

**Bożena Smreczak, Jan Jadczyzyn, Agnieszka Klimkowicz-Pawlas,
Aleksandra Ukalska-Jaruga**

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

STAN ZANIECZYSZCZENIA GLEB PIERWIASTKAMI ŚLADOWYMI
ORAZ STRUKTURA UŻYTKOWANIA GRUNTÓW W REJONIE OLKUSZA*

Słowa kluczowe: zanieczyszczenie, pierwiastki śladowe, biodostępność metali

Wstęp

Zanieczyszczenie gleb jest jednym z ośmiu najważniejszych zagrożeń wymienianych w dokumencie Komisji Europejskiej „*Strategia tematyczna w dziedzinie ochrony gleby*” (23). Gleby zanieczyszczone pierwiastkami śladowymi od dawna pozostają w kręgu zainteresowań nauk przyrodniczych i rolniczych ze względu na potencjalną toksyczność metali dla organizmów żywych oraz możliwość przechodzenia do łańcucha pokarmowego człowieka (21). Większość pierwiastków śladowych, w tym miedź, cynk czy bor, pełni istotną rolę w organizmach roślin i zwierząt, ponieważ są niezbędnymi składnikami białek i enzymów. Dla pierwiastków takich jak ołów, kadm, arsen czy rtęć dotychczas nie stwierdzono znaczącej funkcji fizjologicznej, ale ich wysokie stężenia w tkankach ludzi prowadzą do wielu bardzo poważnych problemów zdrowotnych (17). Ocenia się, że najważniejszym źródłem narażenia człowieka na potencjalnie toksyczne pierwiastki są produkty żywnościowe, dlatego powinny podlegać stałej kontroli. Bardzo ważną rolę w diecie pełnią produkty roślinne, co powoduje, że równie ważną jest znajomość stanu zanieczyszczenia gleb użytkowanych rolniczo. W naszym kraju ocena gleb ornych pod względem zawartości m.in. pierwiastków śladowych jest prowadzona od 1995 r., w odstępach pięcioletnich, w programie *Monitoring chemizmu gleb ornych w Polsce* (33). Program ten jest częścią Państwowego Monitoringu Środowiska i obejmuje 216 stałych punktów kontrolnych (33).

Pierwiastki śladowe w glebach pochodzą ze źródeł naturalnych i antropogenicznych. Źródła naturalne są związane z właściwościami skały macierzystej lub dopływem do gleb składników zawierających pierwiastki np. w wyniku erupcji wulkanów

* Problematyka prezentowana w trakcie XII Sympozjum "*Trace elements in the environment*", zorganizowanego w ramach zadania 1.2 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

czy pożarów lasów (21). Źródła antropogeniczne metali to działalność rolnicza, w tym stosowanie osadów ściekowych, nawozów mineralnych i organicznych, pestycydów oraz działalność przemysłowa, głównie wydobywanie i przetwórstwo rud metali. Na obszarach uprzemysłowionych większość gleb podlega w mniejszym lub większym stopniu wpływowi antropogenicznemu. Ilość metali, które dostają się do gleb w wyniku działalności człowieka często przewyższa ich stężenia w utworach naturalnych (17, 18). Pierwiastki śladowe pochodzące z różnych źródeł podlegają w glebach cyklowi biogeochemicznemu (17). Ich transport w profilach glebowych, przemieszczanie do wód gruntowych, dostępność i oddziaływanie na organizmy żywe zależy przede wszystkim od właściwości gleb m.in. zawartości ilu koloidalnego, tlenków żelaza i glinu, odczynu, potencjału redox, zawartości materii organicznej, charakteru pierwiastka oraz czasu narażenia organizmów na działanie metali (17).

Problem zanieczyszczenia gleb pierwiastkami śladowymi ma w wielu krajach znaczenie lokalne i jest związany m.in. z oddziaływaniem przemysłu wydobywania i przetwarzania rud metali (17, 21). W Polsce tereny zanieczyszczone metalami są zlokalizowane głównie w południowej części naszego kraju (33). W województwie dolnośląskim występują gleby o wysokiej zawartości miedzi, cynku, kadmu i arsenu (20, 21), a w województwie śląskim i małopolskim gleby zanieczyszczone głównie cynkiem, ołowiem, kadmem i arsenem (10, 33). Zanieczyszczenie gleb metalami może stanowić istotny problem ograniczający produkcję rolniczą. J a d c z y s z y n i i n . (15) zaliczyli do obszarów problemowych rolnictwa dziesięć gmin położonych w powiatach: będzińskim, tarnogórskim, chrzanowskim i olkuskim. Kryterium przy wyznaczaniu tych obszarów stanowił ponad 10% udział gleb zanieczyszczonych Zn, Cd i Pb w stosunku do wszystkich gruntów użytkowanych rolniczo. Ocenę przeprowadzono na podstawie wyników badań (n=45 000) z programu oceny jakości gleb użytkowanych rolniczo realizowanego w latach 1992-97 przez Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa (IUNG) i Okręgowe Stacje Chemiczno-Rolnicze (15).

Rejony Olkusza, Chrzanowa i Bytomia stanowią na Wyżynie Śląsko-Krakowskiej trzy główne obszary wydobywania rud cynku i ołowiu. Część gleb z tych terenów posiada naturalnie wysokie stężenia pierwiastków śladowych ze względu na skład kruszczońskich dolomitów diploporowych, ale znacznie większe obszary są wtórnie zanieczyszczone w wyniku działalności górniczej i hutniczej człowieka (10). W okolicach Olkusza obecnie działają dwie kopalnie oraz huta cynku i ołowiu ZGH „Bolesław” w Bukownie. Zanieczyszczenie gleb w tym rejonie jest również wynikiem przenoszenia przez wiatr cząstek odpadów poflotacyjnych oraz zanieczyszczeń emitowanych przez Hutę Katowice, elektrownię węglową Jaworzno II i lokalne zakłady przemysłowe (32). Rejon Olkusza uważany jest za typowo przemysłowy, jednak znaczną jego część zajmują użytki rolne, wśród których dominują odłogi. Pokrywa glebowa w rejonie Olkusza jest bardzo zróżnicowana ze względu na budowę geologiczną i przekształcenia wynikające z działalności przemysłu górniczego. Badania własne IUNG-PIB (dane nie publikowane) wykazały, że występują na tym

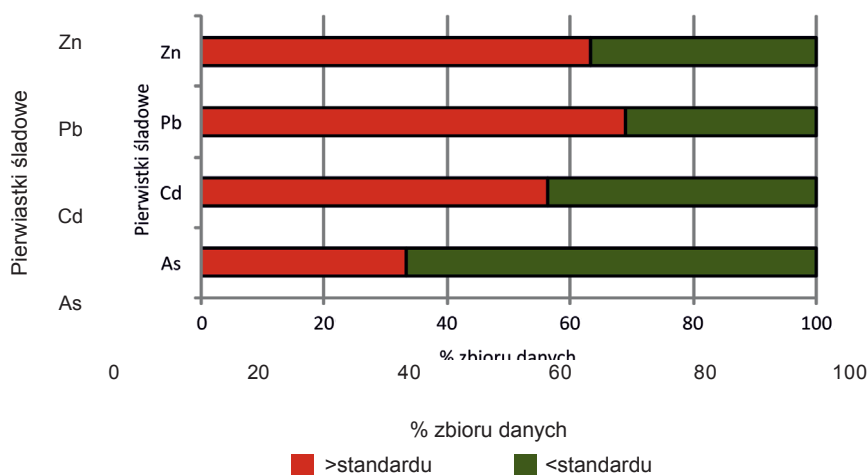
obszarze m.in. rędziny utworzone z wapieni i dolomitów diploporowych, gleby brunatne utworzone z ilów triasowych, gleby bielcowe i rdzawe utworzone z plejstocenijskich piasków fluwioglacjalnych i eolicznych oraz gleby płowe utworzone z piasków, glin i lessu. Duże powierzchnie rejonu olkuskiego są przekształcone przez wieloletnią działalność górniczą związaną z eksploatacją rud cynku i ołowiu oraz wydobywaniem piasku podsadzkowego, gdzie dominują gleby przemysłowe. Celem opracowania jest przedstawienie informacji dotyczących stanu zanieczyszczenia pierwiastkami śladowymi gleb w rejonie Olkusza z uwzględnieniem biodostępnej frakcji metali oraz efektów oddziaływania zanieczyszczeń na organizmy żywe. Praca zawiera również analizę struktury użytkowania gruntów w tym rejonie. W treści opracowania zostały częściowo przedstawione wyniki badań pracowników Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowego Instytutu Badawczego (IUNG-PIB) i Państwowego Instytutu Geologicznego-Państwowego Instytutu Badawczego (PIG-PIB) prowadzonych w latach 2010-2012 na terenie gmin: Bolesław, Klucze, Bukowno, Dąbrowa Górnicza oraz Sławków. Badania obejmowały 87 punktów badawczych i dotyczyły opracowania pilotażowego arkusza mapy geologiczno-glebowej „Sławków” i Systemu Integracji Danych Geologiczno-Glebowych (SIDGG).

Stan zanieczyszczenia gleb pierwiastkami śladowymi w rejonie Olkusza

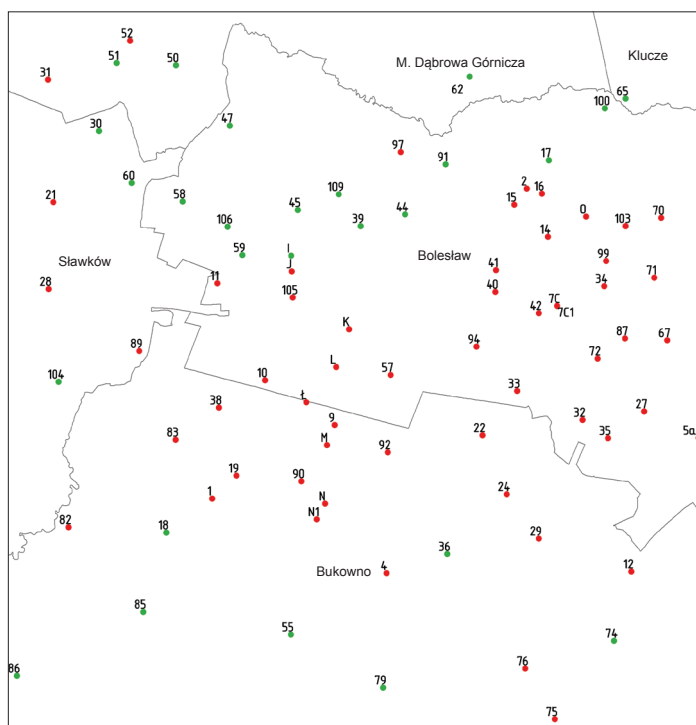
W regulacjach prawnych wielu krajów ogólna zawartość zanieczyszczeń w glebach jest wyznacznikiem stanu ich zanieczyszczenia (14). W Polsce aktem prawnym, w którym zawarte są dopuszczalne zawartości w glebach dwunastu pierwiastków śladowych: arsenu (As), baru (Ba), chromu (Cr), cyny (Sn), cynku (Zn), kadmu (Cd), kobaltu (Co), miedzi (Cu), molibdenu (Mo), niklu (Ni), ołowiu (Pb) i rtęci (Hg) jest Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. (8). Podane w dokumencie limity zawartości dla poszczególnych pierwiastków zależą od sposobu użytkowania terenu, wodoprzepuszczalności gruntu oraz głębokości, z której pobierane są próbki do badań. Przekroczenie dopuszczalnej wartości nawet dla jednego pierwiastka powoduje, że glebę taką należy uznać za zanieczyszczoną i poddać ją remediacji, o ile wysokie stężenia pierwiastków nie zależą od właściwości utworu macierzystego gleb. Według Rozporządzenia (8) dopuszczalne zawartości w warstwie powierzchniowej np. gleb użytkowanych rolniczo wynoszą dla cynku, kadmu i ołowiu odpowiednio $300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; $4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ i $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, natomiast w glebach z terenów przemysłowych, użytków kopalnych odpowiednio $1000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; $15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ i $600 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (8).

Badania zawartości metali w glebach w rejonie olkuskim były prowadzone przez wiele zespołów naukowych (3-5, 10, 32). Większość z tych badań potwierdza bardzo wysoką całkowitą zawartość cynku, ołowiu i kadmu a także arsenu, co pozwala zaliczyć ten obszar do najbardziej zanieczyszczonych w Polsce (3-5, 25, 28). Stężenie pierwiastków śladowych w glebach rejonu olkuskiego wykazuje dużą zmienność (5, 39, 40). Jak wykazała *Trafasińska* (39) w glebach znajdujących się pod

silnym wpływem emisji przemysłowych zawartość pierwiastków śladowych ulega bardzo dużym wahaniom nawet w niewielkich odległościach od tych źródeł (39). W rejonie olkuskim przeważają wiatry południowo-zachodnie i zachodnie, dlatego największe ładunki zanieczyszczeń są deponowane na terenach usytuowanych na północny-wschód i wschód od głównych źródeł zanieczyszczeń (5). Wyraźny wzrost zawartości metali zaznacza się w powierzchniowej warstwie gleb występujących w rejonach składowisk odpadów poflotacyjnych oraz obniżeniach terenu (5). Na terenach dawnej działalności górniczej w rejonie m.in. Bukowna występują gleby, w których zawartości metali przekraczają: 25 000 mg·kg⁻¹ dla Zn, 5 000 mg·kg⁻¹ dla Pb oraz 129 mg·kg⁻¹ dla Cd (5). Z badań IUNG-PIB i PIG-PIB przeprowadzonych w rejonie olkuskim, które obejmowały punkty badawcze zlokalizowane na gruntach rolnych, leśnych oraz terenach przemysłowych wynika, że zawartość metali wahała się w zakresach 0,5-332,9 mg·kg⁻¹ dla kadmu, 5-10240 mg·kg⁻¹ dla ołowiu 22-65190 mg·kg⁻¹ dla cynku oraz 3-1537 mg·kg⁻¹ dla arsenu. Większość badanych gleb była jednocześnie zanieczyszczona Zn, Pb i Cd. Porównanie otrzymanych wyników ze standardami jakości gleb (8) potwierdza przekroczenie dopuszczalnych wartości w prawie 70% lokalizacji (rys. 1). Należy jednak zaznaczyć, że ponad 30% gleb na badanym obszarze nie wykazywało przekroczenia limitów zawartości pierwiastków śladowych. Gleby te znajdowały się głównie w północnej części rejonu (rys. 2).



Rys. 1. Procentowy udział gleb, w których stwierdzono i nie stwierdzono przekroczeń standardów jakości gleby dla metali wg. Dz.U. Nr 165, poz. 1359 (8)



Rys. 2. Lokalizacje punktów, w których stwierdzono (kolor czerwony) lub nie stwierdzono (kolor zielony) przekroczenia dopuszczalnych limitów zawartości Zn, Pb, Cd i As w poziomie powierzchniowym gleb

Poza obszarem olkuskim, w rejonie śląsko-małopolskim, wysokie stężenia cynku, ołowiu i kadmu w glebach występują np. w okolicach Tarnowskich Gór (34) i Miasteczka Śląskiego (22, 31). Badania stopnia zanieczyszczenia pierwiastkami śladowymi gleb znajdujących się w sąsiedztwie huty cynku „Miasteczko Śląskie” prowadzone przez K i c i ń s k ą (22) wykazały zawartość Zn w granicach $200-2800 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; Pb $60-1200 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, a Cd $9-188 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (22). P a j ą k i J a s i k (31) oznaczali zawartość metali w ściółce i wierzchniej warstwie (0-20 cm) gleb lasów położonych wokół huty Zn w Miasteczku Śląskim. Stwierdzona przez autorów (31) zawartość metali w glebach była w zakresie $11-524 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ dla cynku, $325-709 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ dla ołowiu i $0,4-11 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ w przypadku kadmu, natomiast zawartość metali w ściółce kilkakrotnie przewyższała stężenia oznaczane w glebach i wynosiła odpowiednio dla cynku ołowiu i kadmu: $1385-2542 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $152-2108 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $3,3-83 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Badania S i e b i e l c a i i n . (34) dotyczące stopnia zanieczyszczenia pierwiastkami śladowymi gleb użytkowanych rolniczo w rejonie Tarnowskich Gór wykazały, że maksymalna zawartość Zn, Pb i Cd w wierzchniej warstwie (0-20 cm) przekraczała $4500 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ dla cynku, $6500 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ dla ołowiu i $35 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ dla kadmu (34). Należy zaznaczyć,

że problem zanieczyszczenia gleb pierwiastkami śladowymi wokół kopalni i hut metali występuje także w innych krajach. Przykładowe stężenia Zn, Pb i Cd w glebach z tych rejonów przedstawia tabela 1.

Tabela 1

Zakres całkowitej zawartości ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) cynku, ołowiu i kadmu w powierzchniowej warstwie gleb wokół kopalni i hut rud metali w różnych krajach świata wg Kabata-Pendias (17)

Kraj	Pierwiastki śladowe		
	Zn	Pb	Cd
Wielka Brytania	220-66 440	170-21 546	0,6-468
Belgia	66-180 000	137-14 000	3,2-1781
Kanada	185-1397	291-12 123	2-36
Holandia	915-3626	628-1334	9-33
Japonia	132-5400	53-2100	1,8-88
Stany Zjednoczone	155-12 400	500-6500	26-1500
Rosja	400-4245	1612-3640	-

Biodostępność pierwiastków śladowych w glebach

Tereny zanieczyszczone pierwiastkami śladowymi zalicza się do obszarów ryzyka (23), które powinny być właściwie zarządzane. Coraz częściej w takich rejonach ocenę niekorzystnego oddziaływania zanieczyszczeń na organizmy żywe dokonuje się w oparciu o analizę ryzyka ekologicznego. Szkodliwość nadmiernych ilości potencjalnie toksycznych metali wprowadzanych do gleby jest związana ze zwiększoną ich dostępnością dla organizmów żywych i może prowadzić do obniżenia intensywności mikrobiologicznych przemian materii organicznej, zaburzenia naturalnego obiegu N, P, S i innych pierwiastków, a w konsekwencji do obniżenia żyzności gleby. W glebach użytkowanych rolniczo może powodować spadek plonu roślin uprawnych, a także pogorszenie ich jakości pokarmowej i paszowej.

Całkowita zawartość pierwiastków śladowych w glebach stanowi bardzo ważną informację wykorzystywaną głównie do identyfikacji obszarów zanieczyszczonych, ale tylko w niewielkim zakresie obrazuje rzeczywiste ryzyko wystąpienia niekorzystnych efektów środowiskowych (16, 20). Dlatego w ocenie ryzyka ekologicznego na terenach zanieczyszczonych coraz więcej uwagi poświęca się zagadnieniom dostępności i biodostępności zanieczyszczeń. Najprostsza koncepcja biodostępności uwzględnia trzy frakcje: a) aktualnie dostępną frakcję zanieczyszczeń, która odpowiada ilości rozpuszczonej w roztworze glebowym i zależy od aktualnych warunków środowiska, b) potencjalnie dostępną frakcję określającą maksymalną ilość zanieczyszczeń, która może być uwolniona z gleby w przypadku np. zmiany warunków środowiskowych oraz c) frakcję niedostępną (14). Biodostępność zanieczyszczeń może być oznaczana

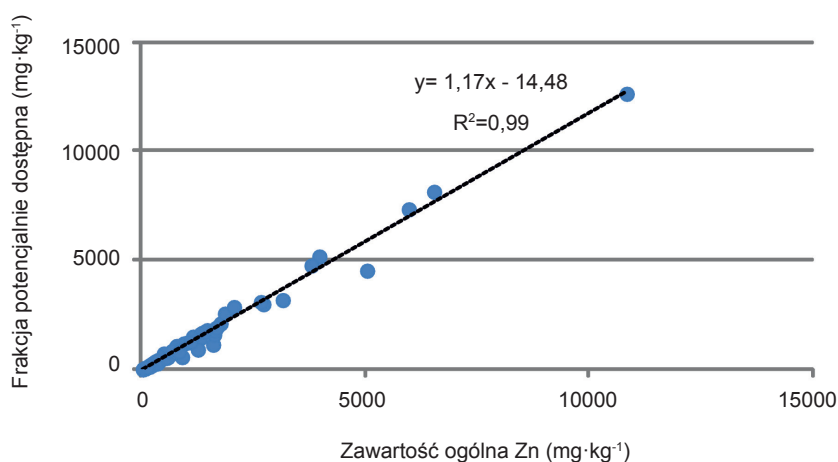
za pomocą metod biologicznych i chemicznych (13). W metodach biologicznych wykorzystuje się pomiary stężenia metali w tkankach organizmów żywych oraz testy ekotoksykologiczne oceniające reakcję organizmów testowych poddanych oddziaływaniu pierwiastków śladowych. Chemiczne metody oznaczania biodostępności metali w glebach to głównie pojedyncze ekstrakcje z wykorzystaniem roztworów soli oraz kwasów nieorganicznych i związków kompleksujących, w tym EDTA (16). O przydatności danej metody chemicznej do oznaczania biodostępnej frakcji dla określonej grupy organizmów żywych decydują wysokie współczynniki korelacji z wynikami testów biologicznych (13). Proste analizy chemiczne aktualnie i potencjalnie rozpuszczalnych frakcji pierwiastków śladowych w glebach dostarczają cennych informacji o zagrożeniach ekologicznych, w tym przechodzeniu metali w głąb profili glebowych (16, 20). Do oznaczeń aktualnie biodostępnej frakcji metali najczęściej stosowane są roztwory, których siła jonowa odpowiada sile jonowej roztworu glebowego np. $0,01 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ CaCl}_2$, $0,001 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ CaCl}_2$, $0,1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ NH}_4\text{NO}_3$, $0,1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ BaCl}_2$. Procedury chemiczne mogą być również wykorzystywane w specjalnym celu. Ekstrakcja $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ NH}_4\text{NO}_3$ jest stosowana do przewidywania ilości metali pobranych przez rośliny (14). Ekstrakcje mocnymi kwasami są wykorzystywane do oceny potencjalnie biodostępnej frakcji metali i zgodnie z ISO/CD 14858 (14) powinny zastąpić w przyszłych uregulowaniach prawnych, uwzględniających ocenę ryzyka, oznaczenia całkowitej zawartości pierwiastków śladowych. W celu uzyskania szczegółowej informacji pozwalającej na poznanie form występowania metali, sposobu związania z komponentami gleby, możliwości uruchamiania i transportu, stosuje się ekstrakcje wieloetapowe, np. metodę BCR, która jest polecana przez *European Community Bureau of Reference*. Metoda ta polega na ekstrakcji próbek glebowych kolejno różnymi roztworami i oznaczaniu następujących frakcji metali:

- 1) łatwo rozpuszczalnej w środowisku kwaśnym (łącznie z frakcją wymienną);
- 2) podatnej na redukcję;
- 3) utleniającej.

Analizy frakcji biodostępnej są szczególnie ważne w ocenie terenów zanieczyszczonych, podobnych do rejonu Olkusza, ponieważ pozwalają na analizę rzeczywistego ryzyka narażenia organizmów żywych na oddziaływanie metali, a na etapie zarządzania ryzykiem mogą być pomocne przy planowaniu zabiegów remediacyjnych z uwzględnieniem kierunków zagospodarowania takich gleb. K a p u s t a i i n . (19) badali zawartość wymiennych form metali w glebach z terenu Bukowna z wykorzystaniem ekstrakcji $0,1 \text{ M BaCl}_2$ ($\text{pH}=8,1$). Frakcja ta jest uważana za dostępną dla mikroorganizmów glebowych. Średnia zawartość frakcji rozpuszczalnej w glebach odłogowanych o odczynie słabo kwaśnym ($\text{pH}=6,5$) wynosiła odpowiednio $63 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ dla Zn i $4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ dla Cd, co stanowiło 2% i 20% ogólnej zawartości tych pierwiastków w glebach. Zawartość wymiennego ołowiu była poniżej limitu wykrywalności metody. S t e f a n o w i c z i i n . (36) stwierdzili, że zawartość metali w zanieczyszczonych glebach łąkowych z rejonu Olkusza poddanych ekstrakcji wodą wynosiła

5,40-11,1 mg·kg⁻¹ dla Zn 1,14-1,57 mg·kg⁻¹ dla Pb i 0,04-0,08 mg·kg⁻¹ dla Cd, co stanowiło od 0,2-1,4% zawartości ogólnej tych pierwiastków w warstwie 0-10 cm. Badania pracowników IUNG-PIB i PIG-PIB (dane nie publikowane) wykazały, że zawartość kadmu, cynku i ołowiu dostępnych dla roślin (ekstrakcja 1 mol·dm⁻³ NH₄NO₃) wynosiła średnio 1,8 mg·kg⁻¹, 6,1 mg·kg⁻¹ i 110,9 mg·kg⁻¹, co odpowiadało 24%, 4% oraz 15% ogólnej zawartości Cd, Pb i Zn. Bezwzględny udział metali we frakcji dostępnej dla roślin przedstawiał się następująco: Zn>Cd>Pb. Wyniki przedstawionych badań wskazują, że pomimo silnego zanieczyszczenia wyrażanego przez całkowitą zawartość metali w glebach, rzeczywiste narażenie organizmów żywych i środowiska na oddziaływanie pierwiastków śladowych w rejonie Olkusza jest znacznie mniejsze. Udział poszczególnych pierwiastków we frakcji ekstrahowanej 1 mol·dm⁻³ roztworem azotanu amonu nie jest równoważny z ilością przyswajalną dla roślin, ale może być traktowany jako frakcja dla nich dostępna i wykorzystany w badaniach środowiskowych do oceny ryzyka dla gleb zanieczyszczonych metalami (20). Lis i in. (25) stosowali stężony (3 mol·dm⁻³) HCl w celu oznaczenia potencjalnie dostępnych form pierwiastków w glebach m.in. z rejonu Olkusza, których źródłem są zanieczyszczenia lub wietrzejące złoża kruszców (25). Z badań autorów (25) wynika, że ilość kadmu, ołowiu i cynku ekstrahowanych tą metodą przekracza średnio 80% ogólnej zawartości. Podobne wyniki otrzymano przy ocenie dostępności metali w próbkach glebowych pobranych w rejonie Olkusza w trakcie prac prowadzonych przez pracowników IUNG-PIB i PIG-PIB (dane nie publikowane). Po zastosowaniu ekstrakcji 1 mol·dm⁻³ HCl zawartość metali była w granicach 66-100% zawartości całkowitej. Stwierdzono również statystycznie istotną ($\alpha \leq 0,05$) dodatnią korelację pomiędzy stężeniem metali we frakcji potencjalnie biodostępnej i ogólną zawartością pierwiastków. Zależność była opisana przez funkcję liniową ($y=ax-b$), a współczynniki determinacji wynosiły $>0,97$, przy czym najwyższą wartość uzyskano dla cynku (rys. 3).

Tworzenie form metali związanych z komponentami gleby ogranicza ich dostępność i toksyczność dla organizmów żywych oraz mobilność w glebach (18). Pierwiastki śladowe w środowisku glebowym m.in. tworzą trudno rozpuszczalne tlenki i sole oraz wykazują silne powinowactwo w stosunku do kwasów organicznych i substancji próchnicznych (16). Połączenia pierwiastków śladowych z minerałami krzemianowymi powodują, że rozpuszczalność metali w glebach jest bardzo niska, natomiast występowanie ich w formie siarczkowej, tlenkowej lub węglanowej powoduje zwiększenie podatności na wymywanie (20). Na terenach górnictwa i hutnictwa metali w warstwach powierzchniowych najsilniej akumulowany jest Pb, natomiast Zn i Cd wykazują lepszą rozpuszczalność i zdolność do migracji w głąb profilu glebowego, a mobilność pierwiastków wzrasta w glebach pozbawionych węglanów (27). Badania przeprowadzone w rejonie olkuskim przez Tr a f a s i i n. (40) dowodzą, że przemieszczanie się Zn i Cd w głąb profili glebowych z wodą jest na ogół niewielkie i występuje do głębokości 30-40 cm (39).



Rys. 3. Zależność pomiędzy ogólną zawartością cynku i frakcją potencjalnie dostępną ekstrahowaną z wykorzystaniem stężonego HCl

Odczyn gleb uważany jest za jeden z najważniejszych czynników wpływających na stężenie metali w roztworze glebowym, ich mobilność w glebach oraz dostępność dla roślin (18, 21). Kwaśny odczyn gleby wpływa na wzrost rozpuszczalności i zwiększenie stężenia dostępnych dla roślin ruchomych form większości pierwiastków. Jest to wynikiem zmniejszenia absorpcji jonów metali na koloidach glebowych (9). Jak podaje Cabała (5) gleby z terenu Olkusza mają pH w zakresie od 4,75 do 7,33. Wpływ odczynu na zmiany biodostępności metali w glebach historycznie zanieczyszczonych badali m.in. Siebielec i in. (34) wykazując silne ujemne statystycznie istotne zależności pomiędzy wartościami pH_{KCl} a zawartością Zn i Cd w próbkach gleb z terenu Tarnowskich Gór po ekstrakcji 0,01 M CaCl_2 ($r=-0,75$ i $r=-0,67$) i 0,01 M $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ ($r=-0,55$ i $r=-0,49$).

Oddziaływanie metali na organizmy żywe w glebach z rejonu Olkusza

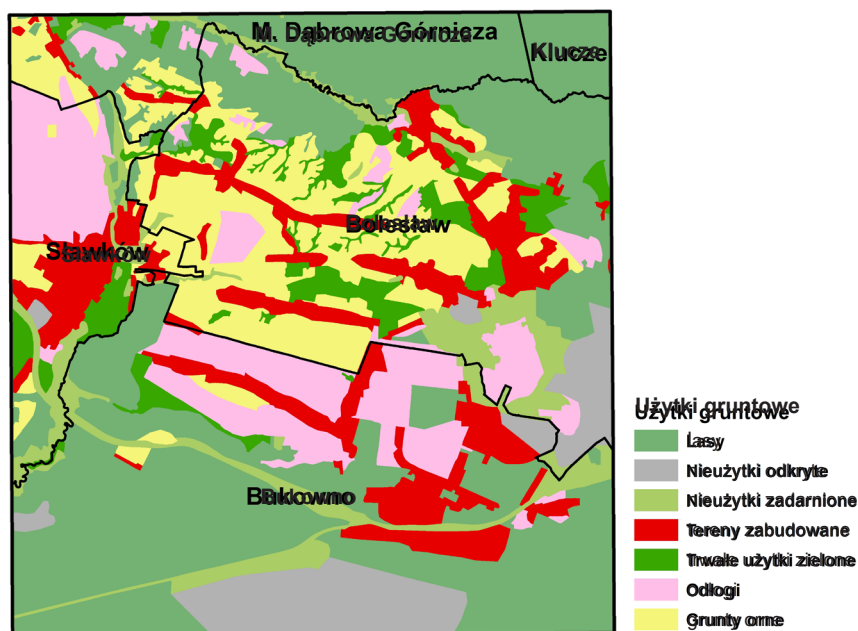
Zawartość biodostępnej frakcji metali w glebach z rejonu Olkusza wskazuje na znacznie niższe ryzyko występowania niekorzystnych efektów oddziaływania pierwiastków śladowych na organizmy żywe w porównaniu do ocen na podstawie całkowitej zawartości. Potwierdzają to badania dotyczące wpływu metali na organizmy żywe, w tym mikroorganizmy, bezkręgowce i rośliny w glebach leśnych (1, 6, 29, 35, 36, 37), na nieużytkach (1, 2, 19) oraz użytkach zielonych (1, 19, 12, 26, 36, 37). Wpływ zanieczyszczenia gleb metalami oceniano na podstawie analizy składu zespołów mikroorganizmów glebowych (6, 29, 30, 36), pomiaru tolerancji indukowanej zanieczyszczeniem – PICT (30, 37), tempa respiracji (19, 30, 37), biomasy mikroorganizmów glebowych (19, 30, 36, 37) oraz aktywności enzymatycznej (7).

Ponadto badano zagęszczenie wazonkowców (19, 38), zróżnicowanie gatunkowe wazonkowców i dżdżownic (38), liczebność nicieni (19), liczebność niesporczaków (19), liczebność oraz zróżnicowanie gatunkowe mrówek (11, 12), przeżywalność chrząszczy (24), liczebność roztoczy (35). Jak wykazała Ciarkowska i in. (7) bardzo wysokie stężenia metali (Zn, Pb, Cd) w glebach z rejonu olkuskiego wydobywania rud cynku i ołowiu nie obniżały aktywności enzymatycznej ureazy i inwertazy. Obserwowano natomiast znacznie wyższą aktywność inwertazy w glebach zanieczyszczonych w porównaniu do gleb o niskich zawartościach metali. Zdaniem autorów (7) reakcja ta wynika z różnicowania się populacji mikroorganizmów i rozwoju mikroorganizmów odpornych na toksyczne działanie metali. Wysoka aktywność enzymatyczna w glebach zanieczyszczonych może być wynikiem wysokiej zawartości materii organicznej oraz neutralnego odczynu, co przyczynia się do obniżenia biodostępności oraz transformacji toksycznych metali w formy biologicznie nieaktywne (7). Niklińska i in. (29) wykazali, że profile fizjologiczne zespołów mikroorganizmów glebowych z rejonów zanieczyszczonych Zn (3120 mg kg^{-1}) nie różnią się istotnie i że mikroorganizmy te spełniają nadal swe funkcje ekologiczne, podobnie jak mikroorganizmy w glebach nie zanieczyszczonych. Również w przypadku tempa respiracji i pomiaru biomasy nie zaobserwowano istotnych różnic pomiędzy badanymi stanowiskami. Zdaniem Niklińskiej i in. (29) efekt ten jest spowodowany niską dostępnością metali dla mikroorganizmów oraz występowaniem nabytej oporności na metale u organizmów glebowych z rejonów silnie zanieczyszczonych (6, 29, 30). Stefanowicz i in. (37) stwierdzili, iż tolerancja zespołów bakterii heterotroficznych znacznie wzrosła na skutek długotrwałego zanieczyszczenia metalami gleb pochodzących z łąk w okolicach Olkusza nie wykazano natomiast takich zależności w glebach leśnych (36, 37). Zjawisko to było prawdopodobnie związane z eliminacją najbardziej wrażliwych gatunków bakterii lub z obniżeniem ich aktywności w wyniku wysokich koncentracji metali na badanym terenie. Kapusta i in. (19) wykazali istotny negatywny wpływ zanieczyszczenia gleb Zn i Cd na zagęszczenie wazonkowców w lasach sosnowych, które wynosiło 4443 osobniki na m^2 . Podobne wyniki uzyskała również Tosza i in. (38), która w glebach o zawartości Zn i Cd na poziomie odpowiednio 9630 mg kg^{-1} i 83 mg kg^{-1} obserwowała niską liczebność wazonkowców (3932 osobników na m^2). Dla porównania w niezanieczyszczonych glebach polskich lasów iglastych odnotowywano wartości rzędu 10000-60000 osobników na m^2 (19, 38). Stosunkowo odporne na obecność zanieczyszczeń były mrówki np. *Myrmica rubra*, chociaż w organizmach tych owadów odnotowywano wysokie zawartości metali to nie obserwowano ich toksycznych efektów (12). Wraz ze wzrostem poziomu zanieczyszczenia ekosystemu zwiększała się różnorodność gatunkowa mrówek (11), a mechanizmy przystosowania bezkręgowców obejmowały ograniczone przyswajanie, podwyższoną wydajność wydalania metali oraz magazynowanie metali w specyficznych organach lub tkankach. W rejonie Olkusza oceniano również wpływ metali w oparciu o klasyczne testy ekotoksykologiczne z wykorzy-

staniem różnych organizmów testowych: *Vibrio fischeri* (1, 2), *Lepidium sativum*, *Sinapis alba*, *Sorghum saccharatum* (1). Baran i in. (1) analizowali zależności pomiędzy zawartością Zn, Pb, i Cd a ich toksycznością w glebach pochodzących z sąsiedztwa ZGH „Bolesław” w Bukowni. Stwierdzili statystycznie istotną pozytywną korelację pomiędzy całkowitą zawartością oraz biodostępną frakcją metali (ekstrakcja 1 mol·dm⁻³ NH₄NO₃), a zahamowaniem luminescencji bakterii *V. fischeri* oraz wzrostu korzeni *S. saccharatum*. Toksyczność metali wobec organizmów testowych wzrastała wraz ze wzrostem zawartości ich biodostępnej frakcji w glebach (1).

Struktura użytkowania gruntów w rejonie Olkusza

Badania prowadzone w latach 2010-2012 w rejonie Olkusza przez pracowników IUNG-PIB i PIG-PIB wykazały, że największą powierzchnię użytków na badanym terenie zajmują lasy 32,95 km², których udział w stosunku do całkowitej powierzchni gruntów na tym obszarze wynosi 39,8%. Tereny przemysłowe w postaci nieużytków odkrytych i zadarnionych oraz zalesionych (zrekultywowanych) zajmują 14,7% powierzchni ogólnej. Użytki rolne zajmują powierzchnię 16,93 km² przy udziale ponad 20% w stosunku do powierzchni ogólnej, w tym grunty orne 14,5% i trwałe użytki zielone 5,9% (rys. 4, tab. 2).



Rys. 4. Struktura użytkowania gruntów na rejonie Olkusza

Tabela 2

Powierzchnia użytków gruntowych w rejonie Olkusza (powierzchnia badanego terenu – 80 km²)

Użytek gruntowy	Powierzchnia [km ²]	Udział powierzchni [%]
Grunty orne	12,03	14,5
Trwałe użytki zielone	4,90	5,9
Odłogi	10,70	12,9
Lasy	32,95	39,8
Nie użytki odkryte	5,74	6,9
Nie użytki zadarnione	6,45	7,8
Tereny zabudowane	10,11	12,2

Znaczącą powierzchnię w strukturze użytków na tym terenie zajmują odłogi 10,70 km² (tab. 2), ich udział w stosunku do użytków rolnych wynosi aż 38,7%. Największy areal odłogów zlokalizowany jest w północnej części gminy Bukowno oraz we wschodniej części gminy Sławków. Mniejsze powierzchnie odłogów znajdują się w gminie Bolesław oraz Miasto Dąbrowa Górnicza (rys. 4). Jak podaje K a p u s t a i i n . (19) część gleb odłogowanych, które do chwili obecnej posiadają dobrze zaznaczony w profilu glebowym poziom orny A, jest wynikiem utworzenia strefy buforowej wokół zakładów metalurgicznych i kopalni w Bukownie. Według danych spisu rolnego z roku 2010 w analizowanych gminach ugory zajmują średnio 22,6% powierzchni użytków rolnych, a największy odsetek ugorów odnotowano w gminie Sławków aż 31,8% (tab. 3).

Tabela 3

Powierzchnia ugorów wg GUS 2010

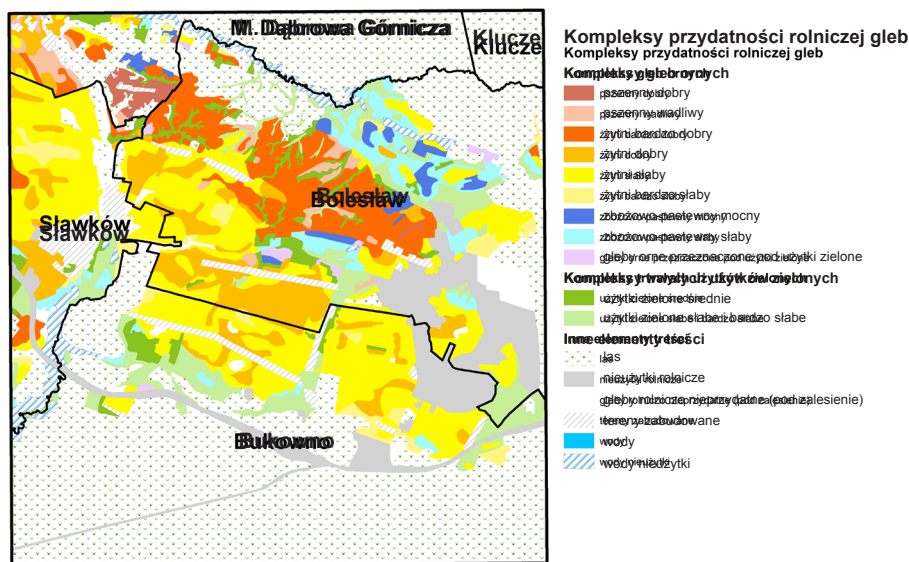
Gmina	Powierzchnia użytków rolnych [ha]	Powierzchnia ugorów [ha]	Udział ugorów w powierzchni UR* [%]
Bolesław	913,82	214,50	23,5
Bukowno	389,60	31,54	8,1
Sławków	526,92	167,69	31,8
Razem	1830,34	413,73	22,6

*UR – użytki rolne

Przyczyny zaniechania działalności rolniczej i ugorowania gruntów na tym terenie są złożone i wynikają głównie z trudnych warunków przyrodniczo-agrarnych, świadomości ludności zamieszkującej ten teren dotyczącej zanieczyszczenia gleb oraz stosunkowo łatwego dostępu do pozarolniczych miejsc pracy.

Analiza sposobu użytkowania gruntów i informacji glebowej pochodzącej z mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25 000 (MGR25) oraz badań pokrywy glebowej

w rejonie Olkusza wykazała największe skupiska odłogów na płytkich rędzinach oraz glebach wytworzonych z piasków, zaliczanych według legendy do MGR25 do gleb brunatnych kwaśnych i wylugowanych reprezentujących najslabsze kompleksy przydatności rolniczej, żyznego słabego i bardzo słabego (rys. 5).



Rys. 5. Kompleksy przydatności rolniczej gleb i typy gleb według legendy do mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25 000 w rejonie Olkusza

Niski potencjał produkcyjny tych gleb istotnie ogranicza wysokość plonu oraz uzyskiwane efekty ekonomiczne. Na ograniczenia przyrodnicze analizowanego obszaru nakładają się dodatkowo utrudnienia organizacyjno-przestrzenne gospodarstw związane ze strukturą powierzchniową, szachownicą gruntów i dojazdem do pól oraz zanieczyszczeniem. W analizowanych gminach występują bardzo małe gospodarstwa rolne. Średnia powierzchnia gospodarstwa w analizowanych 3 gminach: Klucze, Bukowno i Bolesław, wg wniosków deklarowanych do dopłat powierzchniowych, wynosi 1,67 ha i jest dziesięciokrotnie mniejsza od średniej powierzchni gospodarstwa w kraju (tab. 4). Bardzo małe są również działki ewidencyjne, średnio 0,40 ha, a w gminie Sławków 0,28 ha (tab. 4). Kształt geometryczny większości działek jest niekorzystny (wąskie i długie), co znacząco zwiększa nakłady produkcyjne (rys. 5). Przedstawione wyniki struktury agrarnej oraz niski stopień wykorzystania gruntów świadczą o malejącej roli rolnictwa na tym obszarze. W północnej części terenu występuje pokrywa lessowa. Stwarza to dodatkowe zagrożenie występowania procesów erozji wodnej powierzchniowej i wietrznej. Rzeczywista erozja wodna jest

stosunkowo nieduża z uwagi na występującą szachownicę gruntów i mozaikę upraw oraz duży udział gleb odłogowanych porośniętych zwartą roślinnością trawiastą i nawłocią.

Tabela 4

Struktura powierzchniowa gospodarstw rolnych w rejonie Bukowna

Gmina	Liczba wszystkich działek ewidencyjnych	Powierzchnia działek ogółem [ha]	Średnia powierzchnia działki ewidencyjnej [ha]	Średnia powierzchnia gospodarstwa (wg działek deklarowanych)* [ha]
Sławków	13191	6459	0,28	0,73
Bolesław	13015	6459	0,33	1,87
Bukowno	11118	3666	0,58	2,42
Polska			0,89	16,1

*Działka deklarowana

Budowa geologiczna terenu powoduje, że część gleb użytkowanych rolniczo, szczególnie rędzin wytworzonych z wapieni i dolomitów diploporowych wykazuje naturalnie wysoką zawartość cynku, ołowiu i kadmu. Oddziaływanie przemysłu związane z wydobyciem i hutnictwem rud Pb-Zn w rejonie Bukowna i Górnego Śląska doprowadziło do zanieczyszczenia metalami śladowymi znacznej powierzchni gleb użytków rolnych w tym rejonie. Wiąże się to z dużym ryzykiem produkcji skażonej żywności, szczególnie warzyw i roślin okopowych.

Podsumowanie

Rejon Olkusza jest jednym z najsilniej zanieczyszczonych pierwiastkami śladowymi obszarów w naszym kraju. Wysokie zawartości Pb, Zn, Cd oraz As w glebach powodują wiele problemów związanych z ich wykorzystaniem i użytkowaniem. Zgodnie z obowiązującymi przepisami prawnymi (8) gleby z tego rejonu powinny zostać poddane oczyszczaniu. Należy jednak zaznaczyć, że stosowanie np. technicznych zabiegów remediacyjnych na terenach biochemicznie i biologicznie ustabilizowanych, charakteryzujących się niską biodostępnością zanieczyszczeń, może być nieracjonalne i ekonomicznie nieuzasadnione (20). Od ponad dziesięciu lat trwają badania nad wdrożeniem łagodnych metod remediacyjnych, np. w ramach projektu EU *Greenland*, które są mniej inwazyjne i polegają m.in. na zastosowaniu alternatywnych upraw, cechujących się mniejszym ryzykiem przenoszenia metali do łańcucha żywieniowego człowieka. Należy zaznaczyć, że prowadzenie działalności rolniczej na terenach zanieczyszczonych metalami jest bardzo ograniczone, ponieważ istnieje ryzyko produkcji żywności nie spełniającej standardów jakościowych. Dlatego należy uwzględnić dobór odpowiednich roślin uprawnych i zabiegów

zmniejszających ryzyko akumulacji zanieczyszczeń oraz wprowadzić stały monitoring zawartości metali, w tym ich frakcji biodostępnej, co pozwoli na opracowanie i wdrożenie racjonalnych zasad zarządzania ryzykiem.

Literatura

1. Baran A., Czech T., Wieczorek J.: Chemical properties and toxicity of soils contaminated by mining activity. *Ecotoxicology*, 2014, **23**: 1234-1244.
2. Baran A., Wieczorek J.: Ocena zagrożenia związanego z zawartością metali ciężkich w glebach na terenie powiatu olkuskiego (woj. małopolskie). *Proceedings of ECOpole*, 2013, **7(1)**: 281-285.
3. Cabała J., Teper E., Teper L., Małkowski E., Rostanski A.: Mineral composition in rhizosphere of plants grown in the vicinity of a Zn-Pb ore flotation tailings pond. Preliminary Study. *Acta Biologica Cracoviensia, ser. Botanica*, 2004a, **46**: 65-74.
4. Cabała J., Teper E., Teper L.: Mine-waste impact on soils in the Olkusz Zn-Pb ore district (Poland). [w:] *Mine Planning and Equipment Selection 2004*. 2004b, Balkema: 755-760.
5. Cabała J.: *Metale ciężkie w środowisku glebowym olkuskiego rejonu eksploatacji rud Zn-Pb*. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, 2009.
6. Chodak M., Gołębiowski M., Morawska-Płoskonka J., Kuduk K.: Diversity of microorganisms from forest soils differently polluted with heavy metals. *Applied Soil Ecol*, 2013, **64**: 7-14.
7. Ciarkowska K., Sołek-Podwika K., Wieczorek J.: Enzyme activity as an indicator of soil-rehabilitation processes at a zinc and lead ore mining and processing area. *J Environ Manag*, 2014, **132**: 250-256.
8. Dz. U. Nr 165, poz 1359. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 roku w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. 2002.
9. Fijałkowski K., Kacprzak M., Grobelak A., Placek A.: Wpływ wybranych parametrów gleby na mobilność metali ciężkich. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 2012, **15(1)**: 81-92.
10. Godzik B.: Natural and historical values of the Olkusz Ore-bearing Region, W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Science, 2015, 11-25.
11. Grześ I.M.: Ant species richness and evenness increase along a metal pollution gradient in the Bolesław zinc smelter area. *Pedobiologia*, 2009, **53**: 65-73.
12. Grześ I.M.: Zinc kinetics in the ant *Myrmica rubra* originating from a metal pollution gradient. *Chemosphere*, 2012, **88**: 1015-1018.
13. ISO 17402:2008 Soil quality – Requirements and guidance for the selection and application of methods for the assessment of bioavailability of contaminants in soil and soil materials.
14. ISO/CD 14858 Soil quality – Environmental availability in soil – Use of soil extracts for the assessment of trace element availability.
15. Jadczyzyn J., Jończyk K., Filipiak K., Siebielec G., Stuczyński T., Koza P.: *Zasady racjonalnego użytkowania i kształtowania obszarów problemowych rolnictwa*, Wydawnictwo IUNG-PIB, Puławy, 2010.
16. Jeske A., Gworek B.: Przegląd metod oznaczania biodostępności i mobilności metali ciężkich w glebach. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 2011, **49**: 209-218.

17. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. CRC Press Taylor and Francis Group, Boca Raton, London, New York, 2011.
18. Kabata-Pendias A., Szteke B.: Pierwiastki śladowe i geo- i biosferze. Wydawnictwo IUNG-PIB, Puławy, 2012, s. 52-53.
19. Kapusta P., Szarek-Łukaszewska G., Stefanowicz A.M.: Direct and indirect effects of metal contamination on soil biota in a Zn-Pb post-mining and smelting area (S Poland). *Environ Poll*, 2011, **159**: 1516-1522.
20. Karczewska A., Kabała C.: Gleby zanieczyszczone metalami ciężkimi i arsenem na Dolnym Śląsku – potrzeby i metody rekultywacji. Zeszyty naukowe akademii rolniczej we Wrocławiu, 2010, **576**: 59-79.
21. Karczewska A.: Ochrona gleb i rekultywacja terenów zdegradowanych. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Wrocław, 2012.
22. Kicińska A.: Formy występowania oraz mobilność cynku, ołowiu i kadmu w glebach zanieczyszczonych przez przemysł wydobywczo-metalurgiczny, 2011, *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, **48**: 152-162.
23. Komunikat Komisji z dnia 22 września 2006 r. „Strategia tematyczna w dziedzinie ochrony gleby” [COM(2006) 231 wersja ostateczna.
24. Lagisz M., Laskowski R.: Susceptibility of a carabid beetle, *Pterostichus oblongopunctatus* Fab., from a gradient of heavy metal pollution to additional stressors. *Bull Environ Contam Toxicol*, 2007, **79**: 504-507.
25. Lis J., Pasieczna A., Mojski J.E., Przeniosło S., Sylwestrzak H., Strzelecki R., Wołkiewicz S., Atlas Geochemiczny Polski, 1995.
26. Łaszczycza P., Augustyniak M., Babczyńska A., Bednarska K., Kafel A., Migula P., Wilczek G., Witas I.: Profiles of enzymatic activity in earthworms from zinc, lead and cadmium polluted areas near Olkusz (Poland). *Environ Intern*, 2004, **30**: 901-910.
27. Maskall J., Whitehead K., Thornton I.: Heavy metal migration in soils and rocks at historical smelting sites. *Environmental Geochemistry and Health*, 1995, **17**: 127-138.
28. Mayer W., Sass-Gustkiewicz M., Góralski M., Sutley S., Leach D.: Relationship between the oxidation zone of Zn-Pb sulphide ores and soil contamination in the Olkusz ore district (Upper Silesia, Poland). In: *Mineral Deposits at the Beginning of the 21st century*. Balkema, 2001, s. 165-168.
29. Niklińska M., Chodak M., Laskowski R.: Ekologiczne metody oceny skutków zanieczyszczenia gleb. ART-TEKST, Kraków, 2005.
30. Niklińska M., Chodak M., Laskowski R.: Pollution-induced community tolerance of microorganisms from forest soil organic layers polluted with Zn or Cu. *Applied Soil Ecol*, 2006, **32**: 265-272.
31. Pająk M., Jasik M.: Poziom akumulacji cynku, kadmu i ołowiu w wierzchniej warstwie gleb leśnych w sąsiedztwie huty cynku „Misteczko Śląskie”, 2010, Uniwersytet Zielonogórski, Zeszyty Naukowe 137, *Inżynieria Środowiska*, **17**: 112-121.
32. Sass-Gustkiewicz M., Mayer W., Góralski M., Leach D.: Zawartość metali ciężkich w glebach na obszarach eksploatacji rud Zn-Pb w rejonach olkuskim i chrzanowskim. PAN, IGSMiE, Sympozja i Konferencje, 2001, **49**: 189—208.
33. Siebielec G., Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A., Maliszewska-Kordybach B., Terelak H., Koza P., Łysiak M., Gałązka R., Pecio M., Suszek B., Miturski T., Hryńczuk B.: Monitoring chemizmu gleb ornych w Polsce w latach 2010-2012. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa, 2012.

34. Siebielec G., Stuczyński T., Korzeniowska-Puculek R.: Metal bioavailability in long-term contaminated Tarnowskie Góry soils, 2006, Polish Journal of Environmental Studies, **15**:121-129.
35. Skubała P., Kafel A.: Oribatid mite communities and metal bioaccumulation in oribatid species (Acari, Oribatida) along the heavy metal gradient in forest ecosystems. Environ Polut, 2004, **132**: 51-60.
36. Stefanowicz A.M., Niklińska M., Kapusta P., Szarek-Łukaszewska G.: Pine forest and grassland differently influence the response of soil microbial communities to metal contamination. Sci Total Environ, 2010, **408**: 6134-6141.
37. Stefanowicz A.M., Niklińska M., Laskowski R.: Pollution-induced tolerance of soil bacterial communities in meadow and forest ecosystems polluted with heavy metals. European J Soil Biol, 2009, **45**: 363-369.
38. Tosza E., Dumnicka E., Niklińska M., Rozen A.: Enchytraeid and earthworm communities along a pollution gradient near Olkusz (southern Poland). Europ J Soil Bio, 2010, **46**: 218-224.
39. Trafas M., Eckes T., Gołda T.: Lokalna zmienność zawartości metali ciężkich w glebach okolicy Olkusza. Inżynieria Środowiska, 2006, **11(2)**: 127-144.
40. Trafas M., Gruszczyński S., Gruszczyńska J., Zawodny Z.: Zmiany własności gleb wywołane wpływami przemysłu w rejonie olkuskim [w:] Sozologia i Sozotechnika, Zeszyty naukowe Akademii Górniczo-Hutniczej 1990, **32**: 143-162.

Adres do korespondencji:

dr Bożena Smreczak
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. (81) 4786918
e-mail: bozena@iung.pulawy.pl

