

Pierwiastki śladowe w pyłach tuneli drogowych na terenie Warszawy

Izabela Bojakowska¹, Janusz Duszyński¹, Irena Jaroń¹, Dorota Karmasz¹,
Jarosław Kucharzyk¹, Anna Maksymowicz¹



I. Bojakowska



J. Duszyński



I. Jaroń



D. Karmasz



J. Kucharzyk



A. Maksymowicz

Trace elements in dust samples from Warsaw road tunnels. *Prz. Geol.*, 57: 1069–1072.

Abstract. The contents of Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, S, V and Zn in road dust samples taken from the inside of seven road tunnels in the area of Warsaw by ICP-OES technique were quantified. These deposits are characterized by high content of copper (ranging from 44 to 387 mg/kg) and contents of chromium (15–36 mg/kg), nickel (9–17 mg/kg), lead (19–37 mg/kg) and zinc (101–258 mg/kg) increased in comparison to those typical of soils in the Polish Lowlands. In turn, the examined dust samples contain cadmium, cobalt and vanadium in concentrations close to the average for soils in this region.

Keywords: pollution, trace elements, dust, road tunnels

Powierzchnia miast jest miejscem depozycji pyłów transportowanych w powietrzu, pochodzących z mniej lub bardziej odległych źródeł. Powstają one z osiadających suchych opadów atmosferycznych, pyłów pochodzących z erozji gleb miejskich, niszczenia budynków i korozji różnorodnych instalacji, emitowanych przez silniki samochodowe i ze ścierania opon, emitowanych przez działające na terenie miasta elektrociepłownię, spalarnie i zakłady przemysłowe, a także pyłów powstających podczas spalania paliw w gospodarstwach domowych w celu ich ogrzania i przygotowania posiłków, jak również z kurzu domowego. Ilość i skład pyłów pochodzących z tych rozmaitych źródeł jest bardzo zróżnicowany. Na przykład ilość pyłów powstających ze ścierania opon oszacowano na 53 tys. t w 1996 r. w Anglii, na 210 tys. t. w Japonii w 2001 r., a w Niemczech na 55 do 657 kg/km/rok dla różnych dróg (Adachi & Tainosho, 2004). W wielu badaniach wykazano zanieczyszczenie metalami ciężkimi pyłów ulicznych. W pyłach tych stwierdzana jest obecność kadmu nawet do kilkudziesięciu mg/kg, miedzi, chromu, niklu i ołowiu do kilkuset mg/kg, a cynku niekiedy powyżej 1000 mg/kg (Ordóñez i in., 2003; Sezgin i in., 2003; Okoro i in., 2007; Shinggu i in., 2007; Christoforidis & Stamatis, 2009; Zhao i in., 2009). Z tego względu pyły te stanowią znaczące źródło zanieczyszczenia środowiska miejskiego i stwarzają istotny problem dla normalnego funkcjonowania ekosystemów terenów zurbanizowanych. Kluczowym metalem w pyłach ulicznych przez kilkadziesiąt lat był ołów, pochodzący ze spalania etyliny (Bojakowska, 1994; Nageotte & Day, 1998; Okoro i in., 2007). Obecnie najważniejszymi zanieczyszczeniami w pyłach ulicznych są miedź, cynk, kadm, chrom i

nikiel pochodzące z korozji samochodów, ścierania opon, wykładzin tarcz hamulcowych, z niszczenia budynków i ich dachów, a w ostatnich latach także platyna i pallad (stosowane do utleniania tlenku węgla i węglowodorów w spalinach samochodowych) oraz rod (stosowany do redukcji tlenków azotu w spalinach) (Krein & Schorer, 2000; Bojanowska, 2005; Legret & Pagotto, 2006). Ważnymi pierwiastkami w pyłach ulicznych są także rtęć i arsen pochodzące ze spalania węgla (Nriagu & Pacyna, 1988; Bojakowska & Sokołowska, 1999; Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007; Bojakowska & Pasieczna, 2009).

Problem zanieczyszczenia pyłów ulicznych jest istotny z dwóch powodów. Pierwszym jest potencjalna możliwość wchłaniania ich drogą oddechową przez mieszkańców miast, drugim zaś, zmywanie pyłów z ulic podczas ulewnych deszczów i przenikanie tych zanieczyszczeń do wód powierzchniowych, co w konsekwencji przyczynia się do zanieczyszczenia osadów, które mogą wówczas negatywnie oddziaływać na organizmy bytujące w tych wodach. Niektóre z pierwiastków śladowych obecne w pyłach ulicznych w niewielkich stężeniach są nieszkodliwe np. miedź i cynk, inne jak kadm, rtęć, arsen i ołów nawet w najniższych stężeniach są toksyczne dla ludzi i mogą być inicjatorem lub promotorem różnych schorzeń.

Zakres i metodyka badań

Do badań pobrano próbki osadów (pyłów drogowych) z siedmiu tuneli znajdujących się na obszarze Warszawy: na terenie Ursusa przy ulicy Cierlickiej, na terenie Włoch z tuneli ulic Globusowej i Dźwigowej, na terenie Śródmieścia z tuneli Trasy WZ i Trasy Łazienkowskiej oraz Wisłostrady, a także na terenie Woli z tunelu Al. Prymasa Tysiąclecia. Lokalizację opróbowanych tuneli przedstawiono na rycinie 1. We frakcji ziarnowej poniżej 1 mm wszystkich pobranych próbek oznaczono zawartość: Cd,

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



Ryc. 1. Lokalizacja opróbowanych tuneli: 1 — ul. Cierlicka, 2 — ul. Globusowa, 3 — ul. Dźwigowa, 4 — Trasa WZ, 5 — Trasa Łazienkowska, 6 — Wisłostrada, 7 — Al. Prymasa Tysiąclecia
Fig. 1. Localization of road tunnels covered by dust sampling programme: 1 — Cierlicka Street, 2 — Globusowa Street, 3 — Dźwigowa Street, 4 — WZ Route, 5 — Łazienkowska Route, 6 — Wisłostrada Route, 7 — Prymasa Tysiąclecia Street

Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, S, V i Zn. Próbkę, w których oznaczenia wykonano metodami ICP-OES, roztworzono w wodzie królewskiej, w proporcji: 1 g próbki, 8 ml wody królewskiej (6 ml HCl + 2 ml HNO₃) do 50 ml roztworu końcowego.

Wyniki badań

W zbadanych pyłach zawartość kobaltu była bardzo niska. We wszystkich próbkach wynosiła ok. 2 mg/kg i była równa średniej zawartości kobaltu w glebach Polski wynoszącej 2 mg/kg (Lis & Pasieczna, 1995). Taką samą średnią zawartością kobaltu charakteryzują się gleby przy trasach wylotowych z Warszawy (Bojakowska i in., 2009). Zawartość kobaltu w pyłach jest uwarunkowana naturalnym stężeniem tego pierwiastka w glebach na danym obszarze i na ogół w pyłach ulicznych odnotowywane są

wyższe zawartości Co, powyżej 5 mg/kg, np. w Aviles w Hiszpani i Kayseri w Turcji (Tokalioglu i in., 2006; Ordóñez i in., 2003).

Chrom odnotowano w przedziale zawartości 15–36 mg/kg. Jego średnia i średnia geometryczna zawartość są bardzo zbliżone i wynoszą odpowiednio 21 i 20 mg/kg. Obliczone średnie są kilkukrotnie większe od przeciętnego stężenia Cr w glebach Warszawy, a także znacząco wyższe od średniej zawartości chromu w glebach Polski — 4 mg/kg i tła geochemicznego dla gleb z obszaru Niżu Polskiego — 3 mg/kg (Lis & Pasieczna, 1995; Pasieczna, 2003). Są one także wyższe od średniej zawartości chromu w glebach przy trasach wylotowych z Warszawy (Bojakowska i in., 2009). Najwyższą zawartością Cr charakteryzują się osady z tunelu Trasy WZ (ryc. 2). Zawartości te są jednakże niższe od stwierdzanych w pyłach ulicznych np. na terenie miasta Kavala w Grecji (średnia — 196 mg/kg) czy Xi'an w Chinach (średnia — 167 mg/kg) (Yongming i in., 2006; Christoforidis & Stamatis, 2009).

Miedź w pyłach z tuneli Warszawy obecna była w szerokim zakresie stężeń od 44 do 387 mg/kg. Średnia, średnia geometryczna i mediana są bardzo wysokie (odpowiednio 198, 146 i 127 mg/kg) w porównaniu do przeciętnej zawartości w glebach Polski (wartość tła geochemicznego dla gleb Niżu Polskiego wynosi 3 mg/kg). Średnia zawartość Cu w zbadanych pyłach jest kilkukrotnie wyższa od średniej zawartości miedzi w glebach przy trasach wylotowych z miasta (Bojakowska i in., 2009). Bardzo wysokie zawartości miedzi, powyżej 300 mg/kg stwierdzono w osadach z tuneli przy ulicach: Cierlickiej, Trasy WZ i Trasy Łazienkowskiej (ryc. 2). Także na terenie innych miast odnotowywane są w pyłach ulicznych bardzo wysokie zawartości miedzi np. w Kevali w Grecji, Baoji w Chinach, Aviles w Hiszpanii czy Istambule w Turcji (Christoforidis & Stamatis, 2009; Guney i in., 2009; Lu i in., 2009) (tab. 1).

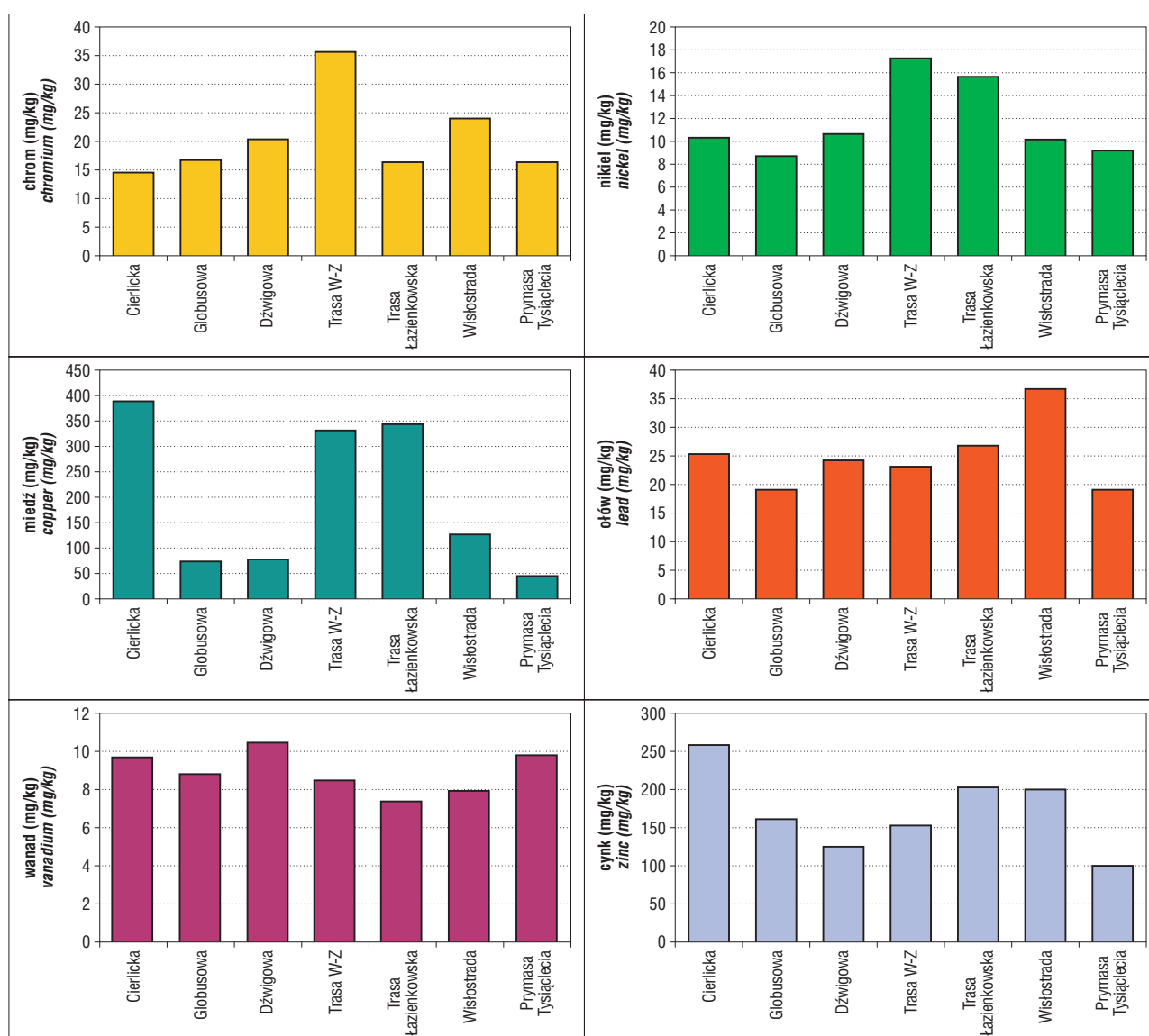
Zawartość niklu odnotowano w zakresie od 9 do 17 mg/kg, a wyznaczone średnia, średnia geometryczna i mediana są bardzo zbliżone (odpowiednio 12, 11 i 10 mg/kg). W większości zbadanych próbek zawartość Ni była poniżej 10 mg/kg. Jest to poziom zawartości niewiele wyższy od średniej zawartości Ni w glebach Polski wynoszącej 4 mg/kg i jego tła geochemicznego dla gleb Niżu Polskiego (Lis & Pasieczna, 1995). Odnotowane średnie zawartości niklu są niższe od tych stwierdzanych w pyłach ulicznych innych miast (tab. 1).

Zawartość ołowiu stwierdzono w przedziale od 19 do 37 mg/kg i także w przypadku tego pierwiastka jego śred-

Tab. 1. Zawartości metali ciężkich w pyłach ulicznych różnych miast

Table 1. Heavy metal concentrations in street dust in different towns

Miasto City	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Źródło Source
Kevala (Grecja)	0,2	—	196	124	—	58	301	272	Christoforidis & Stamatis, 2009
Kayseri (Turcja)	2,5	16,5	29	37	—	45	75	112	Tokahoglu & Kartal, 2006
Istambuł (Turcja)	2,3	—	—	208	—	32	212	521	Sezgin i in., 2003
Xi'an (Chiny)	—	—	167	95	0,64	—	230	421	Yongming i in., 2006
Baoji (Chiny)	—	—	—	123	—	49	408	715	Lu i in., 2009
Aviles (Hiszpania)	22,3	7,0	42	183	—	28	514	4892	Ordóñez i in., 2003
Luanda (Angola)	1,1	3,0	26	42	0,13	10	351	317	Ferreira-Baptista & Miguel, 2005
Amman (Jordania)	1,7	—	—	177	—	88	236	358	Al-Khashman, 2007a
Agaba (Jordania)	2,9	21,0	41	56	—	115	212	160	Al-Khashman, 2007b
Mubi (Nigeria)	1,0	—	—	52	—	—	241	683	Shinggu i in., 2007



Ryc. 2. Metale ciężkie w osadach tuneli drogowych
Fig. 2. Heavy metals in road tunnel dust samples

nia, średnia geometryczna i mediana są bardzo zbliżone (odpowiednio 25, 24 i 24 mg/kg). Najwyższe stężenia Pb stwierdzono w osadach z tunelu Wisłostrady (ryc. 2). Zbadane pyły charakteryzują się wyższymi zawartościami ołowiu w porównaniu do jego średniej zawartości w glebach Niżu Polskiego — 10 mg/kg (Pasieczna, 2003). Pyły deponowane obecnie w tunelach drogowych charakteryzują się znacznie niższą zawartością ołowiu w efekcie powszechnego zaniechania stosowania etylin ołowiowych. Odnotowane zawartości Pb w pyłach z tuneli Warszawy są znacznie niższe od tych stwierdzanych w pyłach ulicznych innych metropolii i dużych miast. I tak przy trasie wylotowej z Istambułu w pyłach odnotowano ponad 500 mg/kg Pb, w Xi'an (Chiny) nawet ponad 3000 mg/kg, a w Kevali (Grecja) — 2500 mg/kg (Sezgin i in., 2003; Yongming i in., 2006; Christoforidis & Stamatis, 2009).

Wanad obecny był w bardzo wąskim przedziale zawartości 7–9 mg/kg i jego stężenie było zbliżone do tych występujących w glebach Niżu Polskiego wynoszącej 6 mg/kg. Stwierdzone zawartości wanadu w pyłach są stosunkowo niskie w porównaniu do jego zawartości w pyłach ulicznych Hamilton (Kanada) czy Luandy (Angola), które

zawierają ponad 20 mg/kg wanadu (Vermette i in., 1991; Ferreira-Baptista & Miguel, 2005). Zawartość wanadu w pyłach ulicznych jest uwarunkowana jego naturalną zawartością w glebach danego obszaru (Mustafa, 2006).

Cynk odnotowano w zakresie od 101 do 258 mg/kg. Jego średnia, średnia geometryczna i mediana były bardzo zbliżone i wynosiły odpowiednio 171, 164 i 162 mg/kg. Zawartości cynku wyższe od 200 mg/kg odnotowano w osadach pobranych w tunelach: przy ulicy Cierlickiej, Trasy Łazienkowskiej i Wisłostradzie. Są to zawartości wielokrotnie wyższe od tych występujących przeciętnie w glebach. Średnia zawartość Zn w glebach Polski wynosi 40 mg/kg, a wartość tła geochemicznego dla Niżu Polskiego — 25 mg/kg. Najwyższe zawartości cynku odnotowano w osadach z tunelu przy ulicy Cierlickiej. Średnia zawartość cynku w glebach przy trasach wylotowych z Warszawy wynosi 90 mg/kg (Bojakowska i in., 2009). Odnotowane zawartości cynku są niższe od tych stwierdzanych w pyłach ulicznych większości dużych aglomeracji miejskich np. w Istambule (Turcja) pyły zawierają średnio 521 mg/kg, a w Kevali (Grecja) — 272 mg/kg Zn. Ekstremalnie wysokie zawartości cynku w pyłach ulicznych

odnotowano w Aviles w Hiszpanii, gdzie ogniskiem zanieczyszczenia środowiska tym pierwiastkiem są emisje z miejscowej huty (Ordóñez i in., 2003).

Zawartość kadmu w wszystkich osadach pobranych z tuneli nie przekraczała granicy oznaczalności (0,5 mg/kg). Na ogół zawartość kadmu w pyłach ulicznych innych miast jest niewielka i nieznacznie podwyższona do 1–2 mg/kg (Sezgin i in., 2003; Ferreira-Baptista & Miguel, 2005; Tokalioglu i in., 2006). Bardzo wysokie jego zawartości rzędu kilkudziesięciu mg/kg rejestrowane są na terenie miast, w których zlokalizowane są huty cynku (Ordóñez i in., 2003).

Uzyskane wyniki wykorzystano w analizie czynnikowej (tab. 2). Wykazała ona istnienie dwóch czynników. Pierwszy z nich grupuje występowanie w pyłach tuneli Warszawy kobaltu, manganu, żelaza, siarki i wanadu. Drugi czynnik łączy występowanie chromu, cynku, miedzi i ołowiu. Pierwszy czynnik określić można jako geogeniczny, zaś drugi czynnik ma charakter czynnika antropogenicznego.

Tab. 2. Analiza czynnikowa

Table 2. Factor analysis

	Czynnik 1 <i>Factor 1</i>	Czynnik 2 <i>Factor 2</i>
Chrom, <i>Chromium</i>	0,656	0,710
Cynk, <i>Zinc</i>	-0,059	0,812
Kobalt, <i>Cobalt</i>	0,888	0,299
Mangan, <i>Manganese</i>	0,739	-0,342
Miedź, <i>Copper</i>	0,373	0,738
Nikiel, <i>Nickel</i>	0,717	0,615
Ołów, <i>Lead</i>	0,276	0,918
Siarka, <i>Sulfur</i>	0,811	0,311
Wanad, <i>Vanadium</i>	0,907	0,277
Żelazo, <i>Iron</i>	0,909	0,317
Wartości wyjściowe, <i>Entrance data</i>	4,805	3,408
Udział, <i>Share</i>	0,480	0,341

Wnioski

□ Zaobserwowano, że zbadane osady z tuneli charakteryzują się wysoką zawartością miedzi — kilkadziesiąt razy wyższą od średniej zawartości Cu w glebach Warszawy.

□ Stwierdzono kilkakrotnie podwyższone zawartości cynku, chromu, ołowiu i niklu w osadach tunelowych w porównaniu do ich średniej zawartości w glebach Niziu Polskiego.

□ Zbadane pyły zawierają kobalt i wanad w stężeniach zbliżonych do ich przeciętnej zawartości w glebach Niziu Polskiego.

□ Nie odnotowano podwyższonych zawartości kadmu w pyłach z tuneli Warszawy.

Literatura

ADACHI K. & TAINOSHO Y. 2004 — Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust. *Environ. Internat.*, 30: 1009–1017.
AL-KHASHMAN O. 2007a — Determination of metal accumulation in deposited street dusts in Amman, Jordan. *Environ. Geochem. Health*, 29 (1): 1–10

AL-KHASHMAN O. 2007b — The investigation of metal concentrations in street dust samples in Aqaba city, Jordan. *Environ. Geochem. Health*, 29 (3): 197–207

BOJAKOWSKA I. 1994 — Wpływ czynnika antropogenicznego na procesy geochemiczne w powierzchniowych warstwach litosfery. *Instr. Met. Bad. Geol.*, 53: 199.

BOJAKOWSKA I., DUSZYŃSKI J., JARON I., KUCHARZYK J., LECH D. & MAKSYMOWICZ A. 2009 — Zróżnicowanie zawartości metali ciężkich w glebach przy drogach wylotowych z Warszawy. *Prz. Geol.*, 57: 1073–1077.

BOJAKOWSKA I. & PASIECZNA A. 2009 — Arsenic and thallium in hard and brown coals from polish deposits. *Acta Geol. Pol. (w druku)*.
BOJAKOWSKA I. & SOKOŁOWSKA G. 1999 — Występowanie rtęci w polskich węglach kamiennych i brunatnych. *Ochr. Środ. Zas. Nat.*, 18: 309–316.

BOJANOWSKA M. 2005 — Wpływ antropogenicznej platyny na elementy środowiska. *Acta Agrophys.*, 5: 535–541.

CHRISTOFORDIS A. & STAMATIS N. 2009 — Heavy metals concentrations in street dust and roadside soil along the major national road in Kavala's region, Greece. *Geoderma*, 151: 257–263.

FERREIRA-BAPTISTA L. & MIGUEL E. 2005 — Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda, Angola: a tropical urban environment. *Atmos. Environ.*, 39 (25): 4501–4512.

GUNEY M., ONAYA T. & COPTY N. 2009 — Impact of overland traffic on heavy metal levels in highway dust and soils of Istanbul, Turkey. *Environ. Monit. Assess.*, DOI 10.107/s10661-009-0878-9.

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. *Water Res.*, 34 (16): 4110–4115.

LEGRET M. & PAGOTTO C. 2006 — Heavy metal deposition and soil pollution along two major rural highways. *Environ. Technol.*, 27: 247–254.

LIS J. & PASIECZNA A. 1995 — Atlas geochemiczny Polski w skali 1:2500 000. Państw. Inst. Geol. Warszawa.

LU X., WANG L., LEI K., HUANG J. & ZHAI Y., — 2009 — Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China. *J. Hazard. Mater.*, 161 (2–3): 1058–1062.

MUSTAFA D. 2006 — Vanadium Concentrations in Settled Outdoor Dust Particles. *Environ. Monit. Assess.*, 123 (1–3): 345–350

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.

NRIAGU J.O. & PACYNA J. 1988 — Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soil by trace metals. *Nature*, 333: 134–178.

OKORO I., ORIAKU C. & EJIKE E. 2007 — Lead characterization of street dust in some cities of south eastern Nigeria. *Res. J. Applied Sci.*, 2 (1): 39–42.

ORDÓÑEZ A., LOREDO J., De MIGUEL E. & CHARLESWORTH S. 2003 — Distribution of heavy metals in the street dusts and soils of an industrial city in Northern Spain. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 44: 160–170.

PASIECZNA A. 2003 — Atlas zanieczyszczeń gleb miejskich w Polsce. Państw. Inst. Geol., Warszawa.

SEZGIN N., OZCAN H.K., DEMIR G., NEMLIOGLU S. & BAYAT C. 2003 — Determination of heavy metal concentrations in street dusts in Istanbul E-5 highway. *Environ. Internat.*, 29: 979–985.

SHINGGU D., OGUGBUAJA V., BARMINAS J. & TOMA I. 2007 — Analysis of street dust for heavy metals pollutants in Mubi, Adamawa State, Nigeria. *Internat. J. Phys. Stud.*, 2 (11): 290–293.

TOKALIOGLU S. & KARTAL S. — 2006 — Multivariate analysis of the data and speciation of heavy metals in street dust samples from the Organized Industrial District in Kayseri (Turkey). *Atmos. Environ.*, 40 (16): 2797–2805.

VERMETTE S., IRVINE K. & DRAKE J. 1991 — Temporal variability of the elemental composition in urban street dust. *Environ. Monit. Assess.*, 18 (1): 69–77

YONGMING H., PEIXUAN D., JUNJI C. & POSMENTIER E. 2006 — Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Sci. Total Environ.*, 355: 176–186.

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.