dla gleb Polski (wg Kabata-Pendias i Pendias 1999), nie stwarzają one istotnego zagrożenia dla środowiska wodnego. Jedną z najistotniejszych przyczyn tego faktu jest dominacja skał węglanowych i węglanu wapnia odpowiedzialnego za wysokie pH, które jest kluczowym czynnikiem ograniczającym migrację metali (Yang i in. 2006).

5. Wnioski

Przeprowadzone badania pokazują wysokie koncentracje kadmu, cynku i ołowiu w zwałowiskach materiału wydobywanego z szybów. Miąższość silnie zanieczyszczonych

gruntów przekracza nawet 1,5 m. Mimo jednak ewidentnych przejawów migracji, na którą wskazuje wzbogacenie pogrzebanych poziomów glebowych, miąższość wtórnie zanieczyszczonych gleb jest stosunkowo niewielka. Niewątpliwie jest to związane ze stosunkowo krótkim okresem, jaki minął od powstania zwałowisk – około 150 lat, ale także dużym udziałem węgla wapnia i wysokim pH oraz dobrymi właściwościami buforowymi gleb. Ogranicza to możliwość przenikania zanieczyszczeń do wód gruntowych. Te fakty oraz istniejąca szata roślinna eliminuje konieczność przeprowadzania na obszarze badań prac rekultywacyjnych w celu zabezpieczenia przed rozprzestrzenieniem się metali w środowisku.

BIBLIOGRAFIA

1. Aleksander-Kwaterczak U., Ciszewski D., Szarek-Gwiazda E., Kwandrans J., Wilk-Wozniak E., Waloszek A.: Wpływ historycznej działalności kopalni rud Zn-Pb w Chrzanowie na stan środowiska wodnego doliny Matyldy. *Górnictwo i Geologia*, t. 5, z. 4, Gliwice 2010, s. 21-30.
2. 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. *J Soils Sediments*, 2009, 9, p. 13-22.
3. Alvarez E., Fernandez Marcos M.L., Vaamonde C., Fernandez-Sanjurjo M.J.: Heavy metals in the dump of an abandoned mine in Galicia (NW Spain) and in the spontaneously occurring vegetation. *Sci. Tot. Environ.*, 2003, 313, p. 185-197.
4. Górecki J., Szwed E.: Pozostałości dawnego górnictwa kruszcowego na Ziemi Krzeszowickiej. *Prace Naukowe Inst. Górn. Pol. Wrocław*, Vol. 111, 2005, s. 83-92.
5. Kabata-Pendias A., Pendias H.: *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN, Warszawa 1999.
6. Kovacs E., Dubbin WE., Tamas J.: Influence of hydrology on heavy metal speciation and mobility in a Pb-Zn mine tailing. *Environmental Pollution*, 2006, 141, p. 310-320.
7. Lintnerova O., Sottnik P. I., Soltes S.: Abandoned Smolnik mine (Slovakia) - a catchment area affected by mining activities. *Estonian J. of Earth Sc.*, 2008, 57, p. 104-110.
8. Maskall J., Whitehead K., Gee C., Thornton I.: Long-term migration of metals at historical smelting sites. *Applied Geochemistry*, 1996, 11, p. 43-51.
9. Molenda D.: *Górnictwo kruszcowe na terenie złóż śląsko-krakowskich do połowy XVI wieku. Studia i Materiały z Historii Kultury Materialnej XV, Studia z Dziejów Górnictwa i Hutnictwa VIII*. Ossolineum, Wrocław-Warszawa-Kraków 1963.

10. Molenda D.: Kopalnie rud ołowiu na terenie złóż śląsko-krakowskich w XVI-XVIII wieku. Z dziejów postępu technicznego w eksploatacji kruszców. Instytut Historii Kultury Materialnej PAN. Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław 1972.
11. Navarro M.C., Perez-Sirvent C., Martinez-Sanchez M.J., Vidal J., Tovar P.J., Bech J.: Abandoned mine sites as a source of contamination by heavy metals: a case study in a semiarid zone. *J. Geochem. Explor.*, 2008, 96, p. 183-193.
12. Pasieczna A.: Wpływ przemysłu na środowisko przyrodnicze regionu śląsko-krakowskiego. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, t. 24, z 2/2, 2008, s. 67-82.
13. Pruvot C, Douay F, Fourrier H, Waterlot C.: Heavy metals in soil, crops and grass as a source of human exposure in the former mining areas. *J Soils Sediments*, 2006, 6(4):215–220.
14. Sterckeman T., Douay F., Proix N., Fourier H.: Vertical distribution of Cd, Pb and Zn in soils near smelters in the North of France. *Environmental Pollution*, 2000, 107, p.377-389.
15. Yang Y., Liu C., Pan W., Zhang G., Zhu W.: Heavy metal accumulation from zinc smelters in a carbonate rock region in Hezhang country, Guizhou Province, China. *Water, Air, Soil Pollut.* 2006, 174, p. 321-339.

Abstract

Results of metals analyses in soil profiles sampled at two 18/19th century mine shafts of the Trzebinia lead-zinc ore mining region in southern Poland are presented. Profiles were outcropped at waste dump sites located at former shafts called “warpie”. Waste dump sites located at these shafts exhibit initial pedogenesis with clear differences in zinc, cadmium and lead content between soil horizons which changes in depth across each of the investigated dump. The analyses exhibit high heavy metal concentrations, particularly of Zn (119.3-31 816 mg/kg) of Cd (1.7-741.9 mg/kg) and of Pb (43.3-8583 mg/kg). The thickness of heavily contaminated soil is up to 1.5 m. The highest metal concentrations occur in horizons containing excavated ore-bearing Triassic dolomites. Enrichment of buried soil horizons suggest that large part of cadmium and much less of zinc migrate downward by a depth several tens of centimeters over about 200 years. However, metal migration in profiles is mitigated by high pH of the waste material and the good buffer properties of soils, encroachment of forest communities over the contaminated waste heaps may affect mobility of at least the most mobile elements. These facts eliminate the need to conduct remediation work to prevent the spread of metals in the environment.