

Dariusz DMOCHOWSKI, Anna PREDECKA, Mariusz MAZUREK,
Andrzej PAWLAK

**OCENA ZAGROZEŃ ZWIĄZANYCH Z EMISJĄ METALI
CIĘŻKICH W ASPEKTCIE BEZPIECZEŃSTWA
EKOLOGICZNEGO NA PRZYKŁADZIE OGRÓDKÓW
DZIAŁKOWYCH W AGLOMERACJI MIEJSKIEJ**

**HAZARDS RELATED TO THE EMISSION OF HEAVY METALS
IN VIEW OF ECOLOGICAL SAFETY. EXAMPLE OF
ALLOTMENTS IN URBAN AREAS**

Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Warszawa
Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Cywilnego
Zakład Monitorowania Bezpieczeństwa

Main School of Fire Service, Warsaw
Faculty of Civil Safety Engineering
Department of safety Monitoring

STRESZCZENIE: Wstęp. Jednym z najpoważniejszych zagrożeń dla bezpieczeństwa ekologicznego i zdrowia ludzi jest zanieczyszczenie środowiska naturalnego metalami ciężkimi, występujące głównie na obszarach silnie zurbanizowanych. Trasy komunikacyjne o dużym natężeniu ruchu są źródłem emisji toksycznych gazów, pyłów i aerozoli, zawierających wysokie stężenia metali ciężkich. **Obiekty i metoda.** Próbki powierzchniowej warstwy gleby oraz liście sałaty pobrano do badań z obszaru ogródków działkowych, usytuowanych na terenie prawobrzeżnej Warszawy, między ulicami: Trasa Łazienkowska, Międzynarodowa, Waszyngtona oraz Kinowa. Oznaczeń całkowitych stężeń cynku, ołowiu i niklu dokonano metodą płomieniowej spektrometrii absorpcji atomowej, po ciśnieniowej mineralizacji mokrej. Formy biodostępne metali ciężkich określono zgodnie z procedurą zalecaną przez Program Pomiarów i Testowania (MTP). **Wyniki.** Przeprowadzone badania, dotyczące ogólnego stężenia metali ciężkich w glebach, wykazały dość szerokie zakresy stężeń, wynoszące odpowiednio dla cynku: 1916,0-667,9, ołowiu: 2408,0-785,4 oraz dla niklu: 322,0-107,6 mg/kg s.m. Procentowy udział form biodostępnych cynku, ołowiu i niklu w gle-

Adres do korespondencji: dr inż. Dariusz Dmochowski, Zakład Monitorowania Bezpieczeństwa, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Cywilnego, Szkoła Główna Służby Pożarniczej, ul. Słowackiego 52/54, 01-629 Warszawa, e-mail: darek.dmochowski@is.pw.edu.pl

bach w odniesieniu do całkowitych stężeń wynosił odpowiednio: 36,7, 37,5, 18,1%. Na podstawie analizy uzyskanych wyników badań stężenia metali w glebach ogródków działkowych można uszeregować w następującej kolejności: Pb>Zn>Ni. Oznaczone stężenia cynku, ołowiu oraz niklu we wszystkich przebadanych próbach liści sałaty były na znacznie wyższym poziomie w stosunku do wartości zamieszczonych w obowiązujących aktach prawnych. **Wnioski.** Przeprowadzone badania wykazały, że intensywna emisja metali ciężkich pochodząca z gęstej sieci tras komunikacyjnych o dużym nasileniu ruchu jest przyczyną ich kumulacji w glebach i roślinach konsumpcyjnych ogródków działkowych, położonych na terenie prawobrzeżnej dzielnicy Warszawy - Pragi Południe

SŁOWA KLUCZOWE: metale ciężkie, zanieczyszczenia, gleby, bezpieczeństwo ekologiczne

SUMMARY: Background. Contamination of natural environment with heavy metals existing mainly in urban areas pose one of the most serious hazards for the ecological safety and human health. Communication routes of heavy traffic are a source of emission of toxic gases, dust, and aerosols containing high levels of heavy metals. **Material and methods.** Samples of soil surface layers and lettuce leaves were collected in allotments situated at the right bank of Vistula river between the following streets: Trasa Łazienkowska, Międzynarodowa, Waszyngtona, and Kinowa. Total zinc, lead, and nickel were assayed with flame spectrophotometry after pressure-wet mineralization. Bioavailable forms of heavy metals were determined according to the procedure recommended by the Measurements and Test Program (MTP). **Results.** Measurements of heavy metals levels in soil revealed relatively wide range of the concentrations: 1916,0-667,9 mg/kg s.m. for zinc; 2408-785,4 mg/kg s.m. for lead, and 322,0-107,6 mg/kg s.m. for nickel. Percent of bioavailable forms in relation to total concentrations was: 36,7% for zinc, 37,5% for lead, and 18,1% for nickel. Basing on the results of assays, heavy metals content in allotments soil is as follows: PB>Zn>Ni. Content of heavy metals in collected samples of lettuce leaves was markedly higher than that legally acceptable. **Conclusions.** Carried out tests have shown that intensive heavy metals emission by heavy traffic causes their accumulation soil and edible plants in allotments situated on the right bank of Vistula river, namely Praga-Południe quarter

KEY WORDS: heavy metals, soil contamination, ecological safety

Wstęp

Jednym z najpoważniejszych zagrożeń dla bezpieczeństwa ekologicznego i zdrowia ludzi jest zanieczyszczenie środowiska naturalnego metalami ciężkimi. Powstaje ono w wyniku niekontrolowanych emisji pierwiastków metalicznych z instalacji przemysłowych, zakładów energetycznych oraz szlaków komunikacyjnych [1]. Stan środowiska glebowego na terenach zurbanizowanych ma charakter losowy. Zależy on od: warunków klimatycznych, ukształtowania, zagospodarowania i uprzemy-

słowienia danego terenu, a przede wszystkim od intensywności ruchu samochodowego. Istotny wpływ na jakość gleb ma również układ lokalnych sieci kanalizacyjnych, szczególnie kanalizacji burzowej [2].

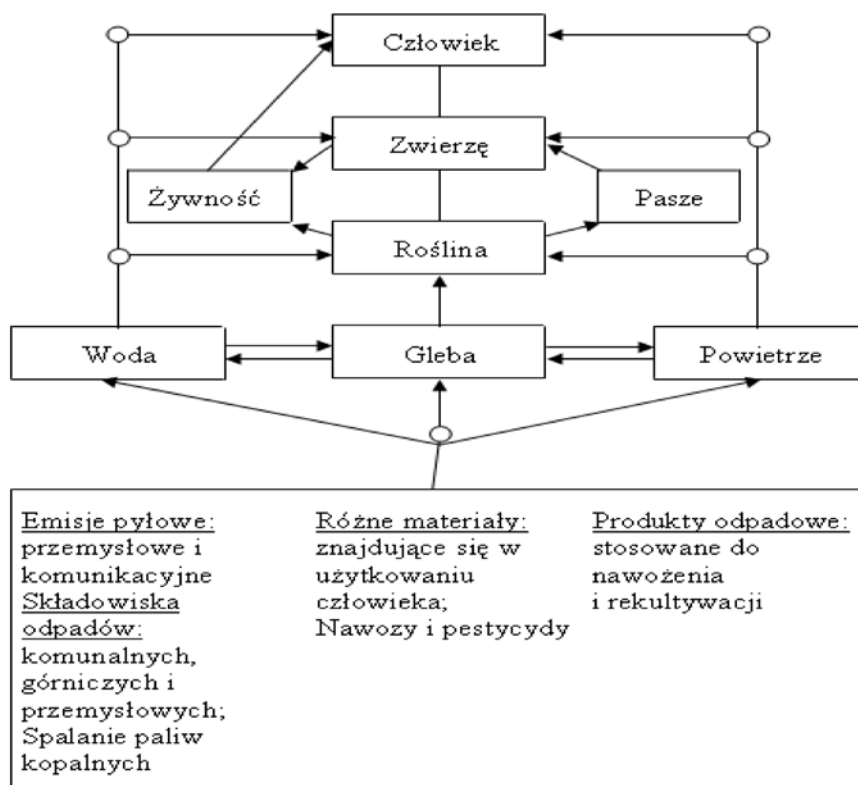
Trasy komunikacyjne są źródłem emisji toksycznych gazów, pyłów, aerozoli, zawierających metale ciężkie. Obecność tych niebezpiecznych substancji jest związana z procesami spalania paliw płynnych oraz ścieraniem nawierzchni asfaltu, opon samochodowych oraz zużywających się części eksploatacyjnych pojazdów samochodowych. Problem motoryzacyjnego skażenia metalami ciężkimi gleby usytuowanej w sąsiedztwie ruchliwych arterii występuje w największym stopniu w dzielnicach dużych miast o wysokim stopniu zaludnienia i gęstej sieci komunikacyjnej, gdzie na stosunkowo małych obszarach porusza się bardzo duża liczba samochodów, a utrudniony ruch uliczny przyczynia się do wysokiej emisji spalin [3]. Rozprzestrzenianie się metali ciężkich w środowisku naturalnym zachodzi na drodze działania różnych mechanizmów. Do najważniejszych z nich można zaliczyć: transport przez wiatr i wody naturalne – szczególnie wody powierzchniowe. Przenoszenie spalin samochodowych zawierających pyły bogate w metale ciężkie zależy od wysokości na jakiej się unoszą, rozmiaru ich cząstek oraz czynników klimatycznych. Emitowane do atmosfery związki chemiczne, pochodzące ze źródeł antropogenicznych, mieszają się z otaczającym powietrzem. Proces ten prowadzi zazwyczaj do ujednoczenia stężenia tych związków w turbulентnej warstwie atmosfery. Rozpraszanie w płaszczyźnie poziomej na obszarach niezabudowanych nie jest w zasadzie hamowane i zachodzi znacznie szybciej niż mieszanie w płaszczyźnie pionowej [4]. Na obszarach zurbanizowanych o zwartej zabudowie przestrzennej produkty spalania paliw stałych i płynnych nie mogą jednak szybko i swobodnie się przemieszczać, co w rezultacie jest przyczyną często spotykanych, bardzo wysokich stężeń metali ciężkich w miejskim powietrzu atmosferycznym [5].

Warszawa jest jednym z największych węzłów komunikacyjnych w Polsce. Krzyżują się tu lokalne, krajowe i międzynarodowe trasy komunikacyjne. Długość sieci dróg na terenie miasta wynosi 2315,6 km. Aglomeracja warszawska ze względu na centralne położenie w Polsce, jest szczególnie narażona na wzmożony transport samochodowy. Z roku na rok wzrasta liczba prywatnych samochodów osobowych oraz nasila się ruch tranzytowy, co w konsekwencji zwiększa natężenie ruchu drogowego. Problem motoryzacyjnego skażenia metalami ciężkimi środowiska glebowego na terenie Warszawy, występuje praktycznie na terenie wszystkich dzielnic, a szczególnie dotkliwy jest w Śródmieściu i na Pradze Południe.

Dobrym przykładem jest Trasa Łazienkowska, która jest główną arterią komunikacyjną łączącą prawo i lewobrzeżną Warszawę. Obecnie w godzinach szczytu natężenie ruchu wynosi około 10000 pojazdów na godzinę, jest to ponad dwukrotnie więcej niż planowano w latach 70. Średnio przyjmuje się, że przez Trasę Łazienkowską przejeżdża ponad 110000 pojazdów na dobę [6].

Skażenie gleby metalami ciężkimi jest bardzo rzadko widoczne, natomiast charakteryzuje się bardzo niebezpiecznymi, opóźnionymi w czasie, skutkami z punktu widzenia ekotoksykologii środowiska. Adsorpcyjne i buforujące właściwości gleb powodują, że wszystkie metale ciężkie są w niej silnie kumulowane. Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że w środowisku wodno-glebowym nie ulegają one degradacji ani na drodze chemicznej, ani biologicznej. Występuje natomiast zjawisko zmiany

form występowania metali ciężkich na skutek zachodzących w glebie złożonych procesów fizyczno-chemicznych i biologicznych. Procesy te decydują o mobilności i biodostępności tych metali w układzie gleba – roślina – człowiek (ryc. 1).



Ryc. 1. Źródła i drogi zanieczyszczenia gleb, roślin, zwierząt i człowieka (wg Dziadek i wsp.[7]).

Fig. 1. Sources and mode of soil, plants, animals, and men contamination [from: Dziadek K. et al. (7)]

Ryzyko przechodzenia metali ciężkich do łańcucha pokarmowego zależy od właściwości fizykochemicznych gleby oraz warunków klimatycznych. Szczególnymi zdolnościami do wiązania metali ciężkich charakteryzuje się frakcja ilasta gleby o średnicy ziaren poniżej 0,002 mm. Istotną rolę w procesach wiązania metali ciężkich w glebie odgrywają także wodorotlenki żelaza, manganu i glinu. Na formy występowania metali w glebach ma wpływ głównie: odczyn, pojemność sorpcyjna, potencjał oksydacyjno-redukcyjny, skład granulometryczny oraz wilgotność.

Rośliny są najważniejszym ogniwem w łańcuchu pokarmowym na drodze przemieszczania metali ciężkich z gleby do organizmów zwierząt i ludzi. Pobierają one metale ciężkie wraz z innymi pierwiastkami występującymi w glebie w postaci jonowej lub prostych kompleksów [8]. Proces akumulacji metali w roślinach obejmuje trzy główne etapy: zwiększenie mobilności jonów metali, pobieranie ich i trans-

port prowadzący do ich odkładania się w roślinie [9]. Niekorzystne skutki zdrowotne regularnego spożywania produktów roślinnych skażonych metalami ciężkimi mogą ujawnić się po wielu miesiącach, a nawet latach. Nadmiar metali ciężkich w organizmie człowieka może wywoływać uszkodzenia łańcuchów DNA i różnorodne procesy chorobowe, do których najczęściej należą: choroby nowotworowe związane z uszkodzeniem szpiku, uszkodzenie wątroby, choroby neurologiczne, dermatologiczne i wiele innych. Szczególnie narażonymi na toksyczne działanie metali ciężkich są dzieci i ludzie chorzy w podeszłym wieku [10].

W celu określenia wpływu emisji metali ciężkich z tras komunikacyjnych na poziom zanieczyszczenia gleby i wybranej rośliny testowej, przeprowadzono badania na terenach ogródków działkowych usytuowanych w Warszawie, na Pradze Południe, na których uzyskano zgodę ich właścicieli. Wstępne badania nad określeniem poziomu całkowitych stężeń metali w glebie oraz ich form biodostępnych posłużyły do próby oceny potencjalnego zagrożenia bezpieczeństwa ekologicznego na badanym terenie. Na potrzeby niniejszej pracy przyjęto powszechnie stosowaną definicję bezpieczeństwa ekologicznego, opracowaną w ramach prac konwencji ds. transgranicznych skutków awarii przemysłowych ONZ, która brzmi:

„Bezpieczeństwo ekologiczne to takie kształtowanie stosunków naturalnych i społecznych w biosferze Ziemi, które tworzą właściwe warunki życia dla całej ludzkości, nie podważając zarazem podstaw życia na naszej planecie. Stanowi ono przeciwieństwo lokalnej i globalnej katastrofy ekologicznej, wyrażając porządek i ład panujący w środowisku, w którym żyje również człowiek.” [11].

Obiekty i metody

Obiektem badań przeprowadzonych w latach 2008-2009 były powierzchniowe warstwy gleby oraz liście sałaty, które uznawane są za dobrą roślinę wskaźnikową. Próbkę do badań pobrano z obszaru ogródków działkowych położonych na terenie prawobrzeżnej Warszawy, znajdujących się między ulicami: Trasa Łazienkowska, Międzynarodowa, Waszyngtona oraz Kinowa (ryc. 2).

Pracownicze ogródki działkowe zostały oddane do użytkowania w 1938 r. Zajmują one obszar 32,085 ha i są bardzo zróżnicowane pod względem zabudowy przestrzennej oraz rolniczego zagospodarowania. Na większości z nich systematycznie uprawiane są rośliny konsumpcyjne, do których najczęściej należą: sałata, ogórki, marchew, buraki, dynia, pomidory, agrest, porzeczki. Bardzo często rosną na nich także drzewa owocowe – jabłonie, śliwy, czereśnie, wiśnie a także orzechy.

W podjętej pracy wytypowano 10 ogródków działkowych do analizy zawartości metali ciężkich w glebach oraz 5, z których pobrano liście sałaty. Punkty poboru prób były położone wzdłuż linii od Trasy Łazienkowskiej do ulicy Waszyngtona. Jako punkt „startowy” przyjęto teren ogródka działkowego odległego od Trasy Łazienkowskiej o 20 m, na wysokości Przyczółka Grochowskiego. Badania zakończono na punkcie leżącym, na działce położonej w odległości 40 metrów od ul. Waszyngtona.

Badaniom poddano pyłową frakcję wierzchniej warstwy gleb (0-5 cm) pobranych z obszaru (1x1 m²), a następnie uśredniono według standardowych procedur [12]. Próbkę do badań pobierano dwukrotnie w ciągu roku, w miesiącach: maju



Ryc. 2. Teren ogródków działkowych. Źródło: www.mapawarszawy.pl
Fig. 2. Allotments (Source: www.mapawarszawy.pl).

i wrześniu. Oznaczeń całkowitych stężeń cynku, ołowiu i niklu dokonano metodą płomieniowej spektrometrii absorpcji atomowej, zgodnie z PN EN 14082:2004 po ciśnieniowej mineralizacji mokrej za pomocą mieszaniny kwasu azotowego i nadchlorowego. Formy biodostępne metali ciężkich określono zgodnie z procedurą zalecaną przez Program Pomiarów i Testowania (MTP), zalecający ekstrakcję próbek gleb z wykorzystaniem 0,005 M roztworu EDTA.

Wyniki i omówienie

Badanie gleby

Przeprowadzone badania, dotyczące ogólnego stężenia metali ciężkich w glebie, wykazały dość szerokie zakresy stężeń, wynoszące odpowiednio dla cynku: 1916,0 – 667,9; ołowiu: 2408,0 – 785,4 oraz dla niklu: 322,0 – 107,6 mg/kg s.m.,

Porównując uzyskane wyniki badań z wartościami uznanymi za tło geochemiczne, można stwierdzić, że dla wszystkich oznaczanych metali uzyskano maksymalnie ponad 20-krotne przekroczenia stężeń progowych, szczególnie dla gleb, położonych w najbliższej odległości od Trasy Łazienkowskiej i ul. Waszyngtona.

Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach na podstawie wieloletnich, obszernych badań, określił graniczne zawartości metali ciężkich w glebach dla celów użytkowania rolniczego. Uwzględniając skład granulometryczny, klasyfikujący gleby ogródków działkowych jako „średnie”, według przyjętych kryteriów, można je zaliczyć do III oraz IV stopnia, obejmującego skalą gleby o średnim zanieczyszczeniu i gleby silnie zanieczyszczone metalami ciężkimi. Natomiast, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. (Dziennik Ustaw nr 165, poz. 1359) punkty badawcze zakwalifikowano do grupy B, bowiem ich obecny status to tereny zurbanizowane. Jak przedstawiono w tab. 1 stężenia

metali na wszystkich punktach poboru przekroczyły dopuszczalne normy. Średnie arytmetyczne, uzyskane z czterech poborów, zawartości form biodostępnych cynku, ołowiu i niklu w glebach wynosiły odpowiednio: 511,9, 332,7 oraz 28,4 mg/kg s.m., które w odniesieniu do całkowitych, średnich stężeń metali stanowiły odpowiednio: 36,7, 37,5, 18,1%. Na podstawie analizy wyników badań uzyskanych w 2008 i 2009 roku, stężenia metali w glebach ogródków działkowych można uszeregować w następującej kolejności: Pb>Zn>Ni.

Tab. 1. Całkowite stężenia metali ciężkich w próbkach gleb (wartości średnie arytmetyczne z czterech poborów)

Tab. 1. Total heavy metals levels in soil samples (arithmetic means from 4 samplings)

Odległość od Trasy Łazienkowskiej [m]	Cynk [mg /kg s.m]	Ołów [mg /kg s.m]	Nikiel [mg /kg s.m]
20	1916,0	2408,4	322,0
50	1428,0	1772,0	241,9
100	1089,5	1357,0	216,4
150	895,3	1219,2	199,6
200	821,0	913,7	158,7
250	690,5	785,4	136,2
400	667,9	802,0	113,4
550	751,0	837,3	107,6
700	719,4	861,5	125,0
800	882,7	1127,0	173,7
960	1154,0	1699,5	228,1
Wartości dopuszczalne	300	100	100

Badania liści sałaty

Oznaczone stężenia cynku, ołowiu oraz niklu we wszystkich przebadanych próbkach liści sałaty były na znacznie wyższym poziomie w stosunku do wartości zamieszczonych w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 13 stycznia 2003 roku (Dziennik Ustaw Nr 37, poz.326). Maksymalne stężenia badanych metali wyniosły: Zn – 127,3, Pb – 75,9, Ni – 22,6 mg/kg s.m (tab. 2). Uzyskane wyniki są porównywalne, ze stężeniami jakie uzyskano w badaniach ogródków działkowych w Gdańsku i okolicach [13]. Uzyskane wyniki wstępnych badań potwierdzają doniesienia z piśmiennictwa, według których zagrożenie skażeniem gleby i szaty roślinnej metalami ciężkimi, uzależnione są głównie od natężenia ruchu pojazdów samochodowych i odległości od liniowych źródeł emisji. Nie potwierdzono jednak publikowanych danych wykazujących, iż w odległości 150 metrów od szlaków komunikacyjnych, emisja metali ciężkich całkowicie zanika. Specyficzne położenie badanych ogródków działkowych między czterema ulicami o dużym nasileniu ruchu samochodowego, uniemożliwia jednoznaczne wskazanie jednego liniowego źródła zanieczyszczenia.

Tab. 2. Wyniki badań całkowitych stężeń metali ciężkich w liściach sałaty (wartości średnie arytmetyczne z czterech poborów)

Tab. 2. Results of total heavy metals assays in lettuce leaves (arithmetic means from 4 samplings)

Odległość od Trasy Łazienkowskiej [m]	Cynk [mg /kg s.m]	Ołów [mg /kg s.m]	Nikiel [mg Ni/kg s.m]
50	127,3	75,9	22,6
150	98,4	59,9	17,6
250	78,3	55,9	14,9
700	64,2	61,7	17,0
960	113,8	69,1	18,9

Wnioski

1. Przeprowadzone badania wykazały, że intensywna emisja metali ciężkich pochodząca z gęstej sieci traskomunikacyjnych o dużym nasileniu ruchu jest przyczyną ich kumulacji w glebach i roślinach konsumpcyjnych ogródków działkowych położonych na terenie Pragi Południe.
2. Niepokojąco wysokie stężenia metali ciężkich w badanych próbkach gleby oraz wysoką ich biodostępność wykazano szczególnie w punktach poboru prób położonych w bezpośrednim sąsiedztwie Trasy Łazienkowskiej i ulicy Waszyngtona. Fakty te powodują powstawanie różnorodnych potencjalnych zagrożeń, które niekorzystnie wpływają na bezpieczeństwo ekologiczne oraz zdrowie użytkowników działek, będących konsumentami skażonej metalami ciężkimi żywności.
3. Wytypowane do badań, pod kątem możliwości kumulacji metali ciężkich w roślinach konsumpcyjnych, liście sałaty, zawierały stężenia metali ciężkich w zakresach potwierdzających wpływ antropogenicznego zanieczyszczenia.
4. Obecny stan zanieczyszczenia metalami ciężkimi ogródków działkowych, położonych na terenie Pragi Południe, sugeruje konieczność przeprowadzenia dalszych, kompleksowych badań środowiska glebowego na podobnych obszarach. Pozwolą one na ocenę stanu bezpieczeństwa ekologicznego oraz na oszacowanie potencjalnego zagrożenia dla zdrowia użytkowników działek na terenie całej Warszawy oraz innych dużych miast. Badania te będą mogły także posłużyć do opracowania jednolitych procedur określania stopnia zagrożenia bezpieczeństwa ekologicznego oraz umożliwić ocenę ewentualnych zagrożeń związanych z wtórnym skażeniem środowiska glebowego.
5. W celu zapewnienia bezpieczeństwa ekologicznego na badanym obszarze ogródków działkowych niezbędne wydaje się podjęcie kroków związanych z ochroną czynną gleb polegającą na przeciwdziałaniu ich degradacji i racjonalnemu zagospodarowaniu.

Piśmiennictwo

1. Bednarek R., Dziadowiec H., Pokojska U., Prusinkiewicz Z.: *Badania ekologiczno-gleboznawcze*. Wyd. PWN, Warszawa 2005.

2. Bielecka A., Rylko E., Bojanowska I.: Zawartość pierwiastków metalicznych w glebach i warzywach z ogródków działkowych Gdanska i okolic. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 2009, 40, 209-216.
3. Binggan Wei, Yang L.: A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchemical J.* 2010, 94, 99-107.
4. Dziadek K., Waclawek W.: Metale w środowisku. Cz. I. Metale ciężkie (Zn, Cu, Ni, Pb, Cd) w środowisku glebowym. *Chemia Dydaktyka Ekologia Metrologia* 2005, 1-2, 33-44.
5. Grosset R.: System zarządzania kryzysowego. Materiały XI Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej Inżynierii Wojskowej. Tom I. Warszawa-Rynia 2000.
6. Gruca-Królikowska S., Waclawek W.: Metale w środowisku Cz. II . Wpływ metali ciężkich na rośliny. *Chemia Dydaktyka Ekologia Metrologia* 2006, 1-2, 41-56.
7. Hjortenkrans D., Bergback B., Haggerud A.: New metal emission patterns in road traffic environment. *Environ. Sci. Technol.* 2006, 117, 85-98.
8. Janosz W., Rajczyk A.: Mikrozanieczyszczenia w środowisku człowieka. Materiały Konferencyjne. Politechnika Częstochowska, Częstochowa 2003.
9. Kozieł S.: Zagrożenia bezpieczeństwa cywilnego i ekologicznego spowodowane zanieczyszczeniem metalami ciężkimi środowiska glebowego miasta stołecznego Warszawa. Szkoła Główna Służby Pożarniczej. Praca magisterska, Warszawa 2010.
10. Suna Y., Zhoua Q., Xiea X., Liua R.: Spatial sources and risk assessment of heavy metal contamination of urban soils in typical regions of Shenyang, China. *J. Hazardous Materials* 2010, 174, 455-462.
11. Walczak B.: Pyły drogowe jako potencjalne zagrożenie dla ekosystemów miejskich na przykładzie Zielonej Góry. Rozprawa doktorska, Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra 2008.
12. Zheng N., Liu J., Wang Q., Liang Z.: Health risk assessment of heavy metal exposure to street dust in the zinc smelting district Northeast of China. *Sci. Total Environ.* 2010, 408, 726-733.

Nadesłano: 15.12.2010 r.

Zaakceptowano do publikacji: 30.05.2011 r.

