

Słowa kluczowe: pył uliczny, metale ciężkie

Elżbieta KRAJEWSKA*, Krystyna NIESIOBĘDZKA*

PYŁY ULICZNE JAKO ŹRÓDŁO ZANIECZYSZCZENIA WIELKOMIEJSKIEGO EKOSYSTEMU GLEBOWEGO METALAMI CIĘŻKIMI

Toksyczne właściwości pyłów ulicznych determinowane są między innymi przez wysokie stężenia metali ciężkich. W odpowiednich warunkach istnieje możliwość uruchamiania mobilnych form metali ciężkich zawartych w pyłach do innych elementów środowiska i przenoszenia ich do kolejnego ogniwa łańcucha troficznego.

W pracy podjęto próbę oceny możliwości wymywania metali z pyłów i przenoszenia ich do środowiska glebowego. Doświadczenia prowadzono na materiale badawczym, który stanowiły pyły zebrane z ulicy. Poziomy stężenie metali badanych w pyłach ulicznych okazały się znacznie wyższe od stężeń metali w przydrożnych glebach. W warstwie wodnej spływów powierzchniowych stwierdzono obecność rozpuszczonych form metali ciężkich. Warstwa zawieszinowa spływów wykazywała znacznie wyższe stężenia metali w porównaniu do pyłów zebranych bezpośrednio z ulicy. Testy wymywalności metali z pyłów ulicznych za pomocą wody destylowanej i 0,05N EDTA wskazują na możliwość przenoszenia znacznych ilości metali z pyłów do roztworu glebowego, a dalszej kolejności do systemu korzeniowego roślin.

1. WPROWADZENIE

Na skutek znacznego uprzemysłowienia i postępującej urbanizacji, możliwość wystąpienia nadmiaru metali w środowisku naturalnym zwiększyła się wielokrotnie. Wśród charakterystycznych zanieczyszczeń środowiska ważną grupę stanowią zanieczyszczenia pyłowe, które ze względu na obecność w nich wysokich stężeń metali ciężkich, uznane są za toksyczne. Problem nadmiernego zapylenia szczególnie dotkliwie odczuwalny jest w dużych aglomeracjach miejskich ze względu na znaczną ilość i zróżnicowanie źródeł emisji pyłów. Jakkolwiek skład pyłów ulicznych ma charakter lokalny, uzależniony od rodzaju działalności przemysłowej na danym terenie, to zawsze oprócz metali pochodzenia przemysłowego spotyka się w nim podwyższone stężenia metali ciężkich pochodzenia motoryzacyjnego.

* Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska, 00-653 Warszawa ul. Nowowiejska 20, elzbieta.krajewska@is.pw.edu.pl

Z reguły pył uliczny traktowany jest jako toksyczny, aczkolwiek o jego toksyczności nie decyduje ogólna zawartość metali, a formy chemiczne w których są one związane i ich możliwość uruchamiania w środowisku. Nie bez znaczenia jest również średnica ziaren pyłu. Liczne prace nad stanem środowiska miejskiego wykazały, że pył uliczny stanowi istotne źródło zanieczyszczenia innych elementów środowiska metalami ciężkimi. W glebach i wodach powierzchniowych rejonów zurbanizowanych poziom stężeń metali ciężkich od dawna przekracza naturalne tło geochemiczne.

Zawarte w atmosferze pyły, zawierające metale ciężkie, poprzez suchy i mokry opad, a także w postaci spływów powierzchniowych z dróg dostają się do wód, gleby a także opadają na nadziemne części roślin. Nadmierna kumulacja metali ciężkich w warstwie powierzchniowej gleb stanowi jedną z podstawowych przyczyn degradacji chemicznej gleb oraz zanieczyszczenia wód glebowo – gruntowych i powierzchniowych. Nagromadzenie w glebach metali ciężkich, szczególnie w formie łatwo dostępnej dla roślin prowadzi w konsekwencji do nadmiernego ich pobierania przez rośliny i stwarza poważne zagrożenie dla zdrowia ludzi i zwierząt.

2. OBIEKT BADAWCZY

Badania prowadzono na ograniczonym odcinku ulicy Gołkowskiej w Warszawie obejmującym most i teren przylegający do Jeziorka Czerniakowskiego. Jeziorko Czerniakowskie jest częścią dużego systemu hydrologicznego, połączonego w we wspólną sieć wodną. Tereny nad jeziorkiem wykorzystywane są jako miejsca rekreacyjno wypoczynkowe, z czego dużą część stanowią ogródki działkowe. Most nad jeziorkiem stanowi główną drogę dojazdową do pobliskiej elektrociepłowni.

3. POBÓR PRÓB I PRZYGOTOWANIE MATERIAŁU BADAWCZEGO

Próby pobierano w sezonie zimowo-wiosennym i jesiennym na przestrzeni lat 2005–2007. Pobrane zostały pyły z mostu i ulicy, spływ z ulicy oraz jednokrotnie bezpośredni spływ z mostu do jeziorka i pył z tafli lodu na Jeziorku Czerniakowskim. W sumie pobrano 19 próbek pyłu i 13 próbek odcieków. Podczas poboru kolejnych prób panowały odmienne warunki atmosferyczne. W sezonie zimowo-wiosennym próby pobierano podczas roztopów, w sezonie jesiennym pobór przeprowadzano podczas suchej i wietrznej pogody oraz w czasie opadów deszczu.

Próbki pyłu zostały wysuszone powietrznie i przesiane przez sito o średnicy oczek 1mm. Wysuszony materiał poddano analizie granulometrycznej przesiewając przez sita o średnicy oczek 0,5, 0,25, 0,1, 0,063 mm. Pył niefrakcjonowany, najdrobniejszą frakcję pyłu oraz pozostałość na sączku ze spływu z mostu i tafli lodu mineralizowano za pomocą mieszaniny kwasów HNO_3 i HClO_4 a następnie przesącz poddano badaniu na zawartość metali ciężkich metodą AAS. W przesączach i odciekach pyłów mokrych wykonano badania na zawartość metali ciężkich (Zn, Pb, Cu, Cd, Ni),

chlorków, siarczanów, oraz przewodność właściwą. Ponadto próbki pyłu niefrakcjonowanego poddano testom wymywalności za pomocą wody destylowanej i 0,05M EDTA w stosunku wagowym 10g pyłu/100g roztworu i poddano analizie na zawartość metali ciężkich.

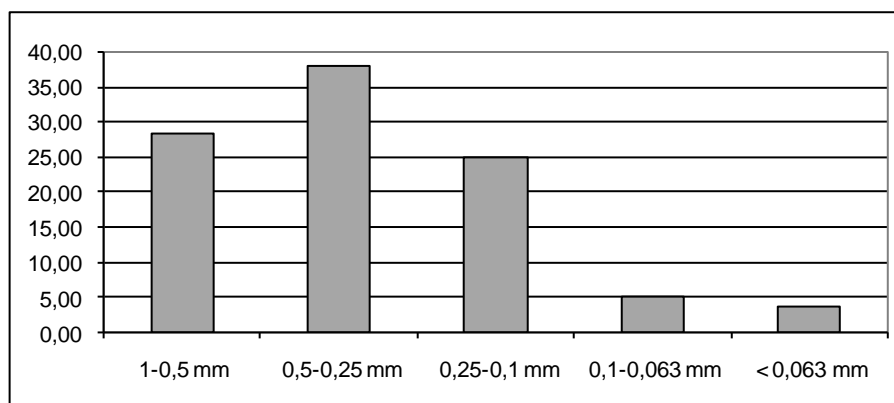
4. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Badania granulometryczne pyłu ulicznego wykazały, iż bez względu na sezon badawczy w ogólnej masie badanego pyłu przeważają frakcje o większym uziarnieniu od 1 do 0,1 mm. Najmniejszy jest udział frakcji najdrobniejszej (tabela 1). Klasyfikuje to badany pył jako pył drobny o rozdrobnieniu makroskopowym.

Tab. 1. Średni udział procentowy różnych frakcji uziarnienia pyłu

Frakcja 1-0,5 mm	Frakcja 0,5 – 0,25 mm	Frakcja 0,25 – 0,1 mm	Frakcja 0,1 – 0,063 mm	Frakcja < 0,063 mm
28,38	38,01	24,99	5,02	3,60

Stosunkowo niski udział frakcji drobnych może być spowodowany szczególnym miejscem poboru prób jakim jest most nad Jeziorkiem Czerniakowskim. Jest to miejsce wyjątkowo odsłonięte i narażone na silne prądy powietrzne, co może powodować resuspensję drobnych cząstek pyłu i wywiewanie ich bezpośrednio do jeziorka i na przydrożne gleby. Zjawisko to dodatkowo potęgowane jest przez dość duży ruch przejeżdżających samochodów. Graficzny obraz udziału procentowego różnych frakcji uziarnienia przedstawia wykres 1.



Rys. 1. Graficzny obraz uziarnienia pyłu [%]

Stężenia metali w pyłe całkowitym wahają się w dość szerokich zakresach. Wiąże się to między innymi z różnymi warunkami poboru prób. W sezonie zimowym, kiedy z powodu posypywania dróg piaskiem, obserwowano zwiększony udział ziaren grubych w ogólnej masie pyłu, notowano nieco niższe wartości stężeń metali w pyłe

w porównaniu do prób pobranych w sezonie jesiennym. Generalnie jednak, bez względu na sezon, najdrobniejsza frakcja pyłu wykazywała najwyższe wartości stężeń metali (tabela 2). W tabeli zamieszczono dodatkowo stężenia metali uzyskane dla warstwy zawieszinowej spływu do jeziora i pyłu z tafli lodu, dla których stężenia metali są zdecydowanie wyższe. Potwierdza to wcześniejsze obserwacje autorów i innych badaczy [4], że najdrobniejsze frakcje pyłu wykazują podwyższone poziomy stężeń metali ciężkich. Frakcja gruba, zawierająca znaczne ilości piasku i innych utworów glebowych, które nie wykazują tak silnych właściwości sorpcyjnych w stosunku do metali jak drobne cząstki pyłu, jest powodem obniżenia stężenia metali w całkowitym pyłe ulicznym. Transport drobnych frakcji pyłów ulicznych, drogą powietrzną, czy też ze spływami powierzchniowymi, jest znaczącym źródłem metali w przydrożnych glebach i wodach powierzchniowych.

Tab. 2. Średnie stężenia metali w pyłe

Średnie stężenie metali	Zn [mg/kg s.m.]	Ni [mg/kg s.m.]	Cu [mg/kg s.m.]	Cd [mg/kg s.m.]	Pb [mg/kg s.m.]
Pył całkowity	309,15	13,91	72,10	2,51	56,20
Frakcja < 0,063 mm	420,77	31,71	228,42	3,84	84,36
Pył ze spływu z mostu	2174,69	18,69	410,86	5,39	202,37
Pył z tafli lodu na J.Cz.	696,20	31,65	150,75	3,45	128,38

Wysokie stężenia metali ciężkich w pyłe ulicznych nie stanowią jednak o jego toksyczności. Metale związane w wielu formach chemicznych w różnym stopniu mogą migrować do środowiska wodnego czy glebowego. Badania nad formami chemicznymi metali w pyłe ulicznym wykazały, że tylko nieznaczna ich część jest uruchamiana w środowisku. Według badań najłatwiej biodostępne frakcje tzn. rozpuszczalne w wodzie i związane z węglanami, stanowią od kilkunastu do kilkudziesięciu procent [2,5].

Tab. 3. Stężenia metali i makroskładników w odciekach pyłów mokrych

	Zn [mg/l]	Ni [mg/l]	Cu [mg/l]	Cd [mg/l]	Pb [mg/l]	Przewodność wł. [μS/cm]	Cl ⁻ [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]
Min.	0,023	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	514	108	30
Max.	2,644	0,171	0,522	0,215	0,427	115100	66300	1950
Średnia	0,368	0,066	0,113	0,062	0,061	-	-	-

W badanych odciekach pyłów mokrych stwierdzono obecność rozpuszczonych form metali. Wartości stężeń były dość zróżnicowane. Zakresy stężeń metali

w warstwie wodnej spływów podano w tabeli 3. Stężenia niklu, kadmu i miedzi kształtowały się na dość niskim poziomie, jednakże, w przypadku cynku i ołowiu wyniki stężeń w warstwie wodnej spływów były dość wysokie. Zwiększona zawartość metali w odciekach wyraźnie zaznacza się dla prób pobranych w sezonie zimowo-wiosennym i powiązana jest z wysoką wartością przewodności właściwej tych odcieków. Relatywnie do zmian przewodności zachowywały się stężenia chlorków i siarczanów. Bezpośrednią przyczyną wzrostu tych wskaźników w spływach powierzchniowych było intensywne posypywanie drogi mieszanką soli i piasku przez cały sezon zimowy. Wysokie zasolenie ma istotny wpływ na przeprowadzanie do fazy wodnej wymiennych form metali, których stężenie wzrastało w miarę wzrostu przewodności właściwej odcieków. Współczynniki korelacji pomiędzy stężeniem metali w warstwie wodnej spływów, a ich przewodnością osiągały wartości $> 0,9$.

W celu potwierdzenia obecności rozpuszczalnych form metali w pyłach, łatwo uwalnianych do fazy wodnej, próbki pyłów poddano ekstrakcji wodą destylowaną. We wszystkich przypadkach zaobserwowano wymywanie do warstwy wodnej cynku i ołowiu. Miedź i kadm ulegały wymyciu tylko w kilku pojedynczych przypadkach, natomiast nie zaobserwowano zjawiska wymywania niklu. Generalnie poziom stężeń metali w wodnych ekstraktach zbliżony był wartości odnotowanych w odciekach z pyłów pobranych w sezonie jesiennym, przy stosunkowo niskiej wartości przewodności właściwej i małym zasoleniu. Ogólnie stopień wymycia do fazy wodnej był niski i dla żadnego z badanych metali nie przekraczał 1% całkowitej zawartości metalu w pyle.

Próby wymywania metali za pomocą 0,05 M EDTA wykazały znacznie większe możliwości uwalniania metali do fazy wodnej. Stężenia metali w roztworze EDTA były znacznie wyższe niż w roztworze wodnym, a stopień wymycia metali w stosunku do zawartości metali w pyle był stosunkowo wysoki. Najbardziej podatny na wymywanie okazał się ołów (średnio 40%). Kadm, miedź i cynk uwalniane były na podobnym poziomie (średnio 24–29%), natomiast najslabszy efekt uzyskano w stosunku do niklu, który wymywany był na poziomie 15% ogólnej zawartości w pyle. Można zatem przypuszczać, iż odpowiednie warunki, które mogą powstać w środowisku glebowym, mogą spowodować uwalnianie z pyłów dość znacznych ilości metali, które są mobilne w środowisku [1,3]. Ze względu na dość duże podobieństwo struktury pyłów ulicznych do gleb, możliwe jest uwalnianie metali z kompleksu sorpcyjnego i wprowadzanie ich do roztworu glebowego, stanowiącego podstawę odżywiania roślin. W tym procesie gleba zanieczyszczona pyłem dodatkowo wzbogacana jest w składniki, które wywierają niekorzystny wpływ na rozwój roślinności. Pył stanowi zatem istotne źródło metali ciężkich w glebach, które następnie wprowadzane są w kolejny ogniwa łańcucha troficznego.

5. WNIOSKI

1. Drobne cząstki pyłu ulicznego wzbogacone w metale ciężkie przenoszone na przydrożne gleby drogą powietrzną lub ze spływami powierzchniowymi powodują zanieczyszczanie gleb metalami ciężkimi.
2. Stężenia metali w wodnych ekstraktach pyłów wskazują na obecność łatwo rozpuszczalnych form metali ciężkich, które bezpośrednio uruchamiane są w środowisku wodnym i glebowym.
3. Wzrost poziomu zasolenia spływów powierzchniowych powoduje wprowadzanie do gleb znacznych ilości rozpuszczonych form metali ciężkich skumulowanych w pyłach ulicznych.
4. W sprzyjających warunkach panujących w środowisku glebowym może nastąpić dalsze uruchamianie mobilnych form metali ciężkich, których źródłem są pyły uliczne.

LITERATURA

- [1] Al-Chalabi, A.S., Hawker, D., 1996. *Retention and exchange behaviour of vehicular lead in street dust from major roads*. Sci. Total Environ., 187: 105-119
- [2] Banerjee, A.D.K., 2002. *Heavy metal levels and solid phase speciation in street dust of Delhi, India*. Environmental Pollution, 123: 95-105
- [3] Niesiołowska K., 2004. *Mobilność i biodostępność metali ciężkich w środowisku glebowym*. Inżynieria i Ochrona Środowiska, Częstochowa, T. 7, 3-4: 393-399
- [4] Rizzio, E., Giaveri G., Arginelli, D., Gini, L., Profumo, A., Gallorini, M., *Trace elements and particle size distribution in the air pollution in the the air particulate matter of a rural-residential area in north Italy investigated by instrumental neutron activation analysis*. Sci. Total Environ: 226: 47-56
- [5] Tokahoglu, S., Kartal, S., 2006. *Multivariate analysis of data and speciation of heavy metals in street dust samples from the Organized Industrial District in Kayseri (Turkey)*. Atmospheric Environment, 40: 2797-2805

STREET DUST AS A SOURCE OF HEAVY METALS POLLUTION IN URBAN SOIL ECOSYSTEM

Heavy metals which are found in street dust are significant for environmental pollution. According to the concentrations of metals, street dust possesses toxic properties. The street dust heavy metals pollution makes a significant contribution to the pollution in the urban environment like soils and surface water. This way dust can contribute supplies of toxic elements for plants. In this study samples of street dust and road runoff collected from street and bridge near Jeziorko Czerniakowskie lake in Warsaw, during winter and summer seasons 2005-2007. The samples were partitioned into five grain sizes fractions. Finer fraction was least in street dust, but higher concentrations of heavy metals in this fraction were observed. Level of metals in water extracts was compared to levels in road runoff in summer season collected. According to increase of conductance the concentrations of heavy metals in road runoff increased to. Extraction by 0,05 M EDTA showed higher mobility of heavy metals from dust to soils.