

CEZARY KABAŁA, BERNARD GAŁKA, ANNA KARCZEWSKA,
TADEUSZ CHODAK

ZRÓŻNICOWANIE ZAWARTOŚCI PIERWIASTKÓW
ŚLADOWYCH W GLEBACH RÓŻNYCH ZBIOROWISK
LEŚNYCH W DOLINIE RZEKI DOBRA

DISTRIBUTION OF TRACE ELEMENTS IN SOILS
UNDER VARIOUS FOREST STANDS
IN THE DOBRA RIVER VALLEY

Instytut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska,
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Abstract: Total concentrations of Zn, Cu, and Pb in surface horizons and forest floor (litter) were determined under pine, oak and ash/alder stands growing on Arenosols, Cambisols and Fluvisols/Gleysols to analyze the distribution of trace elements in forest ecosystems in various alluvial deposits of Dobra River. Soils were sampled in May 2006 in 24 sites of permanent environmental monitoring. Samples of mineral soils were collected at the depth 0–10 and 10–20 cm, and forest floor samples on rectangular plots 20×20 cm, without dividing into subhorizons. Zn content in soils is significantly correlated with clay content, lead – with organic carbon, while copper depends both on clay and organic carbon. The highest concentration of metals in the forest litter was found on acid sandy soils under oak stands, while the greatest accumulation in the litter mass occurs under pine stands. Both concentration and accumulation of metals are the lowest in the mull-type litters under ash/alder stands. Therefore the ratio of forest litter enrichment with trace metals has the highest values (up to 4.4 for Zn) on sandy soils under oak, and the lowest (up to 0.8 for lead) on loamy soils under ash and alder.

Słowa kluczowe: próchnica nadkładowa, gleby leśne, gleby aluwialne, pierwiastki śladowe.

Key words: detritus (forest litter), forest soils, alluvial soils, trace elements.

WSTĘP

Zawartość pierwiastków śladowych w glebach jest wypadkową ich pierwotnej koncentracji w skale macierzystej, procesów wymywania, bioakumulacji oraz dopływu pierwiastków z atmosfery [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Zróżnicowanie składu granulometrycznego i właściwości sorpcyjnych gleb występujące na obszarze doliny

rzecznej – które wynika z przestrzennej i czasowej zmienności osadów aluwialnych – powoduje strefowe lub mozaikowe zróżnicowanie zawartości pierwiastków śladowych [Laskowski 1986]. Zawartość metali ciężkich w glebach większości dolin rzecznych uległa w ostatnich dziesięcioleciach znacznej modyfikacji [Pisarek, Żarczyńska 2002]. Pomimo że gleby te nie są szczególnie narażone na bezpośrednie emisje przemysłowe lub komunikacyjne, to jednak często docierają do nich zanieczyszczenia transportowane przez rzeki z obszarów przemysłowych i górniczych.

Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb aluwialnych mikropierwiastkami jest utrudniona, szczególnie na obszarach zalesionych, gdzie w obiegu pierwiastków uczestniczy próchnica nadkładowa o specyficznych zdolnościach akumulacji metali. Nie opracowano dotychczas jednoznacznych empirycznych wskaźników naturalnego stanu lub antropogenicznego przekształcenia gleb leśnych zarówno ich mineralnej, jak i organicznej części próchnic nadkładowych. Istniejące opracowania pochodzą przeważnie z obszarów narażonych na zanieczyszczenie [Karczevska, Kabała 2002; Kozanecka, Czarnowska 1999; Sawicka-Kapusta

i in. 2002] lub dotyczą jedynie wybranych siedlisk lub zbiorowisk leśnych [Gworek, Degórski 1997; Kwasowski i in. 2000; Maciaszek 1983]. Mimo powyższych zastrzeżeń, analiza koncentracji pierwiastków śladowych w glebach jest miarodajnym i prostym narzędziem oceny stopnia antropogenicznego przeobrażenia środowiska, dlatego też jest włączana do większości programów monitoringu środowiska [Karczevska i in. 2006; Józwiak, Kowalkowski 2002].

W dolnym odcinku doliny rzeki Dobrej, prawego dopływu Widawy, wyróżnić można sekwencję różnowiekowych teras aluwialnych tworzących różnorodny warunki siedliskowe. Najciekawszy fragment doliny włączony został do arboretum leśnego Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu



RYSUNEK 1. Lokalizacja obiektu badań w dolinie rzeki Dobra we Wrocławiu - Pawłowicach
FIGURE 1. Situation of study area in the Dobra River Valley in Wrocław - Pawłowice

(rys. 1). Jednym z celów arboretum jest monitoring procesów zachodzących w środowisku, w tym również zmian stopnia zanieczyszczenia ekosystemów.

Celem prezentowanych badań jest analiza uwarunkowań koncentracji wybranych pierwiastków śladowych (Pb, Zn, Cu) w próchnicach nadkładowych oraz w powierzchniowym poziomie gleb mineralnych różnych zbiorowisk leśnych w dolinie rzeki Dobra, w projektowanej sieci stałego monitoringu środowiska.

OBIEKTY I METODYKA BADAŃ

W przekroju poprzecznym doliny dolnej Dobrej na obszarze Wrocławia - Pawłowic wyróżnić można układ przynajmniej trzech różnowiekowych teras aluwialnych zbudowanych z odmiennych osadów. Piętro najwyższe i najbardziej zewnętrzne (terasa nadzalewowa) budują plejstoceniowe aluwialne piaski luźne i słabogliniaste, średnio-

ziarniste. Dominują tu gleby rdzawe, tworzące siedliska lasu mieszanego świeżego, obecnie obsadzone drzewostanem z przewagą dębu szypułkowego, lokalnie sosny zwyczajnej. Piętro środkowe, holocenińskiej terasy zalewowej wyższej budują piaski gliniaste z wkładkami gliny, podścielone piaskiem luźnym. Dominują tu mady brunatne tworzące siedliska lasu świeżego lokalnie wilgotnego, obecnie porośnięte drzewostanem z przewagą olszy czarnej z domieszką jesionu, dębu i brzozy. Piętro najniższe właściwej terasy zalewowej w centralnej części doliny budują gliny piaszczyste i lekkie z przewarstwieniami zwięźlejszych glin, głęboko podścielone piaskami. Dominują tu mady próchniczne (oglejone) oraz gleby gruntowo-glejowe tworzące siedliska lasu łęgowego wilgotnego, obecnie obsadzone drzewostanem z przewagą jesionu i olszy czarnej z domieszką dębu. Większość drzewostanów występuje na glebach porolnych z poziomem próchnicznym nie rzadko sięgającym 40 cm miąższości [Chodak, Kabała 2007].

Próbki gleb i próchnic leśnych do analiz laboratoryjnych pobrano z 24 regularnie rozmieszczonych powierzchni stałego monitoringu środowiska w dolinie rzeki Dobrej. Próbki gleb pobrano łaską ze stali nierdzewnej z głębokości 0–10 i 10–20 cm, a próbki próchnic nadkładowych z powierzchni 400 cm² (20 × 20 cm), bez rozdzielania na podpoziomy. Na każdej powierzchni pobierano próbki w czterech powtórzeniach. Następnie próbki podstawowe dokładnie wymieszano i wyodrębniono reprezentatywne do analiz laboratoryjnych.

W częściach ziemistych (<2 mm) próbek gleb z poziomów mineralnych oznaczono skład granulometryczny metodą sitowo-areometryczną, pH w 1 M KCl (metodą potencjometryczną, przy stosunku gleba : roztwór 1:2,5), zawartość węgla organicznego (metodą Tiurina) oraz całkowitą zawartość pierwiastków śladowych – miedzi, ołowiu i cynku (metodą AAS, po mineralizacji próbek w wodzie królewskiej). Powietrznie suchy materiał organiczny (próchnice nadkładowe), po usunięciu szyszek i gałązek, rozdrabniano ręcznie aż do przejścia całej objętości próbki przez sito o średnicy oczek 2 mm. W tak przygotowanych próbkach oznaczono zawartość suchej masy oraz całkowitą zawartość miedzi, ołowiu i cynku (metodą AAS po spopieleniu próbek w temp. 500°C i roztworzeniu popiołu w stężonym HCl).

WYNIKI I DYSKUSJA

Całkowita zawartość miedzi w powierzchniowych poziomach mieści się w przedziale od 4,5 do 22,0 mg · kg⁻¹, przy średniej koncentracji rzędu 10–11 mg · kg⁻¹ (tab.1). Zawartość pierwiastka maleje z głębokością, lecz różnica między warstwami 0–10 i 10–20 cm nie jest duża i z reguły nie przekracza 10–15% (tab. 2). Koncentracja miedzi w analizowanych glebach wykazuje związek z uziarnieniem (zawartością iltu koloidalnego) oraz zawartością substancji organicznej (tab. 3). Najwyższe ilości pierwiastka występują w gliniastych glebach gruntowo-glejowych oraz w madach próchnicznych w centralnej części doliny. Najniższe koncentracje miedzi stwierdzono natomiast w mniej zasobnych w materię organiczną glebach rdzawych wytworzonych z piasków terasy nadzalewowej. Zaobserwowano ponadto związek między zawartością miedzi a odczynem gleb, jednak jest to zależność wtórna, wynikająca stąd, że gleby zwięźlejsze mają też z reguły wyższe pH (tab. 3).

Zawartość cynku w powierzchniowych warstwach gleb mieści się w przedziale od 10,6 do 109 mg · kg⁻¹, przy średniej zawartości rzędu 30–32 mg · kg⁻¹ (tab. 1). Zawartość cynku wyraźnie zależy od uziarnienia i odczynu gleb (właściwości te są jednak wzajemnie skorelowane), a w znacznie mniejszym stopniu od ilości substancji organicznej (tab. 3). Podobnie jak w przypadku miedzi, najwyższe ilości cynku

TABELA 1. Całkowita zawartość pierwiastków śladowych w powierzchniowych mineralnych poziomach gleb doliny Dobrej (łącznie w 24 analizowanych punktach)
TABLE 1. Total concentration of trace elements in mineral surface horizons of soils in the Dobra River Valley (all 24 sites under analysis)

Głębokość pobrania Soil sampling depth [cm]	Całkowita zawartość pierwiastka [mg · kg ⁻¹ gleby] Total concentration of element [mg · kg ⁻¹ of soil]		
	Pb	Zn	Cu
0-10	14,2±9,0*	32,2±15,4	11,5±3,6
10-20	4,2–37,5**	14,3–15,4	6,8–21,7
Średnio Average w 0-20 cm	11,1±7,4 4,1–27,5	31,0±15,3 14,0–87,0	10,8±3,8 5,7–21,8

* zawartość średnia ± odchylenie standardowe – mean concentration ± standard deviation;

** zakres wartości (min–maks) – range of values (min–max concentration)

organicznej i nie wykazuje statystycznego związku z uziarnieniem gleb (tab. 2). Najniższe koncentracje ołowiu stwierdzono w piaszkowych glebach rdzawych uboższych w próchnicę. Zawartość pierwiastka była wyższa w madach brunatnych wyższej terasy zalewowej, zawierających więcej materii organicznej oraz w zwężlejszych madach próchnicznych, gdzie podwyższonej koncentracji ołowiu towarzyszą najwyższe koncentracje cynku i miedzi.

Uogólniając można stwierdzić, że zawartości badanych pierwiastków śladowych w glebach doliny Dobrej we Wrocławiu - Pawłowicach nie są wysokie i wykazują dość wyraźne związki z podstawowymi właściwościami gleb. Stwierdzone zawartości cynku i miedzi w powierzchniowych warstwach piaszkowych gleb rdzawych terasy nadzalewowej są jednak wyższe niż w glebach rdzawych wytworzonych z piasków fluwioglacjalnych w różnych regionach Polski [Brożek, Zwydak 2003; Gworek, Degórski 1997; Kwasowski i in. 2000]. Jedynie zawartość ołowiu mieści się w zakresach podawanych przez tych autorów. Koncentracje analizowanych pierwiastków w powierzchniowych warstwach mad brunatnych i próchnicznych nie odbiegają od zawartości stwierdzonych przez Brożka i Zwydaka [2003] w niezanieczyszczonych glebach siedlisk łągowych Polski nizinnej.

Relatywnie najwyższe ilości analizowanych pierwiastków śladowych występują w gliniastych madach terasy zalewowej, co związane jest z wysoką zawartością iłu, a przeważnie również substancji organicznej. Jednocześnie w próchnicach nadkładowych występujących na tych glebach stwierdzono najniższe ilości metali (tab. 2). Nie znaleziono statystycznej zależności pomiędzy ilością metali w poziomach mineralnych 0–10 cm a ich koncentracją w próchnicy nadkładowej, albo zależność ta była odwrotnie proporcjonalna – jak w przypadku cynku (tab. 4). Stwierdzono natomiast wyraźny związek między zawartością pierwiastków śladowych w próchnicy nadkładowej a typem drzewostanu (tab. 2, rys. 2).

występują w gliniastych glebach gruntowo-glejowych oraz w zwężłych madach próchnicznych centralnej części doliny. Najniższe koncentracje cynku stwierdzono w glebach rdzawych wytworzonych z piasków terasy nadzalewowej. Różnice w koncentracji cynku między warstwami 0–10 i 10–20 cm są znikome i z reguły nie przekraczają 5–10% (tab. 2).

Zawartość ołowiu w powierzchniowych warstwach gleb jest silnie zróżnicowana i mieści się w przedziale od 4,2 do 37,5 mg · kg⁻¹ w warstwie 0–10 cm oraz od 2,7 do 16,2 mg · kg⁻¹ w warstwie 10–20 cm (tab. 1). Koncentracja ołowiu w warstwie 0–10 cm jest więc wyraźnie (nie rzadko dwukrotnie) wyższa niż w warstwie 10–20 cm (tab. 2). Zawartość ołowiu koreluje przede wszystkim z zawartością materii

TABELA 2. Zawartość pierwiastków śladowych w próchnicach nadkładowych i mineralnych powierzchniowych poziomach gleb doliny rzeki Dobrej
TABLE 2. Total concentration of trace elements in forest floor and mineral surface horizons of soils in the Dobra River Valley

Głębokość pobierania Sampling depth [cm]	Całkowita zawartość pierwiastka [mg · kg ⁻¹] Total concentration of element [mg · kg ⁻¹]		
	Pb	Zn	Cu
Pod drzewostanami sosnowymi (n=4) – Under pine stands			
Próchnica nadkładowa Detritus			
0–10	22,6* (5,4–48,3)**	101,3 (80,0–30,0)	32,0 (23,0–39,0)
10–20	10,0 (7,5–14,4)	28,7 (21,7–34,9)	13,5 (12,1–14,2)
	5,9 (2,7–9,6)	28,6 (21,2–37,1)	13,1 (10,5–15,2)
Pod drzewostanami dębowymi (n=12) – Under oak stands			
Próchnica nadkładowa Detritus			
0–10	19,2 (3,6–66,0)	94,9 (51,0–173,0)	23,8 (20,0–32,0)
10–20	16,4 (6,0–37,5)	23,3 (14,3–31,8)	9,9 (6,8–21,0)
	7,8 (4,2–12,9)	19,6 (10,6–33,4)	7,1 (4,7–11,0)
Pod drzewostanami jesionowo-olszowymi (n=8) – Under ash/alder stands			
Próchnica nadkładowa Detritus			
0–10	12,2 (6,3–16,8)	69,6 (42,0–30,0)	24,9 (17,0–38,0)
10–20	17,0 (9,9–26,7)	37,1 (19,1–85,2)	12,8 (8,4–21,7)
	10,1 (5,7–16,2)	36,3 (15,4–88,9)	11,3 (4,7–22,0)

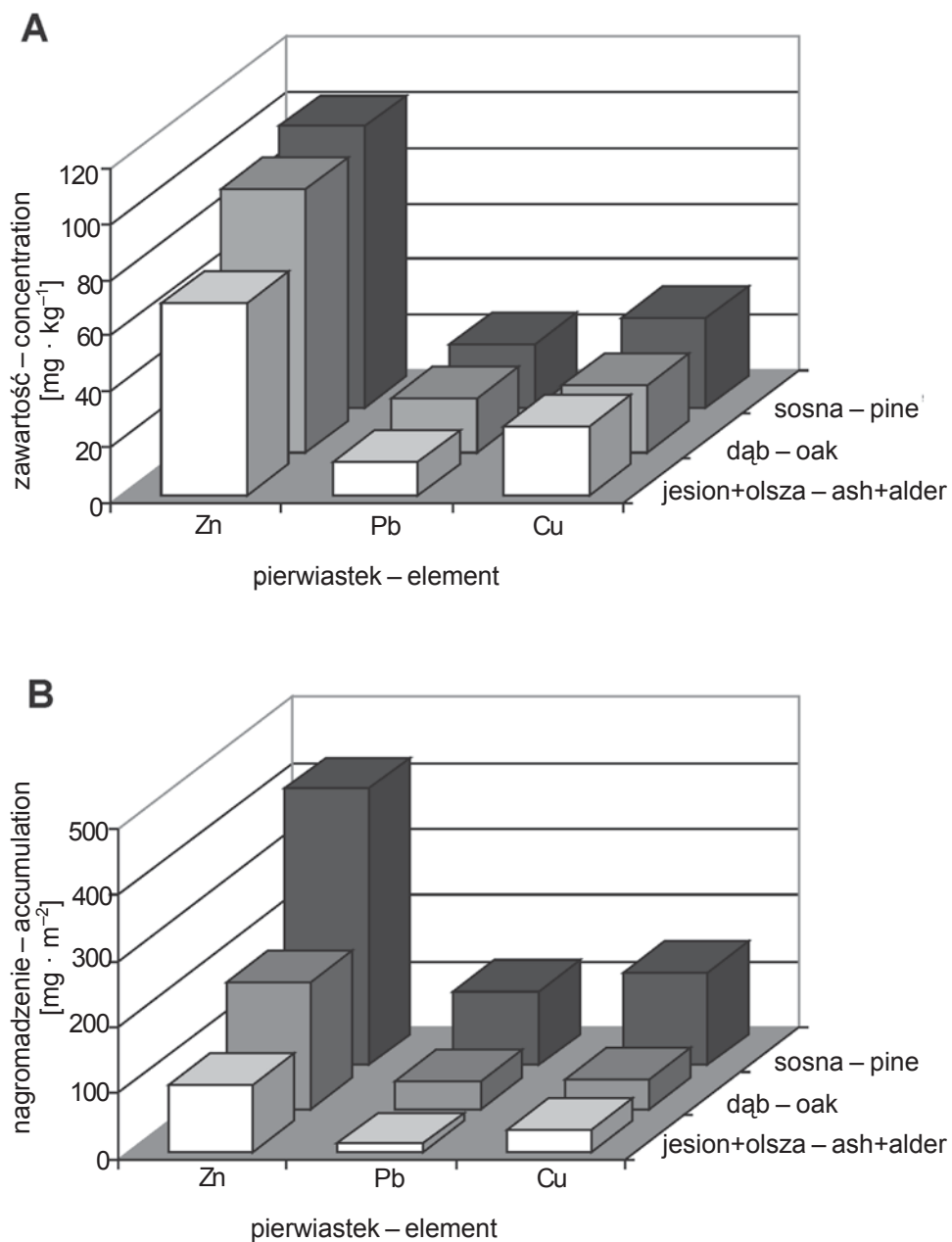
* zawartość średnia – mean concentration

** zakres wartości (minimum – maksimum) – range of values (min–max concentration)

Najniższe koncentracje analizowanych metali występują w próchnicach typu mull pod drzewostanami jesionowymi i olszowymi, wyższe w próchnicach typu moder (oraz mull-moder) pod drzewostanami dębowymi i najwyższe w próchnicach moder-mor w nielicznych płatach borów sosnowych (tab. 2). Najmniej zróżnicowana pomiędzy typami drzewostanów jest zawartość miedzi, natomiast koncentracje ołowiu stwierdzone w próchnicach wytworzonych pod drzewostanami sosnowymi są niemal dwukrotnie wyższe niż pod drzewostanami jesionowymi. Uzyskane wyniki badań przeczą obserwacjom Maciaszka [1983], który stwierdził, że koncentracje miedzi i cynku są najniższe w próchnicach mor, a najwyższe w próchnicach typu mull. Zróżnicowanie zawartości pierwiastków w poszczególnych typach próchnic wynika prawdopodobnie zarówno z odmiennej koncentracji metali w liściach poszczególnych gatunków drzew, czasu akumulacji porównywanych próchnic oraz tempa ich rozkładu [Jones, Watts 1988].

Wskutek szybkiego obiegu pierwiastków w ekosystemach lasów jesionowo-olszowych występuje w nich wąski współczynnik wzbogacenia próchnic leśnych, to jest stosunek koncentracji metali w próchnicach nadkładowych do zawartości w glebach (w warstwie 0–10 cm), przyjmujący wartości od 0,8 (dla ołowiu) do 1,6–1,7 (dla miedzi i cynku). Wartość współczynnika akumulacji ołowiu jest najwyższa w drzewostanach sosnowych, gdzie wynosi średnio 2,6, natomiast pozostałych pierwiastków – w drzewostanach dębowych – dla miedzi średnio 2,5, dla cynku – średnio 4,4.

Próchnice nadkładowe poszczególnych zbiorowisk leśnych odznaczają się różną masą materii organicznej zakumulowanej na jednostce powierzchni, z czego wynika też zróżnicowanie całkowitego nagromadzenia (masy) metali zakumulowanych w próchnicach



RYSUNEK 2. Zawartość (A) i nagromadzenie (B) pierwiastków śladowych w próchnicach nadkładowych gleb leśnych w dolinie Dobrej
FIGURE 2. Concentration (A) and accumulation (B) of trace elements in forest litter (raw humus) in the Dobra River Valley

(tab. 5). Faktyczna różnica pomiędzy nagromadzeniem metali w próchnicach pod drzewostanami jesionowo-olszowymi i sosnowymi jest dziesięciokrotna w przypadku miedzi i nawet dwudziestokrotna – w przypadku ołowiu (rys. 2). Z przedstawionego porównania wynika też, że choć cynk występuje w próchnicach leśnych w największych ilościach, to jednak ołów podlega najtrwalszej akumulacji.

Zawartość miedzi i cynku w próchnicach nadkładowych gleb pod drzewostanami sosnowymi w dolinie Dobrej jest podobna do stwierdzanej w innych niezanieczyszczonych rejonach Dolnego Śląska [Rusek i in. 2005], lecz nieznacznie wyższa niż w innych regionach kraju [Brożek, Zwydak 2003; Gworek, Degórski 1997; Malczyk, Kędzia 1996]. Z kolei zawartości ołowiu w próchnicach gleb porośniętych sosną, choć wyższe niż podawane przez Gworek i Degórskiego [1997], są wyraźnie mniejsze aniżeli stwierdzone przez Malczyka i Kędzia [1996] oraz Rusek i in. [2005]. W próchnicach gleb leśnych bezpośrednio podlegających emisji zanieczyszczeń stwierdza się kilkakrotnie wyższe koncentracje ołowiu, miedzi i innych pierwiastków [Kozanecka, Czarnowska 1999; Malczyk, Kędzia 1996; Medyńska, Kabała 2007; Sawicka-Kapusta i in. 2002]

TABELA 3. Współczynniki korelacji między ilością iltu, węgla organicznego i pH a całkowitą zawartością pierwiastków śladowych w glebach doliny Dobrej (n=24)

TABLE 3. Coefficients of correlations between clay, organic carbon and pH and the total concentration of trace elements in soils in the Dobra River Valley (n=24)

	H – Clay <0,002 mm	C _{org} Org. carbon	pH _{KCl}
W warstwie na głębokości 0–10 cm In a soil layer 0–10 cm			
C _{org}	-0,04		
pH _{KCl}	0,34*	-0,11	
Pb	0,04	0,43**	-0,15
Zn	0,66**	0,25	0,71**
Cu	0,44**	0,56**	0,35*
W warstwie na głębokości 10–20 cm In a soil layer 10–20 cm			
Corg	-0,04		
pH _{KCl}	0,34*	-0,11	
Pb	0,04	0,43**	-0,15
Zn	0,66**	0,25	0,71**
Cu	0,44**	0,56**	0,35*
Łącznie w warstwie na głębokości 0–20 cm Total in a soil layer 0–20 cm			
C _{org}	0,02		
pH _{KCl}	0,33**	0,01	
Pb	0,04	0,56**	-0,14
Zn	0,72**	0,29*	0,67**
Cu	0,48**	0,50**	0,48**

* istotne przy $p < 0,05$ – statistically significant at $p < 0,05$; **istotne przy $p < 0,01$ – statistically significant at $p < 0,01$

TABELA 4. Współczynniki korelacji między zawartością pierwiastków śladowych w próchnicach nadkładowych (n=24) a ich ilością w mineralnych powierzchniowych poziomach gleb (warstwa 0–10 cm)

Zawartość w glebie – Content in soil	Zawartość w próchnicy – Content in forest floor		
	Pb	Zn	Cu
Pb	-0,06		
Zn		-0,43*	
Cu			0,14

TABELA 5. Nagromadzenie pierwiastków śladowych (na jednostkę powierzchni) w próchnicach nadkładowych gleb leśnych w dolinie Dobrej
 TABLE 5. Accumulation of trace elements (on surface unit) in detritus in the Dobra River Valley

	Całkowite nagromadzenie pierwiastka [$\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$] Total accumulation of element [$\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$]		
	Pb	Zn	Cu
Wszystkie próbki All samples (n=24)	41,8* 2,0–269,1**	190,9 13,1–456,2	54,6 5,3–217,3
Pogrupowane według typu drzewostanu – Sorted according to forest stand			
Pod drzewostanem sosnowym Under pine stand (n=4)	111,8 24,1–269,1	418,2 390,0–445,8	140,6 102,0–217,3
Pod drzewostanem dębowym Under oak stand (n=12)	43,1 2,6–178,5	193,0 29,6–456,2	46,0 11,6–84,6
Pod drzewostanem jesionowo-olszowym Under ash/alder stand (n=8)	13,7 2,0–33,0	102,5 13,1–309,4	35,1 5,3–80,7

* zawartość średnia – mean concentration;

** zakres wartości (minimum–maksimum) – range of values (min–max)

WNIOSKI

1. Zawartość cynku w leśnych glebach aluwialnych doliny Dobrej we Wrocławiu skorelowana jest głównie z ilością łu koloidalnego, zawartość ołowiu z ilością substancji organicznej, a zawartość miedzi zarówno z ilością łu, jak i substancji organicznej. Najwyższe koncentracje metali występują w gliniastych madach próchnicznych terasy zalewowej, a najniższe w piaszczystych glebach rdzawych terasy nadzalewowej.
2. Najniższa koncentracja oraz nagromadzenie pierwiastków śladowych występuje w próchnicach mull pod drzewostanami jesionowo-olszowymi, wyższe pod drzewostanami dębowymi, a najwyższe w próchnicach moder-mor pod drzewostanami sosnowymi.
3. Wskaźnik koncentracji metali w próchnicach leśnych (próchnica:gleba) przyjmuje wyższe wartości na glebach bardzo lekkich i kwaśnych, a niższe w glebach zwięzłych i próchnicznych.
4. Mimo sztucznego charakteru drzewostanów, nagromadzenie pierwiastków śladowych w glebach i próchnicach leśnych nawiązuje przestrzennie do typów siedliskowych lasów, co świadczy o naturalnych uwarunkowaniach koncentracji metali i małym stopniu zanieczyszczenia gleb doliny Dobrej.

LITERATURA

- BROŻEK S., ZWYDAK M. 2003: Atlas gleb leśnych Polski. CILP, PWRiL, Warszawa: 466 ss.
- CHODAK T., KABAŁA C. (red.) 2007: Gleby parku i arboretum Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu-Pawłowicach. Walory przyrodnicze i edukacyjne. IGIÓSR UP, Wrocław, maszynopis: 122 ss.
- GWOREK B., DEGÓRSKI M. 1997: Przestrzenne i profilowe rozmieszczenie pierwiastków śladowych i żelaza w glebach zbiorowisk borowych. *Rocz. Glebozn.* **48**, 1/2: 19–30.
- JONES K.C., WATTS S.A. 1988: The distribution of metals in the forest floor of aged conifer stands at a plantation in the Northern England. *Environ. Pollut.* **51**: 31–47.
- JÓ•WIAK M., KOWALKOWSKI A. 2002: Rozwinięta koncepcja monitoringu leśno-rolnego ekosystemu regionu świętokrzyskiego. RMŚP, Kieleckie Tow. Nauk. **3**: 17–24.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H., 1999: Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa.
- KARCZEWSKA A., BOGACZ A., KABAŁA C., SZOPKA K., DUSZYŃSKA D. 2006: Methodology of soil monitoring in a forested zone of the Karkonosze National Park with reference to the diversity of soil properties. *Pol. J. Soil Sci.* **39**, 2: 117–129.
- KARCZEWSKA A., KABAŁA C. 2002: Pierwiastki śladowe w glebach PNGS. W: Szerszeń L., Kabała C. Gleby PNGS. Monografia, Szczeliniac **6**: 133–160.
- KOZANECKA T., CZARNOŃSKA K. 1999: Content of heavy metals in forest litter, soil and mosses in the vicinity of Warsaw. *Pol. J. Soil Sci.* **32**, 2: 53–61.
- KWASOWSKI W., CHOJNICKI J., OKOŁOWICZ M., KOZANECKA T. 2000: Metale ciężkie w glebach powierzchni wzorcowych (GPW) w Puszczy Białej. *Rocz. Glebozn.* **51**, 3/4: 85–95.
- LASKOWSKI S. 1986: Powstawanie i rozwój oraz właściwości gleb aluwialnych doliny środkowej Odry. *Zesz. Nauk AR, Wrocław* **56**: 68 ss.
- MACIASZEK W. 1983: Mikroelementy (Mn, Zn, Cu, B i Mo) w glebach leśnych wytworzonych ze skał fliszu karpackiego. *Rocz. Glebozn.* **34**, 3: 75–93.
- MALCZYK P., KĘDZIA W. 1996: Metale ciężkie w glebach leśnych wzdłuż drogi wylotowej Bydgoszcz-Inowrocław. *Rocz. Glebozn.* **47**, 3/4: 203–211.
- MEDYŃSKA A., KABAŁA C. 2007: Zawartość metali ciężkich w próchnicy nadkładowej gleb leśnych wokół składowiska odpadów po flotacji rud miedzi. Instytut Ochrony Środowiska, *Ochrona Środ. i Zasobów Nat.* **31**: 137–143.
- PISAREK I., ŻARCZYŃSKA B. 2002: Antropogeniczne wzbogacenie w metale ciężkie gleb doliny Odry na terenie miasta Opola. *Rocz. Glebozn.* **53**, 3/4: 75–83.
- RUSEK A., KABAŁA C., DROZDOWSKA J. 2005: Zawartość ołowiu, cynku i miedzi w wybranych typach próchnic leśnych Dolnego Śląska. *Rocz. Glebozn.* **56**, 1/2: 137–146.
- SAWICKA-KAPUSTA K., ZAKRZEWSKA M., BAJOREK K., GDULA-ARGASIŃSKA J. 2002: Input of heavy metals to the forest floor as a result of Cracow pollution. *Environ. Int.* **28**, 8: 691–698.

Dr hab. Cezary Kabala
Instytut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław
e-mail: cezary.kabala@up.wroc.pl