

Wojciech Kwasowski*, Lidia Oktaba*

**OCENA ZAWARTOŚCI OŁOWIU I CYNKU W WYBRANYCH ORGANACH
PSZENICY (*TRITICUM AESTIVUM*) UPRAWIANEJ
PRZY TRASIE SZYBKIEGO RUCHU WARSZAWA–POZNAŃ**

**EVALUATION OF ZINC AND LEAD CONTENT IN SELECTED ORGANS
OF WHEAT GROWING IN VICINITY OF THE MAIN ROAD
WARSZAWA–POZNAŃ**

Słowa kluczowe: trasa szybkiego ruchu, formy ołowiu i cynku, zawartość ołowiu i cynku w pszenicy.

Key words: speedway, forms of zinc and lead in soils, zinc and lead in wheat.

The paper is focused on the analysis of the content of zinc and lead in organs of wheat growing in the vicinity of a busy traffic route. The total content of zinc and lead in soils as well as the content of the particular fractions of these elements were analyzed. Increased total content and high value of the mobility index for Zn and Pb was observed in soils within a distance of 10 m from the traffic route. Content of the analyzed metals in wheat was distinctly higher in closest vicinity of the route, whereas natural quantities were observed in plants growing at larger distances in relation to the speedway (50 and 100 m). Contents of lead hampering the consumption usability of wheat were observed only in plants growing in closest vicinity (25 m) of the speedway.

1. WPROWADZENIE

Jednym ze źródeł antropogenicznego zanieczyszczenia gleb, a w konsekwencji kolejnych ogniw łańcucha pokarmowego, jest motoryzacja. Ten niekorzystny wpływ dotyczy głównie terenów wzdłuż szlaków komunikacyjnych o dużym nasileniu ruchu. Liczne prace

* *Dr Wojciech Kwasowski, dr Lidia Oktaba – Zakład Gleboznawstwa, Katedra Nauk o Środowisku Glebowym, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa; e-mail: wojciech_kwasowski@sggw.pl; lidia_oktaba@sggw.pl*

wskazują, że nadmierna kumulacja pierwiastków śladowych dotyczy głównie gleb położonych w 100, 150-metrowym pasie od drogi, a po przekroczeniu tej odległości przyjmuje wartości typowe dla terenów niezanieczyszczonych [Buczek i Jasiewicz 2000; Klimowicz i Melke 2000; Gworek i Kwasowski 2001; Viard i in. 2004].

Badania dotyczące bioakumulacji pierwiastków śladowych w różnych gatunkach roślin uprawianych w pobliżu dróg wskazują, że duże ich nagromadzenie występuje głównie w warzywach liściowych (sałata, kapusta, seler, pietruszka), nieco mniejsze ilości w częściach podziemnych roślin warzywnych i pastewnych (marchew, ziemniaki, buraki), a najmniejsze w częściach generatywnych roślin, np. w ziarnach zbóż, nasionach maku czy rzepaku [Kabata-Pendias i Pendias 1999]. Jednakże ze względu na duży udział pieczywa w diecie ważna wydaje się ocena przydatności konsumpcyjnej zbóż.

Celem pracy była analiza oddziaływania emisji komunikacyjnych na akumulację Pb i Zn w wybranych organach pszenicy. Badano również udział form ołowiu i cynku w glebach i ich wpływ na zawartość tych mikroelementów w analizowanych roślinach.

2. MATERIAŁY I METODY

Badania zlokalizowano w gminie Zduny i Łowicz (powiat łowicki) przy trasie komunikacyjnej Warszawa–Poznań E-30. W odległości 10, 25, 50 i 100 metrów od jezdni pobrano po dwadzieścia pięć prób mieszanych gleb z powierzchniowej warstwy 0–20 cm oraz materiał roślinny. Roślinny po umyciu i podzieleniu na poszczególne organy suszono w temp 70°C do stałej masy, następnie zmielono i spopielono w temperaturze 500°C. Popiół rozpuszczono w 6M HCl na gorąco. W uzyskanych przesączach oznaczono Pb i Zn techniką AAS, przy użyciu aparatu Perkin-Elmer 2100. W powietrznym materiale glebowym oznaczono: pH w 1M KCl, skład granulometryczny metodą Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego oraz zawartość węgla organicznego metodą katalitycznego spalania do CO₂. Ogólną zawartość metali oznaczono metodą GF-AAS, po mineralizacji w mieszaninie kwasów HNO₃ i HCl w roztwarzaczu mikrofalowym Ethos Plus firmy Milsotone. Udział wybranych frakcji metali określono wykorzystując metodę ekstrakcji sekwencyjnej według Tessiera [1979] w modyfikacji Salbui in. [1998], co pozwoliło wydzielić frakcje zdefiniowane operacyjnie jako: F1–formy rozpuszczalne w wodzie, F2–wymienne, F3–zasorbowane specyficznie i związane z węglanami, F4–redukowalne – związane z tlenkami żelaza i manganu, F5–skompensowane organicznie, F6–rezydualne. Wskaźnik mobilności ołowiu i cynku w glebach obliczono jako procentowy udział sumy form rozpuszczalnych w wodzie (F1), form wymiennych (F2) oraz form związanych z węglanami (F3) w zawartości ogólnej. Wyniki analiz zawartości metali w glebach i roślinach zweryfikowano przy zastosowaniu materiałów referencyjnych SRM1515 i SS-2140-025-002.

3. WYNIKI I DYSKUSJA

Badane gleby reprezentowały piaski gliniaste mocne i gliny piaszczyste. Na badanym terenie dominowały gleby kwaśne, a zawartość węgla organicznego wyniosła średnio 1,39% (tab. 1).

Tabela 1. Wybrane właściwości fizykochemiczne badanych gleb

Table 1. Some physical and chemical properties of tested soils

pH KCl		C org., g kg ⁻¹		Fracja <0,02mm, %	
zakres	średnia	zakres	średnia	zakres	średnia
5,0–5,6	5,3	1,22–1,58	1,39	14–25	17

Koncentracja ołowiu w badanych glebach wynosiła od 11,1 do 63,7 mg kg⁻¹. Najwyższą jego kumulację stwierdzono w próbach pobranych najbliższej drogi (10m). W odległości 50 i 100m od krawędzi drogi zawartość ołowiu była typowa dla gleb niezanieczyszczonych (tab. 2).

Tabela 2. Zawartość ogólna (zakresy, średnia i odchylenie standartowe – SD) ołowiu i cynku w analizowanych glebach w mg kg⁻¹, w zależności od odległości od drogi

Table 2. Total content of lead and zinc (ranges, mean and standard deviation – SD) in the investigated in soils mg kg⁻¹ with regard to distance from speedway

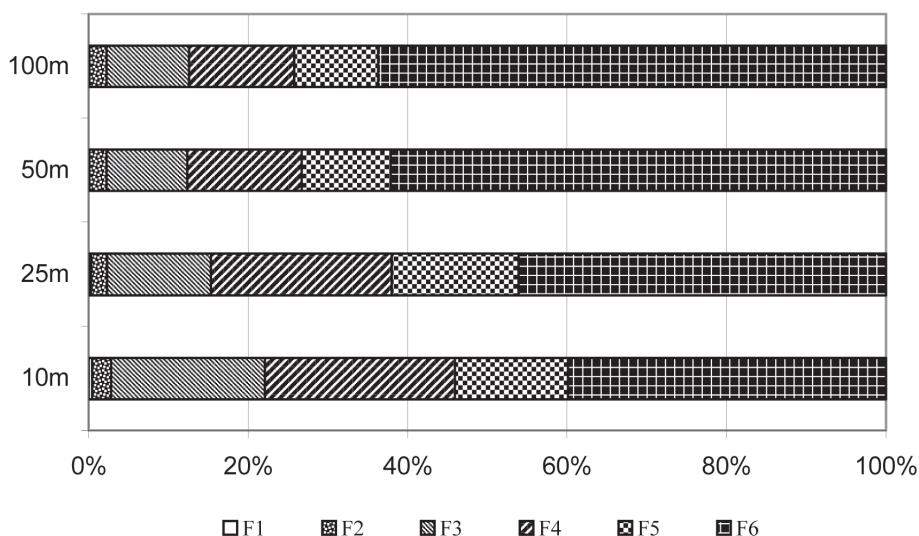
Zawartość ogólna		Odległość od drogi, m			
		10	25	50	100
Pb	zakres	54,1–63,7	28,6–40,1	11,1–20,3	12,4–21,6
	średnia	59,8	31,1	15,2	18,2
	SD	3,468	2,451	1,172	1,730
Zn	zakres	76,3–88,1	37,2–52,3	28,4–42,1	34,1–44,8
	średnia	86,3	44,5	30,2	38,4
	SD	7,130	4,126	2,173	3,173

Potwierdzają to liczne wyniki innych autorów [Curzydło 1995; Dębska i in. 1999; Klimowicz i Melke 2000]. Viard i in. [2004] analizując zanieczyszczenie środowiska przy trasie A31 we Francji uzyskali zbliżone wyniki, jednak podkreślili, że wpływ komunikacji może sięgać aż do 320 metrów od drogi.

Analogiczną sytuację stwierdzono analizując zawartość ogólną cynku w glebach. Ilość tego mikroelementu wynosiła średnio 86,3 mg kg⁻¹ w glebie oddalonej od jezdni o 10 metrów i zmniejszyła się prawie dwukrotnie w odległości 25m, a w dalszych odległościach zbliżona była do wartości naturalnych (tab. 2).

Zawartość ogólna metali w glebie nie zawsze skorelowana jest istotnie z ich bioprzywajalnością. Jak podaje wielu badaczy [Chłopecka 1993; Dudka i Chłopecka 1990; Ge i Murray 2004; Gworek i in. 2004], znacznie lepszym wskaźnikiem ich biodostępności jest ocena udziału form mobilnych, wydzielonych metodami ekstrakcji sekwencyjnej, potencjalnie łatwo pobieranych przez rośliny.

Oceniając udział form ołowiu w zawartości ogólnej na badanym terenie należy zwrócić uwagę, że niezależnie od odległości od trasy szybkiego ruchu najczęściej tego metalu gromadziło się we frakcji rezydualnej, od 39,9 do 63,7% zawartości ogólnej (rys. 1).

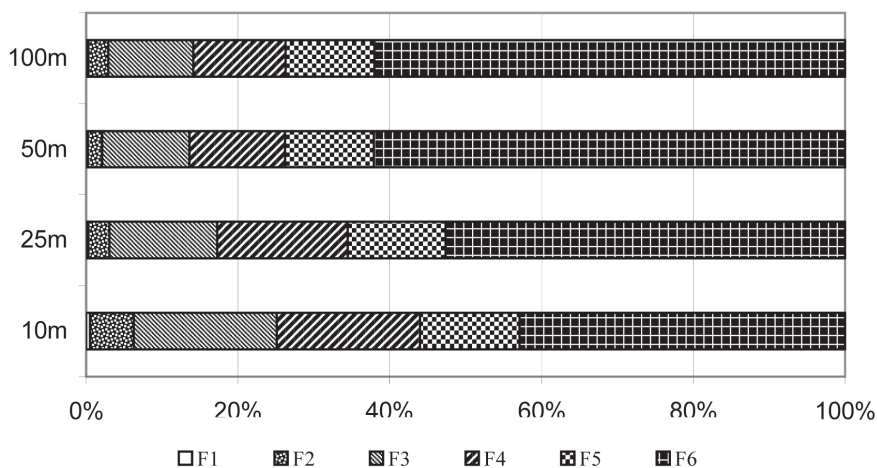


Rys. 1. Procentowa zawartość frakcji ołowiu w badanych glebach w zależności od odległości od drogi

Fig. 1. Percentage content of lead fractions in the studied soils with regard to distance from speedway

Ołów rozpuszczalny w wodzie (F1) i związany w glebie wymiennie (F2) stanowił w badanych glebach od 2,8 do 2,1% zawartości ogólnej. W pozostałych frakcjach zawartość tego pierwiastka wahała się w szerokich granicach, co było silnie skorelowane z odległością od drogi. Udział form związanych z węglanami wynosił od 19,3% w odległości 10m od drogi do 10,4% w odległości 100 m od jezdni (rys.1). W próbkach gleb pobranych 50 i 100 metrów od jezdni zarówno suma frakcji, jak i poszczególne ich udziały, nie różniły się istotnie, co świadczy o niewielkim wpływie komunikacji na te tereny (rys. 1).

Proporcje poszczególnych frakcji cynku w badanych glebach wskazują na wyraźny wpływ motoryzacji na gleby oddalone 10 metrów od jezdni. Świadczy o tym duży udział w zawartości ogólnej frakcji cynku wymiennego (F2) – 5,8%, rozpuszczalnego w wodzie (F1) – 0,5% i związanego z węglanami (F3) – 18,8% (rys. 2).



Rys. 2. Procentowa zawartość frakcji cynku w badanych glebach w zależności od odległości od drogi

Fig. 2. Percentage content of zinc fractions in the studied soils with regard to distance from speedway

Podobnie jak udział form ołowiu również udział form cynku w zawartości ogólnej w glebach oddalonych 50 i 100 m od drogi nie różnił się znacząco i był typowy dla gleb niezanieczyszczonych.

Analizując zawartość frakcji metali ciężkich w glebach, zwłaszcza tych użytkowanych rolniczo, ważną jest ocena ich mobilności w glebie, co w znaczącym stopniu wpływa na ich biodostępność. Liczni autorzy [Kabała i Singh 2006; Kalembasa i Pakuła 2006] ilość mobilnych metali w glebach oceniają na podstawie wskaźnika mobilności ($F1+F2+F3$), uznając tę ilość metali za łatwo dostępną dla roślin. W przeprowadzonych badaniach wskaźnik mobilności ołowiu największą wartość, śr. 22,1%, przyjmuje w glebach oddległych 10 metrów od krawędzi jezdni, co świadczy o dużej bioprzyswajalności ołowiu. Podobne wyniki uzyskała Gworek i in. [2004] analizując gleby słabo i średnio zanieczyszczone ołowiem w rejonie Legnicy. W analizowanych glebach w mniejszym stopniu narażonych na wpływ zanieczyszczeń komunikacyjnych (50 i 100 m od trasy szybkiego ruchu) wskaźnik mobilności jest znacznie mniejszy i wynosi odpowiednio 12,4% i 12,6%. Są to wartości typowe dla gleb niezanieczyszczonych. Niesiobędzka [2001] analizując frakcje ołowiu w glebach o naturalnej zawartości ołowiu stwierdziła zbliżoną wartość wskaźnika mobilności, wynoszącą ok. 10%. Szereg procentowego udziału frakcji ołowiu w analizowanych glebach przedstawia się następująco:

- 1) 10m od drogi: $F6(39,9) > F4(23,8) > F3(19,3) > F5(14,2) > F2(2,4) > F1(0,4)$,
- 2) 25m od drogi: $F6(46,1) > F4(22,7) > F5(15,9) > F3(13,0) > F2(2,0) > F1(0,3)$,
- 3) 50m od drogi: $F6(62,1) > F4(14,3) > F5(11,2) > F3(10,2) > F2(2,1) > F1(0,1)$,
- 4) 100m od drogi: $F6(63,7) > F4(13,2) > F5(10,5) > F3(10,4) > F2(2,1) > F1(0,1)$.

Biodostępność cynku w badanych glebach oceniana na podstawie udziału frakcji mobilnych w glebach kształtowała się w szerokim zakresie. Wskaźnik mobilności był największy w glebach położonych 10 metrów od drogi i wynosił średnio 25,1%. Jeszcze większe wartości tego wskaźnika dla cynku, sięgające 34%, odnotowali Dąbkowska-Naskręt i Bartkowiak [2000] w glebach użytkowanych rolniczo w pobliżu dróg. Wraz z oddalaniem się od trasy szybkiego ruchu Warszawa-Poznań wskaźnik mobilności cynku zmniejszał się, osiągając wartości 13,6% w odległości 50 m i 14,1% w odległości 100 metrów od drogi. Kalem-basa i Pakuła [2006] w płowych glebach leśnych Podlasia odnotowali wskaźnik mobilności 13,7%, a Małuszyński [2003] w niezanieczyszczonych glebach Polski północnej – 11,8%. Procentowy udział analizowanych form cynku w omawianych glebach jest następujący:

- 1) 10m od drogi: F6(42,9)>F4(18,9)>F3(18,8)>F5(13,1)>F2(5,8)>F1(0,5),
- 2) 25m od drogi: F6(52,6)>F4(17,2)>F3(14,2)>F5(12,9)>F2(2,8)>F1(0,3),
- 3) 50m od drogi: F6(62,1)>F4(12,6)>F5(11,7)>F3(11,5)>F2(1,9)>F1(0,2),
- 4) 100m od drogi: F6(62,0)>F4(12,2)>F5(11,7)>F3(11,2)>F2(2,6)>F1(0,3).

Nagromadzenie ołowiu w badanych roślinach pszenicy było zróżnicowane zarówno w zależności od odległości od drogi, jak i pomiędzy analizowanymi organami. Wraz ze wzrostem odległości od trasy komunikacyjnej ilość ołowiu zmniejszała się w liściach i ziarniakach pszenicy. Zarówno w elementach kłosa (plewy, plewki i dokłosie), jak i w źdźbłach analizowanych roślin, rosnących w odległości 100 m od drogi, nastąpiło wyraźne zwiększenie zawartości tego mikroelementu (tab. 3).

Tabela 3. Zawartość ogólna (zakresy, średnia i odchylenie standardowe – SD) ołowiu i cynku w organach pszenicy w zależności od odległości od drogi w mg·kg⁻¹s.m.

Table 3. Total lead and zinc content (ranges, mean and standard deviation – SD) in vegetative organs of wheat in mg·kg⁻¹d.w. with regard to distance from speedway

Zawartość ogólna			Odległość od drogi, m			
			10	25	50	100
Pb	Liście	zakres	1,42–1,98	1,20–1,86	1,07–1,42	1,06–1,52
		średnia	1,81	1,42	1,28	1,31
		SD	0,215	0,176	0,143	0,197
	Żdźbło	zakres	0,57–0,84	0,55–0,83	0,42–0,59	0,46–0,68
		średnia	0,75	0,81	0,50	0,63
		SD	0,102	0,104	0,053	0,062
	Ziarno	zakres	0,45–0,65	0,29–0,46	0,17–0,29	0,18–0,32
		średnia	0,58	0,41	0,25	0,26
		SD	0,063	0,054	0,025	0,031
	Elementy kłosa	zakres	1,14–1,35	0,92–1,12	0,37–0,59	0,52–0,70
		średnia	1,21	1,07	0,52	0,67
		SD	0,145	0,112	0,068	0,049

od. tabeli na stronie 504

cd. tabeli ze strony 503

Zn	liście	zakres	14,52–24,12	14,47–20,24	12,23–17,73	13,89–17,23
		średnia	18,51	16,92	14,53	15,24
		SD	2,689	2,458	1,763	1,345
	źdźbło	zakres	14,28–18,23	14,21–18,52	14,12–18,32	13,42–17,48
		średnia	16,42	16,24	16,92	14,58
		SD	1,753	1,873	1,986	1,324
	ziarno	zakres	30,21–38,85	30,68–37,52	24,28–27,21	25,63–30,11
		średnia	34,75	34,12	26,91	28,32
		SD	3,521	3,498	2,254	2,249
	elementy kłosa	zakres	24,24–29,86	21,01–24,21	17,34–21,86	18,34–24,16
		średnia	26,92	22,12	19,91	21,97
		SD	2,873	2,298	1,997	2,653

We wszystkich analizowanych organach największą kumulację ołowiu stwierdzono w roślinach rosnących w najbliższym sąsiedztwie drogi. W ziarnie pszenicy, rosnącej w odległości do 25 m od trasy komunikacyjnej, odnotowano szkodliwe z punktu widzenia toksykologicznego zawartości ołowiu od $0,58 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ do $0,41 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ Tak duża koncentracja ołowiu ogranicza wartość konsumpcyjną badanych roślin, ponieważ przekracza ilości dopuszczalne podane w rozporządzeniu Ministerstwa Zdrowia [2003] – $< 0,20 \text{ mgPb}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$

W ziarniakach roślin rosnących w dalszej odległości od drogi zawartość ołowiu była znacznie mniejsza, ok. $0,25 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ i już tylko nieznacznie przekraczała zawartości naturalne.

Jeszcze większe zawartości ołowiu, przekraczające $1,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$, odnotowali Buczek i Jasiewicz [2000] w ziarnie pszenicy rosnącej w odległości do 100 m od trasy szybkiego ruchu E4, Tarnów–Rzeszów–Przemysł.

Cynk jest pierwiastkiem niezbędnym do prawidłowego rozwoju roślin. Przeciętna zawartość cynku w ziarnie pszenicy z terenów nieobjętych wpływem zanieczyszczeń, jak podają Kabata-Pendias i Pendias [1999] kształtuje się w zakresie $23\text{--}38 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ Określone więc w badaniach zakresy zawartości cynku w ziarniakach pszenicy mieszczą się w przedziałach wartości najczęściej stwierdzanych w ziarnie zbóż w Polsce. Niemniej największą ilość cynku – zarówno w liściach, jak i ziarniakach – stwierdzono w roślinach rosnących w odległości do 25 m od drogi (tab. 3).

Analiza statystyczna wykazała istotną korelację między zawartością Pb i Zn w glebach a ich bioakumulacją w liściach i ziarnie pszenicy. Jeszcze większe wartości współczynnika korelacji odnotowano między wskaźnikami mobilności tych metali w glebach a ich nagromadzeniem w ziarnach i liściach (tab. 4).

Tabela 4. Współczynniki korelacji między zawartością ogólną metali w glebach, wskaźnikiem mobilności a ich bioakumulacją w organach pszenicy

Table 4. Coefficients of correlation between the total content of trace elements, mobility index in soils and bioaccumulation in organs of wheat

Zawartość i wskaźnik mobilności	Liście	Żdźbła	Ziarno	Elementy kłosa
Pb zawartość ogólna	0,6649*	0,3021	0,5994*	0,3072
Pb wskaźnik mobilności	0,6831*	0,4017	0,6341*	0,3045
Zn zawartość ogólna	0,6928*	0,2431	0,6773*	0,3311
Zn wskaźnik mobilności	0,7162*	0,4034	0,6935*	0,3012

Objaśnienie: *p = 0,01.

Wysokie korelacje pomiędzy wskaźnikiem mobilności metali w glebach a pobraniem przez rośliny wskazują na możliwości przewidywania gromadzenia tych mikroelementów w roślinach na podstawie oceny ilości frakcji mobilnych w glebach. Jednak jest to tylko ocena jakościowa, wskazująca na możliwość pobrania, ponieważ każda zmiana właściwości gleby, np. pH, zawartości węgla organicznego czy wielkości pojemności sorpcyjnej, powoduje zmiany form metali w glebie, co ostatecznie prowadzi do ograniczenia lub zwiększenia pobrania przez rośliny. Podobne wnioski przedstawiają inni badacze. Chłopecka [1993] stwierdza, że ta prawidłowość dotyczy głównie kadmu i cynku, a w znacznie mniejszym stopniu miedzi i ołowiu. Tack i Verloo [1995] wskazują na istniejące korelacje pomiędzy ilością form mobilnych metali w glebach a ich pobraniem przez rośliny, jednak oszacowanie pobrania na tej podstawie jest bardzo trudne bądź wręcz niemożliwe.

4. WNIOSKI

1. Wpływ trasy szybkiego ruchu Warszawa-Poznań na zawartość ołowiu i cynku w glebach i w pszenicy stwierdzono w pasie do 50 metrów od drogi.
2. Wskaźniki mobilności zarówno ołowiu, jak i cynku, wykazywały największe wartość w glebach położonych najbliżej drogi, co w istotny sposób zwiększało ich pobieranie przez pszenicę.
3. Zawartość ołowiu ograniczającą przydatność konsumpcyjną pszenicy stwierdzono w roślinach rosnących w sąsiedztwie trasy komunikacyjnej (do 25 m).

PIŚMIENICTWO I AKTY PRAWNE

BUCZEK J., JASIEWICZ C. 2000. Występowanie ołowiu, kadmu i cynku w zbożach uprawianych w sąsiedztwie drogi E4 Tarnów-Rzeszów-Przemyśl. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 471: 865–872.

- CURZYDŁO J. 1995. Skażenia motoryzacyjne wzdłuż dróg i autostrad oraz sposoby przeciwdziałania ujemnym skutkom motoryzacji w środowisku. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., z. 418: 265–269.
- CHŁOPECKA A. 1993. Forms of trace metals from inorganic sources in soils and amounts found in spring barley. *Water Air and Soil Pollut.* 69: 127–134.
- DĄBKOWSKA-NASKRĘT H., BARTKOWIAK A. 2000. Analiza specjacyjna cynku w glebach użytkowanych rolniczo w pobliżu dróg. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., z. 471: 229–235.
- DUDKA S., CHŁOPECKA A. 1990. Effect of solid-phase speciation on metal mobility and phytoavailability in sludge-amended soil. *Water Air and Soil Pollut.* 51: 153–160.
- DĘBSKA-KALINOWSKA Z., LEWICKA E., KWASOWSKI W. 1999. Zawartość metali ciężkich w glebie i w roślinach łąkowych rosnących w różnej odległości od arterii komunikacyjnych. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* nr 18: 357–363.
- GE Y., MURRAY P., HENDERSHOT W.H. 2000. Trace metal speciation and bioavailability in urban soils. *Environmental Pollut.* 107: 137–144.
- GWOREK B., KWASOWSKI W. 2001. Wpływ motoryzacji na środowisko. Obieg pierwiastków w przyrodzie. Instytut Ochrony Środowiska Monografia T. 1: 39–48.
- GWOREK B., KWAPISZ J., JESKE K. 2004. Przydatność metody ekstrakcji sekwencyjnej do oceny efektywności fitoremediacji gleb zanieczyszczonych miedzią i ołowiem *Rocz. Glebozn. LV(1)*: 135–143.
- KABAŁA C., SINHG B.R. 2006. Distribution and Forms of Cadmium in Soils Near a Copper Smelter. *Polish J. Environ. Stud. Vol. 15, No. 2a*: 90–97.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1999: *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN, Warszawa: 398.
- KALEMBASA D., PAKUŁA K. 2006. Fractions of Zinc and Copper in the Forest Luvisols of South Podlasie Lowland. *Polish J. Environ. Stud. Vol 15, No. 2a*, 98–103.
- KLIMOWICZ Z., MELKE J. 2000: Zawartość metali ciężkich w glebach w sąsiedztwie szlaków komunikacyjnych na przykładzie wybranych tras. *Roczniki Gleboznawcze T. LI, nr ¼*, 37–46.
- MAŁUSZYŃSKI M.J. 2003. Zinc distribution and mobility in contaminated and uncontaminated sites in Poland. *Obieg pierwiastków w przyrodzie. IOŚ Monografia T. 2*, 145–149.
- NIESIOBĘDZKA K. 2001. Specjacja metali ciężkich w aspekcie właściwości gleb. *Obieg pierwiastków w przyrodzie. IOŚ Monografia T. 1*, 55–61.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 stycznia 2003 r. w sprawie maksymalnych poziomów zanieczyszczeń chemicznych i biologicznych, które mogą znajdować się w żywności, składnikach żywnościowych, substancjach powstających w przetwarzaniu lub na powierzchni żywności (Dz.U. nr 37, poz. 326).**
- SALBU B., KREKLING T., OUGHTON D.H. 1998: Characterization of radioactive particles in environment. *Analyst* 123: 843–849.

- TACK F.M., VERLOO M.G. 1995. Chemical speciation and fractionation in soil and sediment heavy metal analysis: a review. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 59: 225–238.
- TESSIER A., CAMBELL P.G.C., BISSON M. 1979: Sequential extraction procedure for the speciation of particular trace metals. *Anal. Chem.* 51: 844–850.
- VIARD B., PIHAN F., PROMEYRAT S., and PIHAN J.C. 2004. Integrated assesement of heavy metal (Pb, Zn, Cd) highway pollution: bioaccumulation in soil, Graminaceae and land snails. *Chemosphera* 55: 1349–1359.