

Jarosław Waroszewski*, Cezary Kabała*, Justyna Drozdowska*

**PROFILOWE ROZMIESZCZENIE MIEDZI W GLEBACH BRUNATNYCH
I BIELICOWYCH WYTWORZONYCH Z RÓŻNYCH SKAŁ
MACIERZYSTYCH W PARKU NARODOWYM GÓR STOŁOWYCH**

**COPPER DISTRIBUTION IN PROFILES OF CAMBISOLS AND
PODZOLS DEVELOPED FROM VARIOUS PARENT ROCKS IN THE
STOŁOWE MOUNTAINS NATIONAL PARK**

Słowa kluczowe: miedź, profil glebowy, granit, piaskowiec, margiel.

Key words: copper, soil profile, granite, sandstone, marl.

Vertical distribution of copper in 40 profiles of Podzols, Eutric and Dystric Cambisols developed from various parent materials (granite, marl, and sandstone), in the the Stołowe Mountains was determined in relation to basic soil properties. Copper distribution among soil horizons reflected the course of pedogenic processes (weathering, podzolization, accumulation of organic matter). The highest Cu concentrations were found in forest floor (14.5–41.3 mg·kg⁻¹), without significant differentiation among soil types. Copper amounts in mineral horizons depends primary on parent material. Podzols developed from quartzitic sandstone contain therefore significantly less Cu (mean 3.0 mg in C horizon) than Cambisols developed of granite and marl (mean 7.8 and 8.2 in C horizons, respectively). Concentrations of copper assume values close to geochemical background and confirm the lack of soils pollution with copper.

1. WPROWADZENIE

Na rozmieszczenie miedzi i innych pierwiastków śladowych w profilu glebowym wpływ ma wiele czynników, w tym przede wszystkim naturalna i antropogeniczna akumulacja, zachodząca najintensywniej w wierzchnich organicznych warstwach ściółek leśnych, zasob-

* *Mgr inż. Jarosław Waroszewski, dr hab. Cezary Kabała, mgr inż. Justyna Drozdowska – Instytut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław; kontakt: tel. 71 32 01 943; e-mail: jaroslaw-waroszewski@wp.pl*

ność skały macierzystej, a także kierunek procesów pedogenicznych [Kabała 1998, Kabała i Szerszeń 2002, Szopka 2000]. Szczególne znaczenie w rozmieszczeniu miedzi w profilu glebowym ma odczyn gleby, ze względu na powstawanie form rozpuszczalnych i mobilnych przy niskich wartościach pH, a także na zawartość substancji organicznej, z którą miedź tworzy chelatowe połączenia, decydujące często o rzeczywistej mobilności pierwiastka [Karczewska i Kabała 2002].

W warunkach Polski tło geochemiczne miedzi kształtuje się na poziomie $50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ [Kabata-Pendias i Pendias 1993], przy czym w różnych utworach geologicznych występuje duże naturalne zróżnicowanie koncentracji tego pierwiastka. Największe zawartości miedzi obserwuje się w zasadowych i ultrazasadowych skałach magmowych (odpowiednio 90 i $42 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), zdecydowanie mniejsze, wynoszące $13 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, spotyka się w skałach kwaśnych magmowych, a najmniejsze w skałach węglanowych – około $6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Osadowe piaskowce i margle (mułowce) są na ogół, w porównaniu ze skałami magmowymi zasadowymi, znacznie uboższe w ten pierwiastek [Alloway 1995, Kabata-Pendias i Pendias 1993].

Góry Stołowe, położone z dala od potencjalnych źródeł emisji zanieczyszczeń, są zdecydowanie mniej narażone na antropogeniczne wzbogacenie gleb niż Karkonosze i Góry Izerskie. Można zatem oczekiwać, że ilość pierwiastków śladowych w glebach leśnych Gór Stołowych jest relatywnie mała i może być uważana za poziom odniesienia dla innych, silniej zanieczyszczonych gleb wytworzonych z podobnych skał macierzystych.

Celem przeprowadzonych badań była charakterystyka zawartości miedzi w profilach reprezentujących najważniejsze typy gleb Parku Narodowego Gór Stołowych – gleby bielcowe oraz gleby brunatne kwaśne i brunatne właściwe – wytworzone z różnych skał macierzystych, pod kątem oceny stopnia zanieczyszczenia tych gleb oraz ustalenia czynników decydujących o akumulacji i profilowym rozmieszczeniu miedzi.

2. METODYKA

Właściwe zdefiniowanie stopnia zanieczyszczenia gleb leśnych pierwiastkami śladowymi wymaga uwzględnienia przynajmniej dwóch decydujących czynników. Pierwszym z nich jest skała macierzysta, z jakiej dana gleba bezpośrednio się wytworzyła, dziedzicząc określoną naturalną zawartość pierwiastków. Drugim z wymienionych komponentów jest powierzchniowa warstwa organiczna (ektohumus), gdzie koncentruje się wpływ zarówno naturalnej bioakumulacji, jak i zanieczyszczenia. Przy charakterystyce wielkoobszarowych trendów zanieczyszczenia gleb pierwiastkami śladowymi niezwykle istotne jest zebranie reprezentatywnej grupy gleb (profilów), która w stopniu wiarygodnym statystycznie odzwierciedli rozmieszczenie metali na tle aktualnych kierunków procesów glebotwórczych na rozpatrywanym obszarze. W tym celu na obszarze Parku Narodowego Gór Stołowych wytypowano 40 profili glebowych, reprezentujących trzy główne jednostki systematyczne: gleby bielico-

we/bielice wytworzone z piaskowców kwarcytowych, gleby brunatne właściwe wytworzone z mułowców oraz gleby brunatne kwaśne wytworzone z granitoidów.

Próbki do analiz laboratoryjnych pobrano ze wszystkich wyróżnionych głównych poziomów genetycznych. Z ektohumusu pobierano jedną próbę mieszaną, bez rozdzielania na podpoziomy. We wszystkich próbkach, po ich wysuszeniu, rozdrobnieniu i przesianiu, oznaczono: pH w wodzie destylowanej i 1 M KCl (potencjometrycznie) oraz całkowitą zawartość miedzi metodą atomowej spektrofotometrii adsorpcyjnej, po mineralizacji próbek wodą królewską (kwas azotowy + kwas solny w proporcji 1+3).

W próbkach oznaczono ponadto: w próchnicach nadkładowych – straty żarowe, w poziomach mineralnych – zawartość węgla organicznego (metodą Tiurina) i skład granulometryczny (metodą sitowo-areometryczną).

Analizę statystyczną wyników (obliczenie wartości średnich oraz współczynników korelacji, testowanie istotności różnic między średnimi) przeprowadzono z użyciem właściwych procedur z pakietu Statistica 8.0.

3. WYNIKI I DYSKUSJA

Gleby Gór Stołowych wytworzone z różnych skał macierzystych odznaczają się odmiennym uziarnieniem, odczynem oraz zawartością substancji organicznej w profilu glebowym. Najwięźlejsze uziarnienie, wyrażające się najwyższym udziałem frakcji splotalnych <0,02 mm oraz frakcji ilastej <0,002 mm (tab. 1) posiadają gleby wytworzone z mułowców (margli), najluźniejsze (piaszczyste) natomiast – gleby bielcowe powstałe z piaskowców ciosowych.

Zawartość frakcji ilastych jest na ogół zróżnicowana w obrębie profili glebowych. Jednak o ile w glebach wytworzonych z mułowców maksimum zawartości wypada w poziomach BC i C, o tyle w glebach powstałych z granitów najwięcej ilitu stwierdza się w poziomie Bbr, bezpośrednio pod poziomem A. W glebach bielcowych maksimum zawartości ilitu występuje w poziomach Bhs, poniżej poziomu eluwialnego.

Zdecydowana większość badanych gleb wykazuje kwaśny lub silnie kwaśny odczyn w całym profilu. Odczyn gleb wytworzonych z mułowców jest jednak wyraźnie mniej kwaśny niż gleb wytworzonych z granitów i piaskowców (tab. 1). Układ średnich wartości pH w profilach jest typowy dla gleb leśnych. Najniższe wartości pH obserwuje się, zarówno w H₂O jak i w KCl, w poziomach próchnic nadkładowych, a najwyższe – w poziomie skały macierzystej, co dowodzi ługującego i zakwaszającego charakteru związków humusowych, produkowanych w warstwie ektohumusu i przemieszczających się w głąb profilu glebowego [Kabała i Szerszeń 1998, Szopka 2000]. Nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic między średnim pH próchnic nadkładowych w porównywanych typach gleb lub skał macierzystych, co ma związek ze sztuczną dominacją świerka w drzewostanach na całym obszarze objętym badaniami. Podobnie słabo jest zróżnicowana zawartość materii organicznej zakumulowanej w próchnicach nadkładowych porównywanych typów gleb. Średnia strata żarowa,

Tabela 1. Odczyn, strata żarowa, węgiel organiczny i zawartość miedzi w poziomach gleb wytworzonych z różnych skał macierzystych – średnia arytmetyczna i zakres wartości (minimum – maksimum)

Table 1. Soil reaction, loss in ignition, organic carbon and concentration of copper in soil layers developed from different parent rocks – arithmetic mean and range of results (minimum – maximum)

Poziom Soil horizon	Frakcja <0,02 mm	Frakcja <0,002 mm	pH		Strata żarowa	Węgiel organiczny	Całkowita zawartość Cu
	%	%	H ₂ O	KCl	%	mg·kg ⁻¹	
Gleby brunatne wytworzone z granitoidów, n=11							
O	–	–	3,4* 3,2–3,7**	2,7 2,5–3,1	65,8 35–87,2	–	24,5 ^a 17,1–38,5
A	23,5 15–31	6,7 1–19	3,5 3,0–3,9	2,9 2,2–3,2	–	14,2 5,04–18,8	15,34 ^b 5,3–26,7
Bbr	25,7 25–27	14,0 7–20	4,3 3,8–4,6	3,9 3,4–4,1	–	2,8 0,54–5,6	11,63 ^c 4,9–21,1
C	20,9 10–36	5,4 1–10	4,4 4,2–4,6	3,9 3,5–4,1	–	0,56 0,13–1,0	7,84 ^d 3,5–18,7
Gleby brunatne wytworzone z mułowców/margli, n=17							
O	–	–	3,3 3,0–3,6	2,6 2,4–3,0	59,1 32,9–84,3	–	26,4 ^a 18,3–41,3
A	42,7 24–56	16,0 7–31	4,1 3,4–4,8	3,5 2,5–4,5	–	5,6 0,3–19,4	9,1 ^b 3,5–19,0
Bbr	52,0 25–84	23,0 5–69	4,5 3,5–6,8	3,7 2,5–6,2	–	1,4 0,3–4,1	7,8 ^b 2,3–16,3
C	52,8 29–80	24,6 9–51	5,1 3,8–7,4	4,5 3,4–7,0	–	0,96 0,1–3,2	8,2 ^b 3,3–12,0
Gleby bielcowe wytworzone z piaskowców kwarcytowych, n=12							
O	–	–	3,3 3,2–3,8	2,5 2,3–2,7	77,6 34,3–91,6	–	22,2 ^a 4,5–40,3
A	9,0 4–14	1,8 1–3	3,7 3,3–4	2,8 2,5–3,3	–	5,2 1,53–14,9	3,3 ^b 0,5–6,5
E	9,0 5–24	1,9 1–4	3,9 3,6–4,3	3,2 2,6–3,9	–	0,43 0,02–0,89	2,5 ^b 0,8–5,5
Bhs	13,3 4–21	3,9 1–7	3,9 3,5–4,5	3,3 2,7–4,0	–	1,83 0,34–4,45	5,3 ^c 1,3–13
C	7,7 4–14	3,3 2–4	4,5 4,3–4,7	4,0 3,8–4,3	–	0,46 0,28–0,6	3,0 ^b 1,5–5,0

Objaśnienia: ^{a, b, c, d} – grupy jednorodne, wyznaczone testem porównań wielokrotnych wg Duncana przy $p < 0,05$ (porównanie średnich wartości między poziomami w obrębie profilu glebowego), * średnia arytmetyczna, ** zakres wyników; – brak danych.

odzwierciedlająca zawartość materii organicznej w ściółce, waha się od 59,1% w glebach brunatnych z mułowców, 65,8% w glebach brunatnych z granitów, do 77,6% w glebach bielcowych wytworzonych z piaskowców (tab.1). Stwierdzone różnice (choć nieistotne statystycznie) mogą mieć związek ze zróżnicowaną domieszką buka w drzewostanach – największą na glebach brunatnych z mułowców, a najmniejszą na glebach bielcowych.

W mineralnych poziomach genetycznych gleb brunatnych zawartość węgla organicznego zmniejsza się wraz z głębokością, osiągając minima w poziomie skały macierzystej, odpowiednio 0,96% w glebach z granitów i 0,56% w glebach z margli. Najzasobniejsze w węgiel organiczny są gleby brunatne wytworzone z granitoidów, które w poziomach Ah zawierają średnio 14,2% C_{org} , ponad dwukrotnie więcej niż analogiczne poziomy w glebach bielcowych pozostałych z piaskowców i brunatnych pozostałych z mułowców. W glebach bielcowych stwierdzono dwa maksima zawartości węgla organicznego (C_{org}): bioakumulacyjne w poziomach Ah, ze średnią zawartością 5,18% C_{org} oraz iluwialne w poziomach Bhs, z przeciętną zawartością 1,83% C_{org} (tab. 1).

Powinowactwo miedzi do substancji organicznej sprawia, że jej najwyższe koncentracje występują w poziomach próchnic nadkładowych. Średnie wartości zamykają się w granicach od 22,2 $mg \cdot kg^{-1}$ w ektopróchnicach gleb bielcowych do 26,4 $mg \cdot kg^{-1}$ w ektohumusie gleb brunatnych wytworzonych z granitu, przy ogólnym rozrzucie wartości w granicach od 14,5 do 41,3 $mg \cdot kg^{-1}$.

Brak statystycznie istotnej różnicy między wartościami średnimi potwierdza brak zależności między rodzajem skał macierzystych lub typem gleb a zasobnością próchnic leśnych w ten pierwiastek. Stwierdzone zawartości miedzi nie należą do wysokich i są zbliżone do koncentracji podawanych z innych obszarów górskich [Brożek i in. 2003, Kabała i Szerszeń 2002, Niemyska-Łukaszuk i in. 1998]. Istotnie wyższe stężenia miedzi w powierzchniowych poziomach organicznych podawane są jedynie z obszaru Karkonoszy, gdzie w zdecydowanie większym stopniu ujawniają się wpływy antropogeniczne (zanieczyszczenia transgraniczne) na gleby leśne [Drozd i in. 1998, Skiba i in. 1998]. Zwiększone zawartości miedzi są wykazywane również na obszarze Gór Stołowych [Karczevska i in. 1998], lecz jedynie w bezpośrednim sąsiedztwie szlaków komunikacyjnych.

W ujęciu ogólnym całkowita zawartość miedzi w poziomach mineralnych jest wyraźnie powiązana z rodzajem skały macierzystej, kierunkiem procesów pedogenicznych oraz koncentracją węgla organicznego. W najgłębiej położonych poziomach C, w których zawartość miedzi jest najmniej zależna od rodzaju i natężenia procesów glebowych, najniższe jej wartości (średnio 3,0 $mg \cdot kg^{-1}$) w glebach wytworzonych z piaskowców, odznaczających się jednocześnie najmniejszą zawartością frakcji ilastych. Ponad dwukrotnie większe ilości miedzi (różnica jest istotna statystycznie przy $p < 0,05$) stwierdzono w poziomach C gleb wytworzonych z granitów i mułowców – odpowiednio 7,8 i 8,2 $mg \cdot kg^{-1}$ (wartości średnie). Stwierdzone ilości miedzi mieszczą się w zakresach zawartości pierwiastka określonych przez Brożka i in. [2004] na podstawie badań kilkudziesięciu profili gleb leśnych wytworzonych z podobnych skał macierzystych na obszarze południowej Polski. Profilowe rozmieszczenie miedzi w każdym z porównywanych typów gleb odznaczają specyficzne cechy.

W glebach wytworzonych z granitoidów zawartość miedzi wyraźnie maleje w pionowej sekwencji poziomów O-A-B-C (tab. 1), a różnice między średnimi zawartościami pierwiastka w kolejnych poziomach są statystycznie istotne przy $p < 0,05$.

Tabela 2. Współczynniki korelacji między całkowitą zawartością miedzi a wybranymi właściwościami poziomów mineralnych trzech typów gleb Gór Stołowych**Table 2.** Coefficients of correlation between total Cu content and selected properties of mineral horizon of three soil types in the Stołowe Mountains

Właściwości	Gleby brunatne wytworzone z granitu	Gleby brunatne wytworzone z mułowca	Gleby bielcowe wytworzone z piaskowca
pH H ₂ O	-0,28	0,22	-0,29
pH KCl	-0,30*	0,15	-0,30*
Węgiel organiczny	0,47*	0,46*	0,60*
Frakcja <0,02 mm	0,21	0,08	0,21
II <0,002 mm	0,33*	0,20	0,55*

Objaśnienia: * współczynniki korelacji istotne statystycznie przy $p < 0,05$.

Koncentracja miedzi w poziomie Ah tych gleb (przeciętnie $15,3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) jest największa wśród porównywanych gleb, co ma związek z największą zawartością substancji organicznej (średnio $14,2\% C_{org}$). Skutkuje to również największą wśród trzech porównywanych typów gleb wartością indeksu bioakumulacji w poziomie A (wskaźnik $I_{A/C}=1,96$). Jednocześnie, różnica między poziomami O i A jest w tym typie gleb najmniejsza (wskaźnik wzbogacenia $I_{O/A}$ wynosi około 1,6). Rozmieszczenie miedzi w profilach gleb brunatnych kwaśnych wytworzonych z granitoidów nie odzwierciedla występujących w nich różnic uziarnienia (zawartości frakcji ilastej), lecz wyraźnie nawiązuje do zawartości materii organicznej w poszczególnych poziomach. Identyczny gradient malejącej zawartości w przekroju pionowym, powiązany z malejącą zawartością substancji organicznej, stwierdzono w glebach brunatnych kwaśnych wytworzonych ze skał magmowych i metamorficznych, m.in. w Karpatach [Brożek i in. 2003], Rudawach Janowickich [Kabała i in. 1998], na Śnieżniku i w Górach Bystrzyckich [Kabała i Szerszeń 2002] oraz w Górach Izerskich [Kabała 1998].

W glebach wytworzonych z mułowców zawartość miedzi jest co prawda największa w poziomie A (średnio około $9,1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), ale nieco mniejsze zawartości Cu w poziomach B i C nie różnią się statystycznie od siebie, co upoważnia do stwierdzenia, że zawartość miedzi nie różnicuje się w profilu tych gleb lub maleje z głębokością w nieznacznym stopniu. Jest to prawdopodobnie skutkiem dwóch trendów o przeciwstawnym wpływie na całkowitą zawartość tego pierwiastka: zmniejszania się ilości węgla organicznego a jednocześnie zwiększenia się ilości frakcji ilastej w pionowym przekroju tych gleb (tab. 1).

Zawartość miedzi w poziomach A gleb wytworzonych z piaskowców kwarcytowych (średnio $3,3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) jest najmniejsza wśród porównywanych gleb, a jednocześnie różnica tych zawartości między poziomami O i A jest największa (wskaźnik wzbogacenia $I_{O/A}$ wynosi około 6,7), co świadczy o niestabilności miedzi w poziomie A i wymywaniu pierwiastka w głąb profilu. W obrębie profilu wyraźnie ujawnia się wpływ procesu bielcowania [Skłodowski i in. 1988]: najmniejsze ilości pierwiastka występują w poziomie eluwialnym E (średnio $2,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), a największe – w poziomie iluwialnym Bhs (średnio $5,3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). To róż-

nicowanie naśladuje zarówno rozmieszczenie materii organicznej (współczynnik korelacji $r=0,60$ istotny przy $p<0,05$), jak i różnice w zawartości frakcji ilastej w kolejnych poziomach profilu gleb bielcowych (współczynnik korelacji $r=0,55$ istotny przy $p<0,05$). Podobne prawidłowości w rozmieszczeniu miedzi w profilach gleb bielcowych stwierdzono m.in. na Babiej Górze [Niemyska-Łukaszuk i in. 1998], w Górach Izerskich [Kabała 1998], a także w trakcie wcześniejszych badań prowadzonych w Górach Stołowych [Karczewska i Kabała 2002].

Często stosowanym w badaniach geochemicznych wskaźnikiem pozwalającym na ocenę stopnia nagromadzenia metali ciężkich, w tym antropogenicznego zanieczyszczenia, jest współczynnik akumulacji metalu w ektohumusie do jego zawartości w skale macierzystej gleby mineralnej [Niemyska-Łukaszuk i in. 1998]. W glebach bielcowych wytworzonych z piaszczowców wskaźnik ten przyjmuje średnią wartość około 7,4, w glebach brunatnych natomiast, wytworzonych zarówno z mułowców, jak i granitów, wartość tego wskaźnika kształtuje się na znacznie niższym poziomie, około 3,1–3,2. Duże wartości wskaźnika akumulacji miedzi w bielcach dowodzą szczególnej roli ektohumusu jako magazynu miedzi w glebach wytworzonych ze skały macierzystej szczególnie ubogiej w ten składnik. Obliczone wartości wskaźnika akumulacji są znacznie większe od podawanych przez Niemyską-Łukaszuk i in. [1998] z obszaru Babiej Góry, co jednak nie świadczy o zanieczyszczeniu gleb Gór Stołowych (ponieważ ilości miedzi w poziomach ektohumusu są niższe niż na obszarze Babiej Góry), a wynika raczej ze znacznie większej zawartości miedzi w skałach macierzystych gleb w masywie Babiej Góry.

Przedstawione w niniejszym opracowaniu koncentracje miedzi w próchnicach nakładowych gleb leśnych Gór Stołowych wskazują na niewielki obecnie wpływ zanieczyszczeń transgranicznych na ekosystemy leśne Parku Narodowego Gór Stołowych. Ograniczenie depozycji metali ciężkich obserwowane jest już od końca lat 90-tych ubiegłego wieku, co potwierdzają liczne publikacje zarówno z Europy Zachodniej [Hernandez i in. 2003], jak i Europy Centralnej, m.in. z obszaru Czech [Suchara i Sucharova 2001], jak też z południowo-wschodniej Polski oraz zachodniej Ukrainy [Warszewski i in. 2009].

4. WNIOSKI

Ogólna zawartość miedzi w poziomach mineralnych gleb Gór Stołowych zależy od rodzaju skały macierzystej i jest najmniejsza w glebach bielcowych wytworzonych z piaszczowców, większa w glebach brunatnych z mułowców, a największa w glebach brunatnych wytworzonych z granitoidów.

Zawartość miedzi w profilu glebowym odzwierciedla kierunek procesu glebotwórczego:

- 1) w glebach brunatnych wytworzonych z granitów maleje w sekwencji poziomów O-A-B-C,
- 2) w glebach brunatnych wytworzonych z mułowców nie różnicuje się znacząco w profilu,
- 3) w glebach bielcowych osiąga minimum i maksimum odpowiednio w poziomach eluwialnych E i iluwialnych Bhs.

Najwyższe koncentracje miedzi występują w powierzchniowych poziomach próchnic nadkładowych, bez istotnych statystycznie różnic między porównywanymi typami gleb, co jest spowodowane dominacją świerka we wszystkich typach siedlisk leśnych Gór Stołowych.

Koncentracje miedzi w poziomach mineralnych mają wartości bliskie tłu geochemicznemu skał macierzystych badanych gleb i potwierdzają brak zanieczyszczenia tym pierwiastkiem gleb Gór Stołowych.

5. PIŚMIENNICTWO

- ALLOWAY B.J. 1995. Heavy metals in soils. John Willey. New York.
- BROŻEK S., GRZYWNOWICZ I., WOJCIECHOWICZ A. 2003. Metale ciężkie w skałach macierzystych gleb leśnych Polski. Zesz. Problem. Post. Nauk Roln. 493: 53–63.
- DROZD J., LICZNAK M., WEBER J., LICZNAK S.E., JAMROZ E., DRADRACH A., MA-STALSKA-CETERA B., ZAWERBNY T. 1998. Degradacja gleb w niszczonej ekosystemach Karkonoszy i możliwości jej zapobiegania. Polskie Towarzystwo Substancji Humusowych, Wrocław: 125.
- HERNANDEZ L., PROBST A., PROBST J.L., ULRICH E. 2003. Heavy metal distribution in some French forest soils – evidence for atmospheric contamination. Science of The Total Environment 312: 195–215.
- KABAŁA C. 1998. Pierwiastki śladowe w glebach Gór Izerskich. Zesz. Nauk. Akademii Rolniczej, we Wrocławiu 347:95–106.
- KABAŁA C., SZERSZEŃ L. 1998. Właściwości gleb brunatnych na obszarze Parku Narodowego Gór Stołowych. Zesz. Problem. Post. Nauk Roln. 464:89–100.
- KABAŁA C., SZERSZEŃ L. 2002. Profile distribution of lead, zinc and copper in Dystric Cambisols developed from granite and gneiss of the Sudetes Mountains, Poland. Water Air and Soil Pollution 138:307–317.
- KABAŁA C., SZERSZEŃ L., BARTOSZEWSKA K. 1998. Zawartość Pb, Zn i Cu w glebach Gór Izerskich i Rudaw Janowickich jako tło dla Karkonoskiego Parku Narodowego. Geoekologiczne problemy Karkonoszy. Acarus, Poznań: 207–212.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1993. Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa.
- KARCZEWSKA A., KABAŁA C. 2002. Pierwiastki śladowe w glebach Parku Narodowego Gór Stołowych. Szczeliniec 6:133–160.
- KARCZEWSKA A., KABAŁA C., SZAFlicka B. 1998. Metale ciężkie w glebach Parku Narodowego Gór Stołowych wzdłuż Szosy 100 Zakrętów. Szczeliniec 2:9–14.
- NIEMYSKA-ŁUKASZUK J., MIECHÓWKA A., ZADROŻNY P. 1998. Metale ciężkie (Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn) w wybranych glebach Babiogórskiego Parku Narodowego. Zesz. Problem. Post. Nauk Roln. 464:311–317.

- SKIBA S., DREWNIK M., SZMUC R, 1998. Zawartość metali ciężkich w powierzchniowych poziomach gleb Karkonoszy. Zesz. Problem. Post. Nauk Rol. 418:353–360.
- SKŁODOWSKI P., MACIEJEWSKA A., SZAFRANEK A. 1988. Wpływ procesu bielicowania na rozmieszczenie pierwiastków śladowych w profilach gleb bielicowych. Roczn. Glebozn. 39:113–128.
- SUCHARA I., SUCHAROVA J. 2002. Distribution of sulphur and heavy metals in forest floor humus of the Czech Republic. Water, Air and Soil Pollution 136: 289–316.
- SZOPKA K. 2000. Geneza, skład i właściwości gleb wytworzonych z piaskowców na terenie Gór Stołowych. Zesz. Nauk. Akademii Rolniczej we Wrocławiu, 396:95–109.
- WAROSZEWSKI J., HARCZUK M., KABAŁA C. 2009. Przestrzenne gradienty zawartości pierwiastków śladowych w borówce brusznicy i poziomach organicznych gleb Sudetów i Karpat. Roczn. Glebozn. 60:108–116.