

## Zróźnicowanie zawartości metali ciężkich w glebach przy drogach wylotowych z Warszawy

Izabela Bojakowska<sup>1</sup>, Janusz Duszyński<sup>1</sup>, Irena Jaroń<sup>1</sup>, Jarosław Kucharzyk<sup>1</sup>, Dariusz Lech<sup>1</sup>, Anna Maksymowicz<sup>1</sup>



I. Bojakowska



J. Duszyński



I. Jaroń



J. Kucharzyk



D. Lech



A. Maksymowicz

**Variability in concentrations of heavy metals in soils near outlet roads in Warsaw.** *Prz. Geol.*, 57: 1073–1077.

*Abstract.* The contents of Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, S, V and Zn in soil samples collected at 15 outlet roads from Warsaw were determined by ICP-OES. Samples were collected at distance of 1, 5 and 10 m from the edge of surface of the roadway, with from a depth of 0–20 cm to 40–60 cm. The highest reported concentrations of heavy metals were found in soils near roads leading to Góra Kalwaria, Katowice and Poznań, and the lowest — near those leading to Gdańsk, Radzymin and Mińsk Mazowiecki. The investigated soils were characterized by contents of copper, zinc and lead, and, to a lesser extent, nickel and chromium increased in relation to the geochemical background. In most of the examined soil cross-sections the decrease in contents of heavy metals along with increasing distance from the road edge was noted. In some locations, accumulation of metals in soils appear to be strongly influenced by local terrain micro-morphology, conditioning the lines of rainwater runoff from the road.

**Keywords:** heavy metals, soils, pollution, transport

Transport samochodowy i utrzymanie dróg są istotnymi źródłami zanieczyszczenia środowiska przyrodniczego. Szkodliwe związki organiczne i nieorganiczne pochodzą m.in. z emisji gazów z silników spalinowych, ze ścierania opon, okładzin tarcz hamulcowych, z korozji ocynkowanych barier ochronnych, oraz stosowania soli do odśnieżania dróg (Bojakowska, 1994; Sokołowski, 1995). Do najważniejszych zanieczyszczeń związanych z ruchem samochodowym należą emisje: tlenków węgla, węglowodorów aromatycznych (benzenu, WWA), aldehydów, tlenków azotu i siarki, a także takich metali jak ołów (składnik benzyny etylizowanej powszechnie używanej przez kilkadziesiąt lat), cynk (pochodzący ze ścierania opon, korozji barier ochronnych i stosowany jako dodatek do olejów silnikowych), kadm i chrom, a w ostatnich latach platyna, pallad (stosowane do utleniania tlenku węgla i węglowodorów) oraz rod (stosowany do redukcji tlenków azotu) (Bojakowska, 1994; Krein, Schorer, 2000; Merkisz & Kozak, 2002; Bojanowska, 2005; Legret & Pagotto, 2006). W wyniku emisji ze środków transportu zawartość miedzi, niklu i ołowiu w pyłach ulicznych może osiągać kilkaset mg/kg, a cynku przekraczać nawet 1000 mg/kg (Nageotte & Day, 1998; Zhao i in., 2009).

Zanieczyszczenia mogą być transportowane do środowiska na różne sposoby (rozprzestrzeniane przez wiatr, odprowadzane ze spływem powierzchniowym do rowów

odwadniających i rzek). W powierzchniowej warstwie gleb pierwiastki i związki chemiczne są zatrzymywane na skutek mechanizmów fizycznych (osadzanie i filtracja zawiesin) lub w następstwie czynników fizykochemicznych (adsorpcja i chelatowanie) (Legret & Pagotto, 2006; Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). Odległość, na jaką rozprzestrzeniają się zanieczyszczenia zależy od czynników topograficznych i meteorologicznych (Legret & Pagotto, 2006; Warren & Birch, 1987). Największe zawartości zanieczyszczeń, związane z pyłami, zazwyczaj stwierdza się w najmniejszej odległości od krawędzi jezdni (do 10–50 m).

### Zakres i metodyka badań

Warszawa jest olbrzymim miastem pod względem liczby ludności (1707 981 zameldowanych mieszkańców w czerwcu 2008 r. i około 500–700 tys. osób niezameldowanych), a także miejscem pracy wielu osób spoza Warszawy, z czym związane jest przemieszczanie się transportem samochodowym ludności w obrębie aglomeracji. Z tego względu ruch samochodowy w istotny sposób wpływa na zanieczyszczenie gleb, chociaż niezanieczyszczone gleby Warszawy charakteryzują się niskimi zawartościami pierwiastków śladowych, ponieważ ich skałami macierzystymi są utwory czwartorzędowe. Gleby lewo-brzeżnej części miasta rozwinęły się na plejstocenijskich glinach zwałowych, piaskach fluwioglacjalnych i rzecznych, w prawobrzeżnej części miasta w podłożu gleb przeważają piaski rzeczne, zaś w południowych rejonach, na terenach przyległych do Wisły podłożem są mady i namuły torfiaste tarasu zalewowego (Pasiczna, 2003).

<sup>1</sup>Centralne Laboratorium Chemiczne, Państwowy Instytut Geologiczny — Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa

Do badań pobrano próbki gleb z 15 miejsc, zlokalizowanych przy głównych wylotowych drogach komunikacyjnych z Warszawy (ryc. 1):

- przy ul. Pryczółkowej (kierunek Góra Kalwaria — droga 724),
- przy ul. Puławskiej (kierunek Piaseczno — droga E79),
- w Jankach (ul. Mszczonowska),
- w Jankach (kierunek Kraków — droga E77)
- w Jankach (kierunek Katowice — droga E67),
- przy al. Jerozolimskich (kierunek Pruszków — droga 719),
- przy ul. Połczyńskiej (kierunek Poznań — droga E30),
- przy ul. Górczewskiej (kierunek Leszno — droga 580),
- w Mościskach (kierunek Izabelin — droga 898),
- przy ul. Pułkowej (kierunek Gdańsk — droga E77),
- przy ul. Modlińskiej (kierunek Serock — droga E61),
- w Markach (kierunek Radzymin — droga E67),
- w Słupnie (kierunek Radzymin — droga E67),
- w Zielonce (kierunek Nieporęt — droga 631),
- w Zakręcie na terenie Mazowieckiego Parku Krajobrazowego (kierunek Mińsk Mazowiecki — droga E30).

Próbki gleby pobrano w odległości 1, 5 i 10 m od krawędzi jezdni, z głębokości: 0–20 cm i 40–60 cm. We wszystkich przypadkach oznaczono zawartość: Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, S, V i Zn, we frakcji ziarnowej <1 mm. Oznaczenia wykonano metodą ICP-OES. Próbki roztworzono w wodzie królewskiej w proporcji: 1 g próbki, 8 ml wody królewskiej (6 ml HCl + 2 ml HNO<sub>3</sub>) do 50 ml roztworu końcowego.



**Ryc. 1.** Lokalizacja miejsc opróbowania: 1 — ul. Pryczółkowa; 2 — ul. Puławska; 3 — Janki A (ul. Mszczonowska); 4 — Janki B (kierunek Kraków); 5 — Janki C (kierunek Katowice); 6 — al. Jerozolimskie; 7 — ul. Połczyńska; 8 — ul. Górczewska; 9 — Mościska; 10 — ul. Pułkowa; 11 — ul. Modlińska; 12 — Marki; 13 — Słupno; 14 — Zielonka; 15 — Zakręt

**Fig. 1.** Location of sample points. 1 — Pryczółkowa Street; 2 — Puławska Street; 3 — Janki A 4 — Janki B, in direction of Kraków; 5 — Janki C, in direction of Katowice; 6 — Jerozolimskie Avenue; 7 — Połczyńska Street; 8 — Górczewska Street; 9 — Mościska Street; 10 — Pułkowa Street; 11 — Modlińska Street; 12 — Marki; 13 — Słupno; 14 — Zielonka; 15 — Zakręt

## Wyniki badań

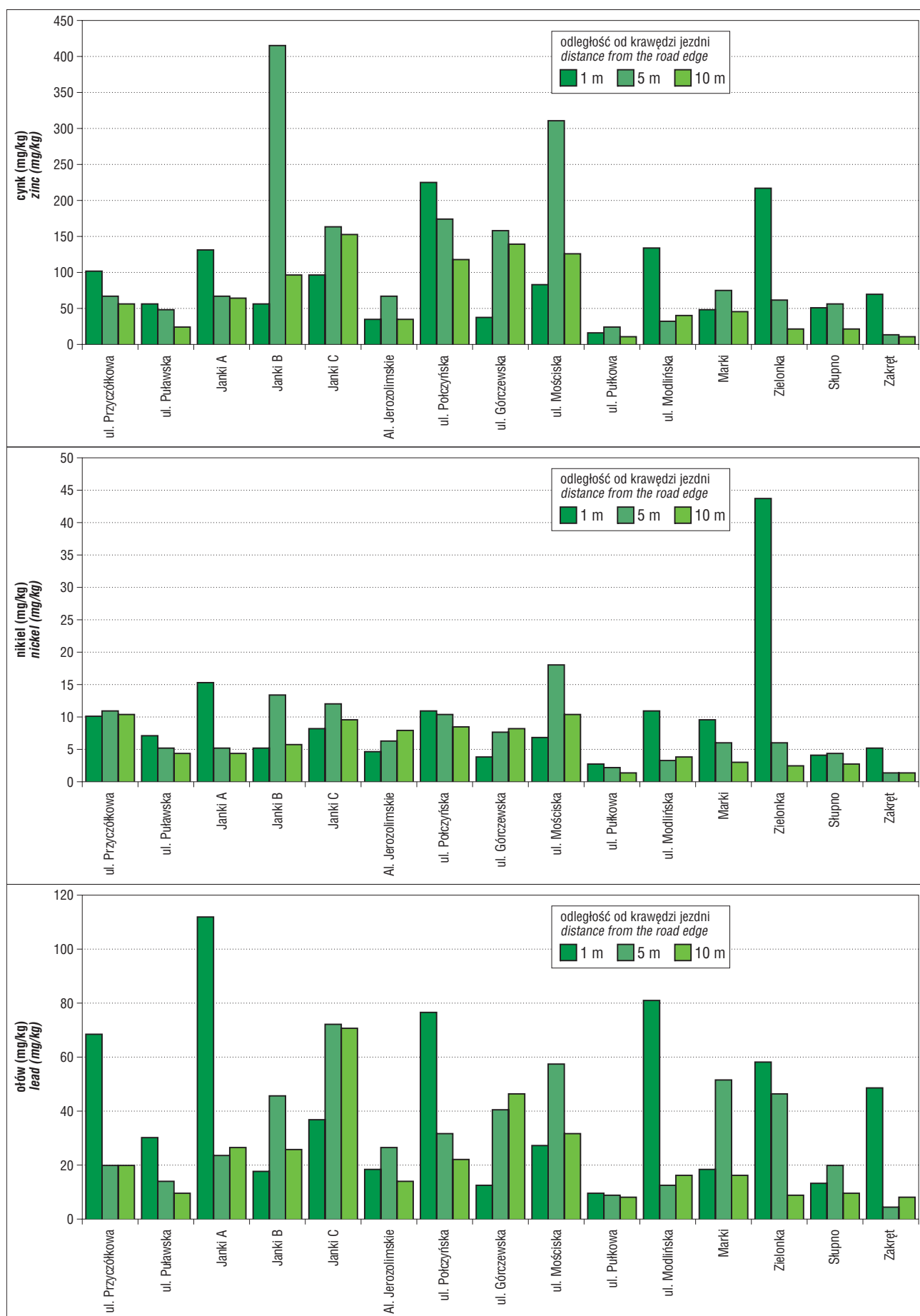
W badanych próbkach gleb stwierdzono zawartość kobaltu w zakresie <1–6 mg/kg (tab. 1). Średnia, średnia geometryczna i mediana Co były identyczne dla gleb z obu poziomów głębokości i odpowiadały średniej zawartości kobaltu w glebach Polski wynoszącej 2 mg/kg oraz średniej zawartości Co w glebach zabudowanych terenów Warszawy (Lis 1992; Lis & Pasieczna 1995).

Koncentracja chromu wynosiła 2–168 mg/kg w powierzchniowej warstwie gleb, zaś w próbkach z głębokości 40–60 cm — 2–24 mg/kg. Średnia, średnia geometryczna i mediana były nieznacznie wyższe dla powierzchniowej warstwy gleb. Średnia zawartość chromu w badanych glebach była wyższa od przeciętnej zawartości Cr w glebach Polski wynoszącej 4 mg/kg i tła geochemicznego dla gleb z obszaru Niżu Polskiego — 3 mg/kg (Lis & Pasieczna 1995; Pasieczna 2003). Współczynnik wzbogacenia (średnia geometryczna zawartość/wartość tła geochemicznego) wynoszą odpowiednio 2,7 i 2,0 dla obu badanych warstw glebowych. Największą zawartość Cr odnotowano w próbce gleby powierzchniowej pobranej przy trasie 631 w Zielonce w odległości 1 m od krawędzi jezdni. Najmniejszymi zawartościami Cr (<10 mg/kg), charakteryzowały się gleby przy drogach E67 (Słupno), E30 (Zakręt — Mazowiecki Park Krajobrazowy), E79 (ulica Puławska) i E77 (ulica Pułkowa). Zwiększone zawartości chromu stwierdzono przy drodze E67 (Janki, kierunek Katowice), 898 (Mościska) i E30 (ulica Połczyńska).

Zawartość miedzi w glebach z głębokości 0–20 cm wynosiła 2–142 mg/kg, a na głębokości 40–60 cm — 1–46 mg/kg (tab. 1). Średnia, średnia geometryczna i mediana dla próbek z powierzchniowej warstwy gleb były około dwukrotnie wyższe niż dla próbek z głębokości 40–60 cm. Zawartość miedzi w głębszych warstwach gleb była zbliżona do jej przeciętnej zawartości w glebach Polski, ale wyższa od wartości tła geochemicznego dla gleb Niżu Polskiego, wynoszącej 3 mg/kg (Pasieczna, 2003). Średnia zawartość Cu w glebach z głębokości 0–20 cm była znacząco wyższa od wartości jej tła geochemicznego. Średnia geometryczna zawartość Cu w glebach Warszawy wynosi 6 mg/kg (Lis, 1992). Jednakże była zbliżona do średniej zawartości miedzi w glebach zabudowanych terenów Warszawy — 17 mg/kg (Lis, 1992). Współczynniki wzbogacenia dla obu badanych warstw glebowych wynoszą odpowiednio 4,3 i 2,3. Najwyższe zawartości miedzi stwierdzono w glebach przy drodze E67 (Janki, kierunek Katowice), 898 (Mościska) i E30 (ulica Połczyńska), zaś najmniejsze przy E77 (ulica Pułkowa) i 719 (al. Jerozolimskie).

Kadm w zbadanych glebach występował w bardzo małych stężeniach i tylko sporadycznie odnotowywano zawartości powyżej granicy oznaczalności (0,5 mg/kg). Podwyższone zawartości kadmu wykryto w próbkach gleb pobranych przy drodze E30 w kierunku Poznania (ulica Połczyńska). Tło geochemiczne dla gleb Niżu Polskiego wynosi <0,5 mg/kg (Pasieczna, 2003).

Nikiel jest obecny w dość szerokim zakresie zawartości, w powierzchniowej warstwie gleb — od 1 do 44 mg/kg, a w próbkach z głębokości 40–60 cm w zakresie 1–16 mg/kg. Średnia, średnia geometryczna i mediana dla próbek z głębszego poziomu glebowego były nieznacznie niższe od tych wyznaczonych dla próbek z powierzchniowej warstwy gleby. W większości zbadanych próbek



Ryc. 2. Zmienność zawartości metali ciężkich w glebach  
 Fig. 2. Heavy metal variability in soils

**Tab. 1. Parametry statystyczne pierwiastków (mg/kg)**  
Table 1. Statistic parameters of elements (mg/kg)

Pierwiastek <i>Element</i>	Średnia <i>Mean value</i>	Średnia geometryczna <i>Geometric mean</i>	Mediana <i>Median value</i>	Minimum <i>Minimum</i>	Maksimum <i>Maximum</i>
głębokość, <i>depth</i> 0–20 cm					
Kobalt, <i>Cobalt</i>	2	2	2	<1	6
Chrom, <i>Chromium</i>	13	8	8	2	168
Miedź, <i>Copper</i>	21	13	13	2	142
Mangan, <i>Manganese</i>	205	159	160	17	1370
Nikiel, <i>Nickel</i>	8	6	6	1	44
Ołów, <i>Lead</i>	32	24	24	5	112
Siarka, <i>Sulfur</i>	0,015	0,012	0,014	0,003	0,047
Wanad, <i>Vanadium</i>	11	10	11	3	30
Cynk, <i>Zinc</i>	90	64	63	10	414
głębokość, <i>depth</i> 40–60 cm					
Kobalt, <i>Cobalt</i>	2	2	2	1	5
Chrom, <i>Chromium</i>	8	6	7	2	24
Miedź, <i>Copper</i>	10	7	7	1	46
Mangan, <i>Manganese</i>	150	122	136	14	372
Nikiel, <i>Nickel</i>	5	4	5	1	16
Ołów, <i>Lead</i>	17	11	12	2	95
Siarka, <i>Sulfur</i>	0,010	0,007	0,008	0,003	0,035
Wanad, <i>Vanadium</i>	10	8	10	2	29
Cynk, <i>Zinc</i>	56	31	33	4	458

zawartość Ni wynosiła poniżej 10 mg/kg. Jest to poziom niewiele wyższy od średniej zawartości Ni w glebach Polski wynoszącej 4 mg/kg i tła geochemicznego Ni dla gleb Niżu Polskiego, jak również gleb Warszawy (Lis, 1992; Lis & Pasieczna, 1995; Pasieczna 2003;). Współczynniki wzbogacenia dla obu poziomów glebowych w sąsiedztwie tras wylotowych wynoszą odpowiednio 2 i 1,3. Podwyższone zawartości odnotowano przy drodze 631 w kierunku Nieporętu (Zielonka) i w kierunku Katowic (Janki) oraz przy drodze 898 (Mościska). Zaobserwowano zmniejszenie się stężenia Ni w glebach wraz ze wzrostem odległości od krawędzi asfaltu (ryc. 2).

Ołów w próbkach gleb z poziomu 0–20 cm występuje w przedziale 5–112 mg/kg, a w próbkach z głębokości 40–60 cm w zakresie 2–95 mg/kg. Średnia, średnia geometryczna i mediana dla gleb z warstwy powierzchniowej były dwukrotnie wyższe niż dla gleb z głębszego poziomu. Średnia zawartość ołowiu w glebach Polski oceniona została na 16 mg/kg, a wartość tła geochemicznego dla gleb Niżu Polskiego — 10 mg/kg (Lis, Pasieczna, 1995). Współczynnik wzbogacenia dla zbadanych gleb powierzchniowego poziomu wynosi 2,0. Najwyższe zawartości ołowiu odnotowano w glebach pobranych przy drogach w Jankach (ul. Mszczonowska oraz E67 w kierunku Katowic), E30 w kierunku Poznania (ulica Połczyńska) i E61 (ulica Modlińska), zaś najniższe przy drogach E77 (ul. Pułkowa) i 719 (al. Jerozolimskie). Podobnie jak w przypadku Ni, widoczne jest obniżenie koncentracji Pb w glebach wraz ze wzrostem odległości od skraju jezdni (ryc. 2).

Wanad w glebach obu poziomów występuje w bardzo zbliżonych zakresach zawartości wynoszących 3–30 mg/kg (0–20 cm) i 2–29 mg/kg (40–60 cm). Średnia, śred-

nia geometryczna i mediana są nieznacznie wyższe dla gleb z powierzchniowej warstwy i są one także wyższe od średniej zawartości wanadu w glebach Polski wynoszącej 6 mg/kg. Podwyższone zawartości wanadu występują w glebach przy drodze E30 w kierunku Poznania (ulica Połczyńska), E67 w kierunku Nieporętu (Zielonka) i 724 (ulica Przyczółkowa).

Cynk w glebach z głębokości 0–20 cm występuje w zakresie od 10 do 414 mg/kg, a w próbkach z głębokości 40–60 cm od 4 do 458 mg/kg. Średnia, średnia geometryczna i mediana dla próbek gleb z górnego poziomu glebowego były znacząco wyższe w porównaniu do wartości tych parametrów dla próbek z niższego poziomu glebowego. Średnia zawartość Zn w glebach Polski wynosi 40 mg/kg, a wartość tła geochemicznego dla Niżu Polskiego — 25 mg/kg. (Lis, Pasieczna, 1995). Średnia geometryczna zawartość cynku w powierzchniowej warstwie gleb — 64 mg/kg jest wyższa od średniej zawartości tego pierwiastka w glebach Warszawy — 36 mg/kg, ale niższa od średniej zawartości Zn w glebach zabudowanej części miasta — 102 mg/kg (Lis, 1992). Podwyższone zawartości cynku stwierdzono w glebach pobranych przy drogach E77 w kierunku Krakowa (Janki), E30 w kierunku Poznania (ulica Połczyńska) i 898 (Mościska).

Zelazo obecne było w przedziale 0,12–1,59% w próbkach gleb pobranych z głębokości 0–20 cm i w zakresie 0,11–2,04% w próbkach gleb pobranych z poziomu 40–60 cm. Średnia, średnia geometryczna i mediana były nieznacznie wyższe dla powierzchniowych warstw gleby w porównaniu do wartości tych parametrów wyznaczonych dla próbek pobranych z większej głębokości.

**Tab. 2. Analiza czynnikowa**  
Table 2. Factor analysis

Głębokość, depth 0–20		
	Czynnik 1 <i>Factor 1</i>	Czynnik 2 <i>Factor 2</i>
Co	0,739038	0,561230
Cr	0,934966	0,076076
Cu	0,048182	0,881367
Mn	0,981021	0,052421
Ni	0,872149	0,430182
Pb	0,204525	0,818262
V	0,803541	0,466257
Zn	0,356767	0,828625
Wartości wyjściowe <i>Entrance data</i>	3,960498	2,858949
Udział, <i>Share</i>	0,495062	0,357369
Głębokość, depth 40–60		
	Czynnik 1 <i>Factor 1</i>	Czynnik 2 <i>Factor 2</i>
Co	0,925965	0,307453
Cr	0,885999	0,293459
Cu	0,301927	0,888193
Mn	0,736908	0,266699
Ni	0,873118	0,325408
Pb	0,213353	0,953970
V	0,928668	0,257768
Zn	0,370365	0,688432
Wartości wyjściowe <i>Entrance data</i>	4,084050	2,596993
Udział, <i>Share</i>	0,510506	0,324624

Mangan w próbkach gleb pobranych z powierzchniowej warstwy stwierdzono w zakresie od 17 do 1370 mg/kg, a w próbkach pobranych z głębokości 40–60 cm — w przedziale 14–372 mg/kg. Podobnie jak w przypadku żelaza obliczone parametry statystyczne były niższe dla próbek pobranych z większej głębokości.

Zawartości siarki odnotowano w przedziale 0,003–0,047% w próbkach pobranych z głębokości 0–20 cm i w zakresie 0,003–0,035% w próbkach z poziomu głębokości 40–60 cm. Wartości wyznaczonych parametrów dla próbek gleb pobranych z warstwy powierzchniowej były wyższe od tych wyznaczonych dla próbek pobranych z niższego poziomu glebowego.

Uzyskane wyniki poddane analizie czynnikowej wykazały obecność dwóch czynników w obu poziomach glebowych (tab. 2). Jednego — grupującego występowanie w glebach kobaltu, chromu, niklu i manganu oraz drugiego łączącego miedź, cynk i ołów. Pierwszy czynnik ma charakter litologiczny i związany jest z występowaniem w glebach składników mineralnych zawierających te pierwiastki (Co, Cr Ni, Mn) — krzemianów, glinokrzemianów pierwotnych i wtórnych, jak również wtórnych minerałów żelaza (np. getytu, piryty). Drugi czynnik ma charakter antropogeniczny i spowodowany jest emisją zanieczyszczeń przez transport samochodowy oraz wprowadzaniem do środowiska zanieczyszczeń poprzez działalność związaną z utrzymaniem dróg.

## Podsumowanie

Uzyskane wyniki potwierdziły znaczący wpływ transportu samochodowego na podwyższenie zawartości metali ciężkich w glebach przy większości zbadanych tras. Stwierdzono znaczące zróżnicowanie w akumulacji metali ciężkich w glebach przy poszczególnych trasach. Najwyższe wzbogacenie gleb w metale odnotowano przy drogach: 724, w kierunku Góry Kalwarii (ulica Przyczółkowa), E67 w kierunku Katowic (Janki) i E30 w kierunku Poznania (ulica Połczyńska). Najslabiej transport samochodowy wpływa na jakość gleb przy drogach: E79 (ulica Puławska), E77 w kierunku Gdańska (ulica Pułkowa), E67 w kierunku Radzymińska (Marki) i E30 w kierunku Mińska Mazowieckiego (Zakręt — Mazowiecki Park Krajobrazowy).

Transport samochodowy powoduje przede wszystkim wzrost w glebach zawartości miedzi, cynku i ołowiu, w mniejszym stopniu niklu i chromu. Najslabiej transport wpływa na zawartość kobaltu i wanadu w glebach.

W większości zbadanych lokalizacji stwierdzono zmniejszenie zawartości metali ciężkich w glebach wraz z wzrostem odległości od krawędzi drogi (ryc. 2). Przy niektórych drogach na akumulację metali ciężkich w glebach w dużym stopniu wpływa lokalna mikromorfologia terenu, warunkująca kierunki spływu wód opadowych z jezdni i powstawanie miejsc, gdzie następuje gromadzenie się wody (kałuże) i w konsekwencji gromadzenie zanieczyszczeń w glebie. Analiza czynnikowa wykazała istnienie dwóch czynników wpływających na zawartość metali ciężkich w glebach, jednego o charakterze geogenicznym, związanego z występowaniem w glebach Co, Cr Ni, Mn oraz drugiego — o charakterze antropogenicznym związanego z akumulacją w glebach Cu, Zn i Pb.

## Literatura

- BOJAKOWSKA I. 1994 — Wpływ czynnika antropogenicznego na procesy geochemiczne w powierzchniowych warstwach litosfery. *Instr. Met. Bad. Geol.*, 53: 199.
- BOJANOWSKA M. 2005 — Wpływ antropogenicznej platyny na elementy środowiska. *Acta Agrophys.*, 5: 535–541.
- KABATA-PENDIAS A. & MUKHERJEE A. 2007 — Trace elements from soil to human. Springer, Berlin–Heidelberg–New York.
- KREIN A. & SCHORER M. 2000 — Road runoff pollution by polycyclic aromatic hydrocarbons and its contribution to river sediments. *Wat. Res.*, 34, 16: 4110–5115.
- LEGRET M. & PAGOTTO C. 2006 — Heavy metal deposition and soil pollution along two major rural highways. *Environ. Technol.*, 27: 247–254.
- LIS J. 1992 — Atlas geochemiczny Warszawy i okolic w skali 1:100 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- LIS J. & PASIECZNA A. 1995 — Atlas geochemiczny Polski w skali 1:2500 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MERKISZ J. & KOZAK M. 2002 — Emisja benzenu z pojazdów samochodowych w warunkach ruchu miejskiego oraz możliwość jej ograniczenia. *Journal of KONES International Combustion Engines*, 3–4: 202–213.
- NAGEOTTE S. & DAY J. 1998 — Lead concentrations and isotope ratios in street dust determined by electrothermal; atomic absorption spectrometry and inductively coupled plasma mass spectrometry. *Analyst*, 123: 59–62.
- PASIECZNA A. 2003 — Atlas zanieczyszczeń gleb miejskich w Polsce. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- SOKOŁOWSKI P. 1995 — Wpływ tras komunikacyjnych na chemiczną degradację środowiska przyrodniczego. Wyd. PW, Warszawa.
- WARREN R. & BIRCH P. 1987 — Heavy metal levels in atmospheric particulates, roadside dust and soil along a major urban highway. *Science of the Total Environment*. 56: 253–256.
- ZHAO H., YIN C., CHEN M. & WANG W. 2009 — Risk assessment of heavy metals in street dust particles to a stream network. *Soil Sediment. Contam.*, 18 (2): 173–183.

Praca wpłynęła do redakcji 26.08.2009 r.  
Po recenzji akceptowano do druku 20.10.2009 r.