

Analiza oddziaływania stacji paliw na stopień zanieczyszczenia gleby metalami ciężkimi

Zwiększona emisja zanieczyszczeń pyłowych, a w konsekwencji gromadzenie się ich w powierzchniowych warstwach gleby, jest przypisywana nie tylko spalinom emitowanym przez pojazdy mechaniczne. Ścieranie się opon i nawierzchni dróg, zużywanie się okładzin hamulcowych i ruchomych części silnika, korozja podwozia, a także wycieki olejów stanowią znaczące źródło zanieczyszczenia metalami ciężkimi (Cd, Ni, Zn, Cr, Cu i Fe) gleb położonych w pobliżu dróg i autostrad [1-13].

Biorąc pod uwagę gwałtownie wzrastającą w Polsce liczbę pojazdów mechanicznych, łatwo przewidzieć dalsze postępujące zanieczyszczenie różnych elementów środowiska naturalnego. Wpływ motoryzacji i transportu samochodowego na zanieczyszczenie gleb był w ostatnich latach przedmiotem wielu badań, jednak w kraju większość z nich dotyczyła oceny stopnia zanieczyszczenia zieleńców, parków i ogrodów działkowych położonych na obszarach miejskich [14-18]. Niewiele jest prac na temat wpływu motoryzacji na zanieczyszczenie gleb na terenach otwartych, niezadrzewionych i niezabudowanych [19-21], a jeszcze mniej dotyczy zanieczyszczenia gleb położonych w otoczeniu takich charakterystycznych punktów, jak: stacje paliw [22, 23], miejsca parkingowe, myjnie samochodowe, zakłady wulkanizacyjne, miejsca ze znakiem stop i sygnalizacją świetlną, skrzyżowania, drogi dojazdowe, gdzie według niektórych autorów [19, 24] mamy do czynienia ze zwiększoną emisją metali, spowodowaną specyficzną organizacją ruchu samochodowego, m. in. częstym i gwałtownym hamowaniem, rozpoczynaniem jazdy, utrudnionym ruchem ulicznym, itp. Podjęcie badań gleb objętych specyficzną emisją zanieczyszczeń komunikacyjnych jest tym bardziej uzasadnione, że wzrastającej liczbie pojazdów mechanicznych towarzyszy rozbudowa infrastruktury drogowej i usługowej, w tym stacji paliw.

Wśród gleb Polski przeważają gleby utworzone z piasków różnej genezy, charakteryzujące się słabą odpornością na degradację chemiczną, stąd obserwowana tendencja do lokalizacji stacji paliw w pobliżu pól uprawnych, osiedli mieszkaniowych, czy w centrach aglomeracji miejskich powoduje występowanie potencjalnych zagrożeń w sąsiadujących ekosystemach. Migrujące do gleby metale ciężkie, ze względu na zróżnicowaną i niewielką rozpuszczalność ich związków chemicznych, gromadzą się głównie w jej powierzchniowych warstwach. Jednakże w sprzyjających i charakterystycznych dla naszego kraju warunkach związki metali ulegają uruchomieniu, stanowiąc zagrożenie dla interstycjalnych wód gruntowych, a przez to oddziałują szkodliwie na rośliny [25].

Wprowadzenie benzyny bezołowiowej spowodowało redukcję ołowiu emitowanego ze spalin i szybki spadek jego stężenia w powietrzu [11, 26, 27], jednakże w gdy chodzi o gleb proces ten wymaga znacznie dłuższego czasu z uwagi na stosunkowo wolno zachodzące procesy samooczyszczania.

Do produkcji opon, jako dodatki, stosuje się tlenki metali ciężkich, przeważnie cynku, ołowiu, chromu, niklu i miedzi [3]. Znacząca ilość cynku w wodach spływających z dróg pochodzi właśnie z tego źródła [3, 28]. Tlenek cynku w oponach stanowi 1,5–2% ich masy [2]. Według Lagerwerffa i Specha [29] niektóre typy opon samochodowych mogą zawierać od 20 do 80 µg/g kadmu. W przeciwieństwie do opon, okładziny hamulcowe zawierają głównie substancje nieorganiczne o znacznej zawartości miedzi, niklu, chromu i ołowiu, mogą zawierać także podwyższone ilości żelaza [3, 26, 30]. Miedź może stanowić aż 3% masy okładzin hamulcowych, jest także istotnym składnikiem rur w układzie chłodzenia silnika, klimatyzacji i systemów wspomagania [1]. Również wycieki materiałów pędnych, płynu hamulcowego i przekładniowego, smarów, środków zapobiegających korozji powodują zanieczyszczenie gleb przydrożnych metalami ciężkimi [3, 19, 27, 29, 31]. Huang i in. [27] badając skład sześciu gatunków olejów napędowych stwierdzili znaczące zawartości cynku (890±180 mg/l). Nikiel jest składnikiem różnych metalizowanych części samochodowych, ale głównym jego źródłem jest spalanie olejów napędowych [32].

Dodatkowym źródłem metali ciężkich w środowisku są drobno-dyspersyjne pyły pochodzące ze ścierania się nawierzchni dróg oraz różne obiekty infrastruktury drogowej, np. korodujące bariery bezpieczeństwa [2, 13, 33]. Materiałem często stosowanym do budowy nawierzchni dróg jest asfalt, stanowiący mieszaninę kruszywa, wypełniaczy i bitumów. Rozważając skład asfaltu i porównując ilość metali we frakcji kamienniej z zawartością metali w bitumach okazuje się, że materiał kamienny może stanowić główne źródło zanieczyszczeń pyłowych. Rozpatrując stężenia metali w materiale kamiennym i bitumach należy zauważyć, że asfalt zawiera 95% materiału kamiennego i 5% bitumów. Na przykład materiał kamienny „gabro” zawierał wyższe stężenia większości metali (Ni - 110 µg/g; Zn - 149 µg/g; Cu - 70,5 µg/g; Cr - 238 µg/g; V - 215 µg/g) w porównaniu z porfirem (Ni - 16,2 µg/g; Zn - 36,3 µg/g; Cu - 2,9 µg/g; Cr - 63,9 µg/g i V - 24,9 µg/g). Natomiast w bitumach (B180) pochodzących z wenezuelskiej ropy naftowej stężenia niektórych metali (Cr, Cu i Ni) były poniżej granic detekcji [2].

Niektórzy autorzy, korzystając z dostępnych danych literaturowych, próbowali oszacować wielkość emisji spowodowanej ścieraniem się nawierzchni dróg i opon samochodowych [1, 2]. Lindgren [2] zakładając, że zużycie opon wynosi 0,2 mg/km/samochód, obliczył, że ilość uwolnionego Zn wyniesie 2,4-3,2 µg/km. Ponadto, przykładowo, ilość niklu pochodzącego ze ścierania

¹⁾Śląska Akademia Medyczna, Katedra i Zakład Toksykologii, 41-200 Sosnowiec, ul. Jagiellońska 4

²⁾Główny Instytut Górnictwa, Zakład Monitoringu Środowiska, 40-166 Katowice, Plac Gwarków 1

się gabra lub porfiru wynosi odpowiednio 2,5 mg/km oraz 0,37 mg/km, podczas gdy ilość niklu uwalnianego z bitumów wynosi 0,03 mg/km. Z powyższych danych wynika, że udział materiału kamiennego w emisji niektórych metali może być znaczący i tym samym nie powinien być zaniedbywany.

Pość zanieczyszczeń wytwarzanych na skutek ścierania się nawierzchni dróg i opon samochodowych jest porównywalna, łącznie stanowi 74% ogólnej depozycji pyłów na powierzchni jezdni, natomiast 18,5% pochodzi ze ścierania się okładzin hamulcowych i zużywania się ruchomych części silnika, a kolejne 7,5% jest przypisywane spalinom samochodowym [34].

Złożony charakter źródeł emisji komunikacyjnej, charakterystyczny dla niektórych obiektów przydrożnych (np. stacje paliw), sugeruje konieczność statystycznej weryfikacji zasięgu ich oddziaływania. W niniejszej pracy podjęto próbę oceny zależności korelacyjnych między zawartościami metali ciężkich oraz wskazania czynników identyfikujących z dużym prawdopodobieństwem źródła zanieczyszczeń, a także zasięg ich oddziaływania na gleby w pobliżu stacji paliw. Badaniem objęto gleby położone w otoczeniu 22 stacji paliw zlokalizowanych na terenie woj. śląskiego.

Metodyka badań

Materiał glebowy pobierano z obszarów w większości o lekkiej ażurowej zabudowie i niewielkim zadrzewieniu. Wszystkie próbki glebowe pobierano w systemie tzw. „oczka” o wymiarach 1x1 m, z naroży i po przekątnej, z powierzchni 10x10 cm, pod poszyciem, z warstwy wierzchniej do głębokości około 5 cm. Stanowiska (powierzchnie) pomiarowe były usytuowane prostopadle i równoległe do drogi, w ustalonych odległościach (1, 5, 20 i 50 m) od stacji paliw. Próbkę gleby pobrano, a także przygotowano do badań zgodnie z zasadami Dobrej Praktyki Laboratoryjnej (GLP), dotyczącymi sposobu poboru reprezentatywnej próbki, znakowania, liczebności i wielkości

(masy) prób, stosowanych narzędzi i naczyń zarówno w czasie poboru prób, jaki i podczas ich preparatyki oraz analizy chemicznej [35-40].

Próbki gleby po wysuszeniu do stanu powietrzno suchego rozkładano za pomocą stężonego (65%) kwasu azotowego w układzie otwartym. Mineralizaty odparowano, a osad rozpuszczano w 10 ml stężonego HNO₃, i uzupełniano wodą dejonizowaną do objętości 50 ml. W roztworach tych oznaczano całkowitą zawartość badanych metali ciężkich techniką płomieniowej absorpcyjnej spektrometrii atomowej z deuterową korekcją tła.

Wiarygodność oznaczeń metodą ASA sprawdzono na podstawie oznaczeń porównawczych wykonanych niezależną techniką spektrometrii emisyjnej z plazmą sprzężoną indukcyjnie (ICP-AES) oraz metodą dodatku wzorca (odzysk dodanego wzorca mieścił się w zakresie 92-107%). Ponadto dla losowo wybranej próbki gleby przeprowadzono 10 równoległych procesów rozkładu, a następnie oznaczono zawartość badanych metali zgodnie z opisaną wcześniej procedurą. Przykładowe wyniki statystycznej oceny metody ASA przedstawiono w tabeli 1. Powyższe sposoby kontroli potwierdziły prawidłowość zastosowanej metody analitycznej.

Aby określić „siłę” związku między badanymi zmiennymi (całkowitymi zawartościami rozpatrywanych metali ciężkich w glebach), a także w celu identyfikacji źródła zanieczyszczeń zastosowano rachunek korelacji prostej. Do zdefiniowania hipotetycznych czynników kontrolujących zmienność zawartości metali ciężkich w glebach w funkcji odległości od stacji paliw wykorzystano analizę czynników głównych (PCA).

PCA jest jedną z wielu metod statystycznej analizy wielowymiarowej, wspomaganą techniką komputerową, umożliwiającą redukcję pierwotnej przestrzeni danych oraz zależności między badanymi zmiennymi do tzw. przestrzeni czynnikowej, skonstruowanej w oparciu o nowe zmienne, będące kombinacją liniową zmiennych wyjściowych i lepiej opisujące wariację

Tab. 1. Statystyczna ocena wyników oznaczania metali ciężkich metodą ASA

	Fe	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Oznaczona zawartość, µg/g	22032	15,07	133,42	2693	14,28	201,14
	21216	15,99	133,42	2570	14,69	206,04
	21950	15,93	133,62	2488	14,28	202,37
	22236	16,23	132,8	2570	14,89	202,57
	21890	16,56	132,8	2530	14,48	202,16
	21196	15,23	134,03	2632	14,48	199,92
	22236	15,78	134,23	2919	14,68	193,80
	21154	15,16	134,23	2611	14,48	199,31
	21746	16,56	132,40	2591	15,10	197,68
	20542	15,87	130,97	2693	14,48	196,86
Zawartość średnia, \bar{x}	21620	15,74	133,19	2630	14,58	200,18
Standardowe odchylenie średniej, $S(\bar{x})$	178	0,15	0,32	38	0,08	1,09
Mediana	21818	15,82	133,42	2601	14,48	200,53
Odchylenie standardowe, $S(\bar{x})$	562	0,48	1,00	120	0,26	3,47
Względne odchylenie standardowe, RSD %	2,60	3,07	0,75	4,58	1,78	1,73
Przedział ufności, $\mu = \bar{x} \pm t_{0,95} S(\bar{x})$	21620 ±402	15,74 ±0,34	133,19 ±0,72	2630 ±86	14,58 ±0,19	200,1 ±2,4

danych [41, 42]. Analiza czynnikowa określa związek badanych zmiennych z czynnikami na podstawie współczynników korelacji między tymi zmiennymi, a zatem występowanie metali ciężkich może być interpretowane w odniesieniu do stopnia związania zmiennych z poszczególnymi czynnikami, czyli na podstawie ładunków zmiennych. Czynniki rozumiane są jako fizyczna lub chemiczna właściwość kontrolująca zmienność występowania metali ciężkich, a jego merytoryczna definicja wynika z rodzaju zmiennych oraz ich ładunków w czynniku. Ładunek zmiennej jest analogiczny do współczynników korelacji zmiennej z czynnikiem, nie istnieje jednak możliwość określenia istotności ładunków zmiennych [43].

Wyniki i ich omówienie

Związek między zawartościami metali ciężkich w badanych glebach opisano za pomocą współczynników korelacji. Oceny istotności współczynników korelacji dokonano dla prawdopodobieństwa $p = 0,95$, czyli dla współczynnika istotności $\alpha = 0,05$. Istotna zależność, w nawiązaniu do posiadanego zbioru danych występowała, jeżeli współczynnik korelacji był większy od 0,41 w przypadku powierzchni pomiarowych usytuowanych równoległe do drogi ($n = 22$) oraz większy od 0,43 dla powierzchni pomiarowych usytuowanych prostopadłe do drogi ($n = 20$). Współczynniki korelacji obliczono dla zmiennych (całkowitych zawartości metali ciężkich) nielogarytmowanych, ponieważ dla takich danych uzyskano lepsze własności prognostyczne.

Najbardziej istotne zależności (współczynniki korelacji) dla stanowisk pomiarowych usytuowanych prostopadłe do drogi stwierdzono między zawartościami Cu i Ni (0,73) w glebach położonych w najbliższym sąsiedztwie stacji paliw (1 m), między Cu i Fe (0,83) w glebach odległych o 5 m od stacji paliw, między Cu i Ni (0,63), Cu i Cd (0,72), Cu i Pb (0,87) oraz Pb i Cd (0,84) w glebach położonych 20 m od stacji paliw (tab. 2).

Dla stanowisk pomiarowych usytuowanych równoległe do drogi najbardziej istotne współzależności (tab. 3) stwierdzono między Pb i Cu (0,74) w glebach z terenu stacji (1 m), między Cu i Ni (0,73), Cu i Cd (0,63), Pb i Cu (0,69), Cd i Pb (0,70) oraz Pb i Ni (0,74) w glebach w odległości 5 m od stacji, między Zn i Cu (0,66), Cu i Cd (0,71), Cd i Zn (0,73), Pb i Cu (0,75), Pb i Zn (0,82) oraz Pb i Cd (0,88) w glebach w odległości 20 m. W glebach położonych 50 m od stacji paliw najbardziej istotne współzależności stwierdzono między Cu i Ni (0,62), Cu i Cd (0,70), Cu i Pb (0,75) oraz między Pb i Cd (0,75).

Powyższe wyniki badań wskazują na wspólne źródło pochodzenia badanych metali przypisywane emisji komunikacyjnej i pozostają w zgodności z wynikami badań innych autorów [14, 44-47]. Natomiast brak korelacji między zawartością żelaza a zawartościami pozostałych badanych metali (tab. 2 i 3), z wyjątkiem miedzi ($r = 0,83$ w glebach położonych 5 m od stacji paliw dla powierzchni pomiarowych usytuowanych prostopadłe do drogi), może wskazywać na inne źródło pochodzenia tego pierwiastka.

Z danych zestawionych w tabelach 2 i 3 wynika, że dla powierzchni pomiarowych usytuowanych prostopadłe do drogi najwięcej istotnych zależności między zawartościami badanych metali stwierdzono w glebach położonych w odległości 20 m od stacji paliw, natomiast dla powierzchni badawczych usytuowa-

nych równoległe do drogi w glebach położonych 20 i 50 m od stacji paliw. Wskazuje to na najsilniejsze oddziaływanie zanieczyszczeń komunikacyjnych w glebach położonych w odległości około 20 m od stacji paliw.

Stwierdzone znaczące zróżnicowanie korelacji między zawartościami poszczególnych metali świadczy o złożonym charakterze źródeł emisji pochodzenia komunikacyjnego (spalanie materiałów pędnych, ścieranie się nawierzchni dróg i opon, zużywanie się okładzin hamulcowych oraz różnych części silnika i pojazdów).

Ocena tendencji zmian ekotoksykologicznych metodą PCA

Analizę metodą PCA przeprowadzono, opierając się na współczynnikach wzbogacenia (*EF*) gleby pięcioma metalami ciężkimi (Ni, Cu, Zn, Cd, Pb), ustalonych dla 80 i 88 stanowisk badawczych, usytuowanych odpowiednio prostopadłe i równoległe do drogi. Dla stanowisk pomiarowych usytuowanych prostopadłe i równoległe do drogi odpowiednim obiektom przyporządkowano 20 zmiennych (współczynniki wzbogacenia dla 5 badanych metali \times 4 odległości).

Celem tej analizy była transformacja pierwotnej wielowymiarowej przestrzeni zmiennych (współczynniki wzbogacenia dla odpowiednich stanowisk pomiarowych) w tzw. przestrzeń czynnikową. Nowe hipotetyczne zmienne, zwane czynnikami, konstruowano jako kombinację liniową zmiennych wyjściowych tak, aby każdy kolejny czynnik opisywał maksymalną wariancję danych i był ortogonalny do poprzedniego (tzw. metoda osi głównych). Procedura obliczeniowa prowadziła do wyznaczenia macierzy korelacji, wydzielenia czynników pierwotnych oraz rotowania czynników głównych metodą *varimax* (obliczenia wykonano programem Statistica 5.1).

Stwierdzono, że trzy czynniki główne opisują w sposób zadowalający występowanie metali ciężkich w glebach położonych prostopadłe i równoległe do drogi, w funkcji odległości (1, 5, 20 i 50 m) od stacji paliw. Czynniki te objaśniają dużą część ogólnej zmienności, zarówno dla stanowisk pomiarowych usytuowanych prostopadłe (82%), jak i równoległe do drogi (85%) (tab. 4). Wprowadzenie większej liczby czynników nie zwiększało w znaczący sposób wyjaśnienia zmienności badanego zbioru (w obu wypadkach czwarty czynnik charakteryzował się wartością własną < 1).

Tab. 4. Czynniki główne i ich wariancja w analizie PCA dla współczynników wzbogacenia gleby badanymi metalami w pobliżu stacji paliw

Czynnik	Wartość własna	% objaśnianej wariancji	Sumaryczny % wariancji
<i>Prostopadłe do drogi</i>			
1	14,06	70,32	70,32
2	1,25	6,26	76,58
3	1,07	5,35	81,92
<i>Równoległe do drogi</i>			
1	13,81	69,06	69,06
2	1,87	9,36	78,42
3	1,40	7,00	85,42

Tab. 5. Wartości czynników głównych przedstawiające związek współczynników wzbogacenia gleb w funkcji prostopadłej odległości od drogi (metoda rotacji varimax)

Zmienna	Czynnik 1	Czynnik 2	Czynnik 3
Ni	0,49	0,21	0,81
Cu	0,32	0,20	0,90
Zn	-0,03	-0,67	-0,07
Cd	0,59	0,18	0,75
Pb	0,46	0,08	0,81
Ni5	0,69	0,13	0,68
Cu5	0,44	0,11	0,85
Zn5	-0,10	-0,23	-0,28
Cd5	0,70	0,16	0,65
Pb5	0,45	0,10	0,84
Ni20	0,86	0,09	0,44
Cu20	0,40	0,19	0,87
Zn20	-0,09	-0,55	-0,02
Cd20	0,54	0,13	0,80
Pb20	0,35	0,03	0,89
Ni50	0,90	0,10	0,37
Cu50	0,86	0,11	0,45
Zn50	-0,04	-0,68	-0,15
Cd50	0,88	0,10	0,40
Pb50	0,73	0,14	0,63

W stanowiskach pomiarowych usytuowanych prostopadle do drogi, zmianę zawartości Cd, Pb, Cu i Ni opisywały duże współczynniki korelacji w Czynniku 1 (tab. 5), które wzrastały w funkcji odległości od stacji paliw. Pozwala to zdefiniować ten czynnik jako wpływ szeroko rozumianej emisji motoryzacyjnej. Dla wspomnianych metali największe ładunki (współczynniki korelacji) występują w odległości 50 m od stacji paliw, co w powiązaniu z wysoce istotnymi korelacjami między zawartościami poszczególnych metali Pb-Cu, Pb-Cd, Cu-Cd, Cu-Ni, Pb-Ni, Pb-Cu, Cd-Ni i Pb-Ni, obserwowanymi odpowiednio dla odległości 20 i 50 m, może wskazywać na znaczący udział emisji spalin (tzw. emitor liniowy). Wiele badań wykazało, że spaliny samochodowe są emitowane głównie w postaci aerozoli o długim czasie retencji w atmosferze i są przenoszone na znaczne odległości od drogi. Biggings i Harrison [48], badając pyły uliczne, wykazali największe stężenia Pb w najdrobniejszej frakcji pyłów (<38 µm). Zasięg emisji ołowiu dla „cząstek większych” wynosi ok. 5 m od drogi, natomiast dla „cząstek mniejszych” dochodzi do 100 m [49].

Czynnik 1, który opisuje emisję spalin, objaśnia ok. 70% ogólnej zmienności w funkcji odległości od stacji (prostopadle do drogi) i jest czynnikiem najważniejszym (tab. 4). Dla stanowisk pomiarowych usytuowanych równolegle do drogi Czynnikiem 1 objaśnia 69% ogólnej zmienności, przy czym największe ładunki zmiennych opisujących emisję spalin (Ni, Cu, Cd i Pb) występują dla odległości 20 i 50 m (tab. 6). Dlatego w pobliżu stacji paliw (dla odległości mniejszej niż 20 m) droga nie powinna być traktowana jako typowy emitor liniowy.

W odległościach 1 i 5 m od stacji paliw (równolegle do drogi) największe ładunki (współczynniki korelacji) dla Cd i

Pb występują w Czynniku 3 obok równie dużych ładunków charakteryzujących udział Ni i Cu, których emisja jest głównie przypisywana zużyciu się okładzin hamulcowych [1]. Zatem Czynnikiem 3, objaśniający ok. 7% ogólnej zmienności, opisuje specyficzny charakter organizacji ruchu pojazdów samochodowych, na drogach w pobliżu stacji paliw (hamowanie, zwiększona emisja spalin związana z rozruchem, jazdą na niskich biegach i przyspieszaniem).

Wysokie korelacje między zawartościami Pb i Cu (tab. 3) oraz duże ładunki Cu w Czynniku 1 (dla odległości 1 i 5 m, równolegle do drogi - tab. 6) wskazują, że źródłem emisji Cu są również spaliny samochodowe. Powyższa hipoteza pozostaje w zgodności z wynikami badań Miguela i in. [10], którzy wykazali wysoce istotne zależności między zawartościami Cu i Pb w pyłach ulicznych pobranych na terenie Madrytu. Zdaniem cytowanych autorów w procesie utleniania olejów smarnych tworzą się związki organiczne, takie jak: kwasy, aldehydy, ketony i alkohole, które powodują korozję metalowych części samochodowych, zawierających często w swoim składzie Cu, Zn i Cd.

Czynnik 2 opisuje jedynie rolę Zn (tab. 6, równolegle do drogi), objaśnia 9,4% ogólnej zmienności. Biorąc pod uwagę znaczną zawartość Zn w oponach oraz w materiałach stosowanych do budowy nawierzchni dróg, Czynnikiem 2 rzeczywiście determinuje emisję cząstek pyłu pochodzących ze ścierania się opon (możliwe korelacje między ilością Zn, a zawartościami Cd, Pb, Cu i Ni [3, 6, 31]) i nawierzchni dróg (możliwe korelacje między ilością Zn a zawartością Cu i Ni [2]). Dlatego dla zmienności występowania cynku opisanej Czynnikiem 2 charakterystyczny jest brak zależności w funkcji odległości od stacji paliw.

Tab. 6. Wartości czynników głównych przedstawiające związek współczynników wzbogacenia gleb w funkcji równoległej odległości od drogi (metoda rotacji varimax)

Zmienna	Czynnik 1	Czynnik 2	Czynnik 3
Ni	0,45	0,20	0,41
Cu	0,58	0,22	0,76
Zn	-0,16	-0,75	-0,05
Cd	0,21	0,22	0,95
Pb	0,43	0,20	0,88
Ni5	0,67	0,23	0,52
Cu5	0,71	0,24	0,65
Zn5	-0,17	-0,73	-0,19
Cd5	0,28	0,19	0,89
Pb5	0,55	0,18	0,75
Ni20	0,95	0,22	0,15
Cu20	0,89	0,22	0,30
Zn20	-0,15	-0,66	-0,16
Cd20	0,84	0,22	0,45
Pb20	0,74	0,18	0,62
Ni50	0,89	0,21	0,28
Cu50	0,82	0,20	0,53
Zn50	-0,16	-0,88	-0,17
Cd50	0,76	0,22	0,61
Pb50	0,65	0,06	0,72

W razie powierzchni pomiarowych usytuowanych prostopadłe do drogi Czynniki 2 również opisuje zmienność występowania Zn (objaśnia 6,3% ogólnej zmienności), przy czym następuje wyraźne zmniejszenie wartości ładunku w odległości 5 m od stacji paliw, a maksymalne wartości ładunków występują w odległościach 1 i 50 m.

Największe ładunki w Czynniku 3 (objaśnia 5,3% ogólnej zmienności, prostopadłe do drogi) zwracają uwagę na rolę Pb i Cu oraz Ni i Cd w odległościach 1, 5 i 20 m. Ładunki zmiennych Cu, Ni i Cd maleją w funkcji odległości w sposób charakterystyczny dla zmniejszającego się oddziaływania związanego ze specyficzną emisją spalin i cząstek pyłów, wynikającą z odmiennej organizacji ruchu w pobliżu stacji paliw. W wypadku Pb ładunki w Czynniku 3 rosną do odległości 20 m od stacji paliw. Może to wskazywać na większy zasięg wynikający z tzw. specyficznej emisji spalin lub równoległy udział emisji pyłów („cząstek większych”), związanej ze ścieraniem się okładzin hamulcowych i nawierzchni dróg. Powyższe hipotezy potwierdzają istotne korelacje między zawartościami Pb-Cu, Pb-Cd, Zn-Cu i Pb-Zn (tab. 2) oraz zauważalny ładunek Zn dla odległości 5 m w Czynniku 3 (tab. 5).

Wnioski

1. Współczynniki korelacji między zawartościami wybranych metali w glebie mogą być wykorzystane do weryfikacji zasięgu wpływu emisji komunikacyjnej w funkcji odległości od drogi i stacji paliw.
2. Dla stanowisk pomiarowych usytuowanych prostopadłe do drogi najczęściej istotnych korelacji między zawartościami badanych metali (Pb-Cu; Pb-Cd; Cd-Ni; Cd-Cu; Cu-Ni; Pb-Ni; Zn-Cu; Pb-Zn) stwierdzono w odległości 20 m od stacji paliw.
3. Dla stanowisk pomiarowych usytuowanych równoległe do drogi najczęściej istotnych korelacji między zawartościami badanych metali ciężkich stwierdzono w odległościach 5, 20 i 50 m od stacji paliw.
4. Czynniki główne (PCA), opisujące zmienność występowania badanych metali ciężkich związaną z emisją komunikacyjną w pobliżu stacji paliw, pozwalają określić rolę danego pierwiastka i zasięg jego oddziaływania na glebę (otoczenie).
5. Na podstawie analizy czynników głównych wykazano, że stacje paliw stanowią charakterystyczne obiekty przydrożne, dla których lokalna emisja zanieczyszczeń metalicznych pochodzenia komunikacyjnego może być opisana trzema czynnikami głównymi. Wspomniane czynniki identyfikują z dużym prawdopodobieństwem źródła zanieczyszczeń oraz zasięg ich oddziaływania.

LITERATURA

- [1] Hewitt C. N., Rashed M. B.: An integrated budget for selected pollutants for a major rural highway. *Sci. Total Environ.*, 93: 375-384, 1990
- [2] Lindgren Å.: Asphalt wear and pollution transport. *Sci. Total Environ.*, 189/190: 281-286, 1996
- [3] Muschack W.: Pollution of Street Run-off by Traffic and Local Conditions. *Sci. Total Environ.*, 93: 419-431, 1990

- [4] Colandini V., Legret M., Brosseau Y., Baladès J.D.: Metallic pollution in clogging materials of urban porous pavements. *Wat. Sci. Tech.*, 32(1):57-62, 1995
- [5] Curzydło J.: Zagrożenia motoryzacyjne i konflikty autostradowe w Polsce. *Aura 2*: 6-10, 1998a
- [6] Curzydło J.: Motoryzacyjne zanieczyszczenie roślin oraz sposoby użytkowania gruntów rolnych przyległych do autostrad i dróg szybkiego ruchu. *Ekoinżynieria*, 5(30): 15-20, 1998b
- [7] Garty J.: Environment and elemental content of lichen, w: *Trace metals in the environment*, 4: 255-263, 2000
- [8] Hopke P.K., Lamb R.E., Natusch D.F.S.: Multielement characterization of urban roadway dust. *Environ. Sci. Technol.*, 14: 164-172, 1980
- [9] Lee P.K., Touray J. C., Baillif P., Ildefonso J.P.: Heavy metal contamination of settling particles in a retention pond along the A-71 motorway in Solonge, France. *Sci. Total Environ.*, 201:1-15, 1997
- [10] Miguel E., Llamas J.F., Chacón E., Berg T. et al.: Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead. *Atmospheric Environ.*, 31(17): 2733-2740, 1997
- [11] Monaci F., Moni F., Lanciotti E., Grechi D. et al.: Biomonitoring of airborne metals in urban environments: new traces of vehicle emission, in place of lead. *Environ. Pollut.*, 107: 321-327, 2000
- [12] Mungur A.S., Shutes R.B.E., Revitt D.M., House M.A.: An assessment of metal removal from highway runoff by a natural wetland. *Wat. Sci. Tech.*, 32(3): 169-175, 1995
- [13] Scanlon P.F.: Effects of highway pollutants upon terrestrial ecosystems, w: *Highway Pollutants* ed. Hamilton R.S., Harrison R.M., Elsevier Amsterdam – London – New York – Tokyo 1991, 281-339, 1991
- [14] Czarnowska K.: Poziom niektórych metali ciężkich w glebach i liściach drzew miasta Łodzi. *Roczn. Glebozn.*, 48(3/4): 49-61, 1997
- [15] Czarnowska K.: Metale ciężkie w glebach zieleńców Warszawy. *Roczn. Glebozn.*, 50(1/2): 31-39, 1999
- [16] Czarnowska K., Gworek B.: Stan zanieczyszczenia cynkiem, ołowiem i miedzią gleb Warszawy. *Roczn. Glebozn.*, 42(1): 49-56, 1991
- [17] Czarnowska K., Gworek B., Szafranek A.: Akumulacja metali ciężkich w glebach i warzywach korzeniowych z ogródków działkowych dzielnicy Warszawa-Mokotów. *Roczn. Glebozn.*, 45(3/4): 45-54, 1994
- [18] Indeka L., Karaczun Z. M. Cynk w glebach położonych przy ruchliwych trasach komunikacyjnych w: Cynk w środowisku – problemy ekologiczne i metodyczne. PAN Kom. Nauk Czł. i Środ. Z.N. 33, 213-219, 2002
- [19] Curzydło J.: Ołów i cynk w roślinach i glebach w sąsiedztwie drogowych szlaków komunikacyjnych. Rozpr. habil. Nr 127, Zesz. Nauk. AR w Krakowie, 1989
- [20] Maciejewska A., Skłodowski P.: Wpływ emisji spalin samochodowych na skażenie gleb związkami ołowiu, cynku i kadmu przy trasie Warszawa – Katowice. *Z. Probl. Post. Nauk Roln.* 418: 271-280, 1995
- [21] Malczyk P., Kędzia W.: Metale ciężkie w glebach leśnych wzdłuż drogi wylotowej Bydgoszcz – Inowrocław. *Roczn. Glebozn.*, 47(3/4): 203-211, 1996
- [22] Pauksto A., Kwapiński J., Wiechuła D. i in.: Występowanie ołowiu w glebie w otoczeniu stacji paliw (formy występowania), w: Ołów w środowisku – problemy ekologiczne i metodyczne. PAN Kom. Nauk. Czł. i Środ. Z. N. 21, 113-119, 1998
- [23] Bebek M., Mitko K., Kwapiński J. Formy występowania cynku w glebach objętych oddziaływaniem ruchu komunikacyjnego, w: Cynk w środowisku – problemy ekologiczne i metodyczne. PAN Kom. Nauk Czł. i Środ. Z.N. 33, 189-195, 2002
- [24] Garty J., Kauppi M., Kauppi A.: Accumulation of airborne elements from vehicles in transported lichens in urban sites. *J. Environ. Qual.*, 25: 265-272, 1996
- [25] Mańko P.: Mobilność i fitotoksyczność metali ciężkich (Zn, Cd, Pb, Cu, Ni) w glebach zanieczyszczonych siarką. Rozpr. Dokt. IUNG, Puławy, 70 s. 1999
- [26] Ball D.J., Hamilton R.S., Harrison R.M.: The influence of highway –related pollutants on environmental quality, w: *Highway Pollution* ed. Hamilton R.S., Harrison R.M., Elsevier Amsterdam-London-New York-Tokyo 1991, 1-47, 1991
- [27] Huang X., Ollmez I., Aras N.K.: Emissions of trace elements from motor vehicles: potential marker elements and source composition profile. *Atmospheric Environ.*, 28(8): 1385-1391, 1994
- [28] Munoz A.H., Garcia E.J.H.: Pollutant removal from highway surfaces in Madrid using irrigation techniques. *Sci. Total Environ.* 59: 369-389, 1987
- [29] Lagerwerff J.V., Specht A.W.: Contamination of roadside soil and vegetation with cadmium, nickel, lead and zinc. *Environ. Sci. Technol.*, 4(7): 583-586, 1970

- [30] Beckwith P.R., Ellis J.B., Revitt D.M.: Particle size distribution of Cu, Pb and Zn across a road surface, w: Inter. Conf. Heavy Metal in the Environment, Athens, September (1985) 1: 174-177, 1985
- [31] Nidiokwere C.L.: A study of heavy metal pollution from motor vehicle emissions and in effect on roadside soil, vegetation and crops in Nigeria. *Environ. Pollut.* (Series B), 7: 35-42, 1984
- [32] McGrath S.P.: Chromium and nickel, w Heavy metals in soils, ed. B.J. Alloway Blackie Academic & Professional, London-Glasgow-Weinheim-New York-Tokyo-Melbourne-Madras, 152-178, 1995b
- [33] Arias M., Nuñez A., Barral M. T., Diaz-Fierros F. Pollution potential of copper mine spoil used for road making *Sci. Total Environ.* 221: 111-116, 1998
- [34] Hvitved-Jacobson T., Yousef Y.A. Highway runoff quality, environmental impacts and control w: Highway Pollution ed. Hamilton R.S., Harrison R.M., Elsevier Amsterdam-London-New York-Tokyo, 165-208, 1991
- [35] Bebek M.: Charakterystyka występowania metali ciężkich w glebach objętych oddziaływaniem ruchu komunikacyjnego w pobliżu stacji paliw. Rozpr. Dokt. GIG, Katowice, 2001
- [36] ISO 11464 Soil Quality – Pretreatment of samples for physico-chemical analyses. 1st ad., 1994-10-01
- [37] Kabata-Pendias A.: Analiza śladowa gleb i roślin, w: Problemy jakości analizy śladowej w badaniach środowiska przyrodniczego. Red. Kabata-Pendias A., Szetke B., Wyd. Edukacyjne Żak, Warszawa, 1998
- [38] PN-R-04031 Analiza chemiczno-rolnicza gleby. Pobieranie próbek, 1997
- [39] Tan K. H.: Soil sampling, preparation and analysis. Marcel Dekker, Inc., New York-Basel-Hong Kong, 408s, 1995
- [40] Ure A. M.: Methods of analysis for heavy metals in soils, w: Heavy metals in soils, ed. B. J. Alloway, Blackie Academic & Professional, London-Glasgow-Weinheim-New York- Tokyo-Melbourne-Madras, 58-95, 1995
- [41] Barona A., Romero F.: Distribution of metals in soils and relationships among fractions by principal component analysis. *Soil. Technol.* 8:303-319, 1996
- [42] Walczak B., Kwapiński J.: Zastosowanie Analizy Czynn timer Głównych do oceny zanieczyszczenia powietrza metalami ciężkimi na obszarze Katowic. *Ochrona Powietrza*, 4: 81-85, 1992
- [43] Dudka S.: Ocena całkowitych zawartości pierwiastków głównych i śladowych w powierzchniowej warstwie gleb Polski. R (293), IUNG Puławy, 48s, 1992a
- [44] Valerio F., Pala M., Piccardo M. T., Lazzarotto A. et al.: Exposure to airborne cadmium in some Italian urban areas. *Sci. Total Environ.*, 172: 57-63, 1995
- [45] Chronopoulos J., Haidouti C., Chronopoulou-Sereli A., Massas I.: Variations in plant and soil lead and cadmium content in urban parks in Athens, Greece. *Sci. Total Environ.*, 196: 91-98, 1997
- [46] Ogunsola O. J., Oluwole A.F., Asubiojo O.I., Olaniyi H.B. et al.: Traffic pollution: preliminary elemental characterization of roadside dust in Lagos, Nigeria. *Sci. Total Environ.* 146/147: 175-184, 1994
- [47] Wong J. W. C., Mak N. K.: Heavy metal pollution in children playgrounds in Hong Kong and its health implications. *Environ. Technol.* 18: 109-115, 1997
- [48] Biggings P.D.E., Harrison R.M.: Chemical speciation of lead compounds in street dusts. *Environ. Sci. Technol.* 14(3):336-339, 1980
- [49] Wheeler G. L., Rolfe G.L.: The relationship between daily traffic volume and the distribution of lead in roadside soil and vegetation. *Environ. Pollut.* 18: 265-274, 1979

Dołącz do nas, bo warto!

ZADZWOŃ tel. (032) 225 38 73

PEDAGOGIKA SPECJALNA*
trzyletnie studia licencjackie:

- Oligofrenopedagogika
- Surdopedagogika
- Tyflop pedagogika

PEDAGOGIKA*
studia magisterskie i licencjackie:

- Pedagogika wczesnoszkolna i wychowanie przedszkolne
- Pedagogika z edukacją informatyczną
- Edukacja humanistyczna w szkole
- Edukacja artystyczna
- Pedagogika opiekuńczo-wychowawcza i pracy socjalnej
- Pedagogika rodziny
- Pedagogika zdrowia
- Pedagogika resocjalizacyjna
- Pedagogika z wychowaniem fizycznym i obronnym
- Prewencja społeczna z wychowaniem fizycznym i obronnym

ZDROWIE PUBLICZNE*
trzyletnie studia licencjackie:

- Ratownictwo medyczne
- Pomoc i rehabilitacja psychospołeczna
- Promocja zdrowia i edukacja zdrowotna
- Ekonomia i zarządzanie w ochronie zdrowia
- Zdrowie środowiskowe
- Dietetyka z higieną żywności i żywienia

KULTUROZNAWSTWO*
trzyletnie studia licencjackie:

- Animacja kultury
- Public relations
- Arteterapia
- Grafika komputerowa
- Marketing reklamy

**OFERUJEMY RÓWNIEŻ
STUDIA PODYPLOMOWE,
PEDAGOGICZNE KURSY
KWALIFIKACYJNE ORAZ
WARSZTATY**

Tel. (032) 225 39 05

**Górnośląska Wyższa Szkoła
Pedagogiczna**
im. Kard. A. Hłonda
w Mysłowicach

**W RANKINGU WYŻSZYCH UCZELNI 2005
TYGODNIKA POLITYKA**
uzyskała

1 miejsce

**w Województwie Śląskim wśród uczelni niepaństwowych
kształcących na kierunku PEDAGOGIKA**

www.wsew.edu.pl

**Górnośląska Wyższa Szkoła Pedagogiczna
41-400 MYSŁOWICE
UL. POWSTAŃCÓW 19
tel. (032) 225 38 73
e-mail: rektorat@wsew.edu.pl**

* uruchomienie specjalności uzależnione jest od minimalnej liczby studentów (50), konieczne do utworzenia grupy
** program daje 100% GWARANCJI ZATRUDNIENIA DLA STUDENTÓW GWSP, spełniających wymagania programu. Szczegółowych informacji udziela Biuro Karier

SYSTEM STYPENDIALNY, CZESNE W RATACH

Uczelnia, która daje pracę™