

Czynniki wpływające na zawartość metali ciężkich w gruntach przy drogach wylotowych z Poznania

1. Wstęp

Obok powietrza i wód, kluczowym elementem środowiska życia człowieka są gleby (Zhao, 2007). Rośliny, pobierając z gleb sole mineralne, wprowadzają zawarte w nich metale ciężkie do łańcucha troficznego (Woodard, 2007), co zagraża stanowiącemu ostatnie ogniwo człowiekowi. Gleby są też ważną częścią systemu hydrosfery (Bajkiewicz-Grabowska i Mikulski, 2006). Zanieczyszczenie gleb skutkuje zanieczyszczeniem wód powierzchniowych (Klimaszewska i in., 2007) i podziemnych. Gleby, mogą mieć również bezpośredni wpływ na nasz organizm. Narażone na zanieczyszczenia gleby są bowiem dzieci na placach zabaw i w parkach (De Miguel i in., 1998; Chen i in., 2005), czego dowodzą przeprowadzone wśród najmłodszych badania krwi (Oliva i Espinosa, 2007).

Jednym z typów zanieczyszczeń gleb są metale ciężkie (Banerjee, 2003; Zhang i Wang 2009). Niektóre metale ciężkie są mikroelementami niezbędnymi do prawidłowego funkcjonowania organizmu (Woodard, 2007). W nadmiernych ilościach mogą jednak okazać się toksyczne (Bojakowska i Świerk, 2004; Wei i in., 2009), podobnie jak szereg pierwiastków pierwotnie obcych organizmowi człowieka i jego środowisku biotycznemu (Lu i in., 2003).

Antropogeniczna geneza metali ciężkich w środowisku, pomimo pewnego wpływu nawozów sztucznych i kompostowanych osadów ściekowych użyźniających tereny parkowe (De Miguel i in., 1998), jest na ogół skorelowana ze stopniem urbanizacji, uprzemysłowienia (Duong, 2009) i natężeniem ruchu kołowego (Li i in., 2003; Ahmed i Ishiga, 2006; Johansson, 2009; Wei i in., 2009). Zawartość Pb, Cu i Zn przekraczającą dopuszczalne normy odnotowano w glebach parków trzeciego co do wielkości miasta Hiszpanii – Sewilli (Madrid i in., 2002). Z badań przeprowadzonych w

kilkunastomilionowym Szanghaju wynika, że obecność tych pierwiastków w glebach miejskich jest wywołana przede wszystkim ruchem samochodowym (Shi, 2008). W prawie milionowym Kayseri w środkowej Turcji, w glebach przy głównych ulicach wykazano wysoką zawartość Cd, Pb i Zn (Kartal i in., 2006). Z opracowania Wei'a i Young'a (2010) wynika, że koncentracja Cd, Cu, Pb i Zn w glebach największych chińskich miast, zawsze przekraczała wartości tła geochemicznego. Nie wykazano jednak takiej zależności w zakresie występowania Ni i Cr. Ponadto, nikiel i chrom cechują się dużo niższą mobilnością (Duong, 2009) i biodostępnością (Banerjee, 2003).

O ile skala zanieczyszczeń przemysłowych wydaje się maleć, ruch na drogach stale się zwiększa. W badaniach przeprowadzanych w trzymilionowym mieście Nanjing w zachodnich Chinach wykazano znacznie podwyższoną zawartość Pb w warstwie próchnicznej gleb przy poboczu dróg w stosunku do innych gleb miejskich (parków, ogródków działkowych, terenów mieszkalnych i kampusów uniwersyteckich). Zawartość ołowiu była skorelowana z zawartością Cr, Zn i Cu (Lu i in., 2003). Taką korelację zauważono również w atmosferze nad miastem Urumqi w północno-zachodnich Chinach i przypisano ją wpływowi ruchu drogowego (Wei i in., 2009). Również z analizy próbek zebranych przy drogach wylotowych Warszawy wynika, że transport samochodowy przyczynia się do podwyższenia zawartości metali ciężkich w glebach (Bojakowska i in., 2009).

Celem badań była identyfikacja głównych czynników wpływających na poziom stężeń metali w gruntach przy drogach, na podstawie badań przeprowadzonych w aglomeracji poznańskiej.

2. Teren badań

Poznań jest miastem wojewódzkim znajdującym się w środkowo-zachodniej części Polski (Ryc. 1) o liczbie mieszkańców przekraczającej 500,000 i powierzchni ok. 260 km² (Dmochowska et al. 2011 a,b). Na terenie miasta znajduje się duży węzeł drogowy (pięć dróg krajowych w tym autostrada A2, dwie drogi ekspresowe i cztery drogi wojewódzkie), węzeł kolejowy (pięć linii kolejowych), oraz port lotniczy Ławica (GUS, 2010).

3. Metodyka badań

Do badań wytypowano 8 punktów, z których pobrano próbki gruntów przy głównych drogach wylotowych z Poznania (Ryc. 1). W każdym z miejsc pobrano 0,5 kg gruntu po

obu stronach drogi w odległościach 1, 5 i 10 m od krawędzi jezdni. Próbki pobierano z warstwy powierzchniowej od 0 do 20 cm oraz, z głębokości od 40 do 60 cm, przy użyciu świdra okienkowego. Próbki gruntu po wysuszeniu w temperaturze pokojowej poddano analizie sitowej wydzielając siedem frakcji granulometrycznych ($>2,0$; $2,0-1,0$; $1,0-0,5$; $0,5-0,25$; $0,25-0,1$; $0,1-0,063$; $<0,063$ mm). Do ekstrakcji metali użyto wody królewskiej ($\text{HNO}_3\text{:HCl}$; 1:3 v/v), dokonując mineralizacji próbek w łaźni wodnej w temperaturze 95°C przez 1h. Zawartość metali (Cu, Ni, Cd, Zn, Pb, Cr) w poszczególnych frakcjach oznaczono z wykorzystaniem techniki absorpcyjnej spektrometrii atomowej z atomizacją w płomieniu (F-AAS).

4. Wyniki badań i dyskusja

a. Zróżnicowanie stężeń metali w zależności od frakcji granulometrycznej

Dla wyników oznaczeń metali w poszczególnych frakcjach granulometrycznych obliczono: średnią arytmetyczną, medianę i średnią geometryczną. Wszystkie trzy zastosowane w obliczeniach wskaźniki wykazały podobne zróżnicowanie stężenia metali w zależności od frakcji. Średnie arytmetyczne wykazywały zwykle wartości wyższe od mediany i średniej geometrycznej, które były bardzo do siebie zbliżone.

Kadm koncentruje się najsilniej we frakcjach najmniejszych. Jego stężenie we frakcji $<0,063$ mm wynosi mniej niż średnio 1,1-1,3 ppm. Najniższe stężenia (0,4-0,5 ppm) odnotowano we frakcjach pośrednich 0,25-0,5 i 0,5-1 ppm. Frakcje największe wykazywały stężenia pośrednie rzędu 0,6-0,8 ppm.

Najwyższe stężenia chromu stwierdzono we frakcji $<0,063$ mm (11-13 ppm), osiągając ponad dwukrotnie niższe wartości (5,5-6 ppm) dla frakcji 0,5-1 mm. Niewiele większe w przypadku tego pierwiastka okazały się stężenia metali we frakcji największej, osiągające średnio (6-7,5 ppm).

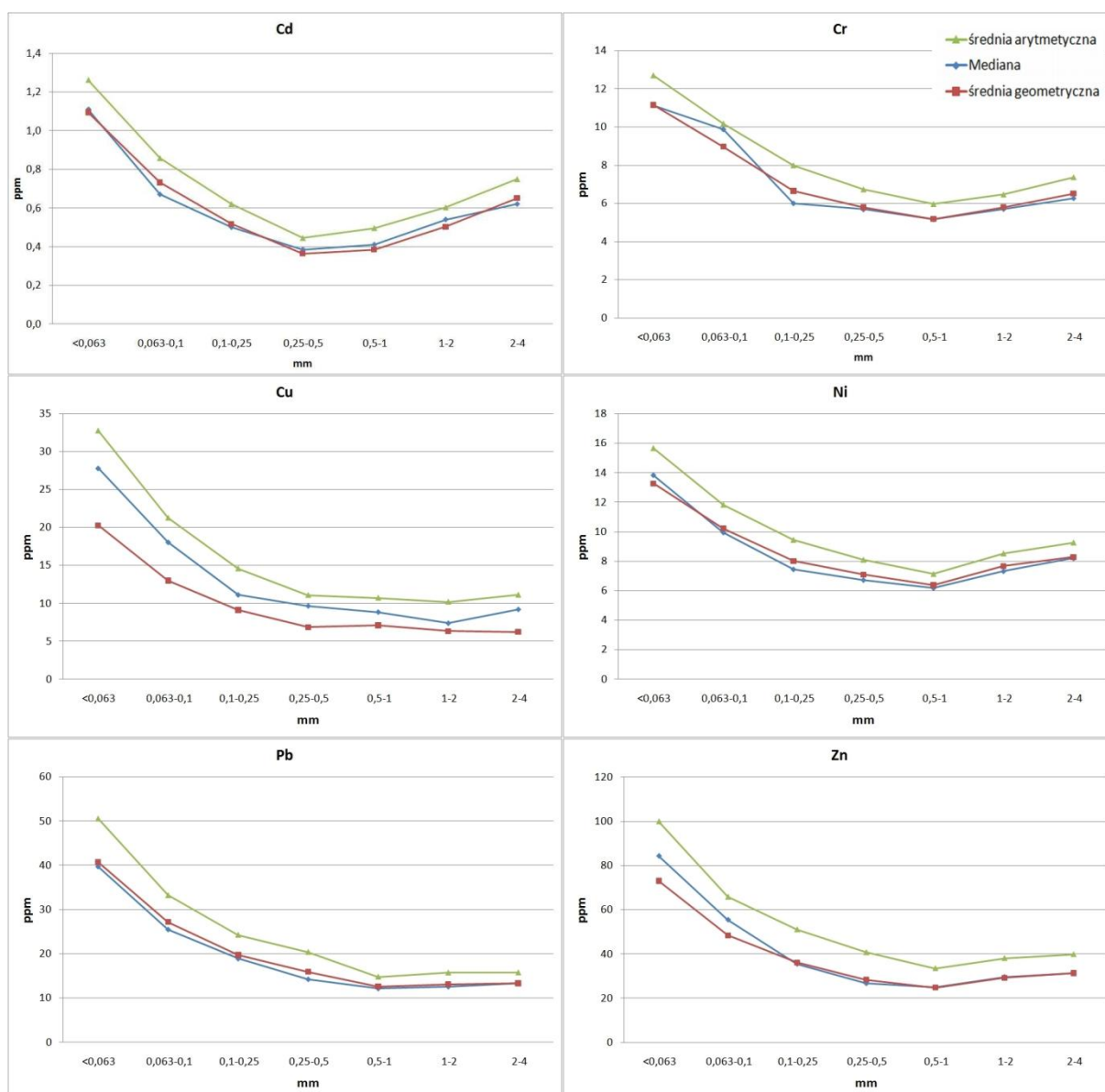
W przypadku miedzi dysproporcje między różnymi frakcjami zaznaczają się znacznie bardziej. Stężenia dla frakcji największej wynosiły średnio od 20 do 33 ppm. W całej grupie frakcji największych (0,25 do 4 mm) osiągały one wartości od 6 do 11 ppm. Można mówić zatem o różnicy trzykrotnej.

Stężenia obliczone dla niklu przypominały nieco wartości wykazane dla chromu. We frakcjach najniższych wynosiły średnio 13-15 ppm, spadając do 6-7 ppm we frakcji 0,5-1 mm i ponownie rosnąc w grupie frakcji największych do 8-9 ppm.

Stężenia wykazane dla ołowiu kształtowały się podobnie jak stężenia wykazane dla miedzi, osiągając jednak nieco wyższe wartości. Frakcje najdrobniejsze miały zawartość ołowiu na poziomie 40-50 ppm. Grupa frakcji największych (0,5-4 mm) miała z kolei stężenia najniższe wahające się średnio od 12 do 15 ppm. Różnice między poszczególnymi frakcjami wynosiły tu zatem nawet 350%.

Zdecydowanie najwyższe wartości obserwowano dla cynku, którego zawartość we frakcjach największych osiągała od 75 do 100 ppm, spadając do 25-35 ppm we frakcjach pośrednich (0,5-1 mm) i rosnąc nieznacznie we frakcjach najwyższych 30-40 ppm.

Wszystkie pierwiastki wykazały różnice w stężeniach w zależności od frakcji. Największe stężenia obserwowano zawsze we frakcjach najmniejszych. Stężenia najmniejsze występowały w grupie frakcji największych: 0,25 – 4 mm. Różnice względne w zawartości pierwiastków wynosiły zwykle 200-300 %.



Ryc. 1 Stężenia metali w zależności od frakcji granulometrycznej

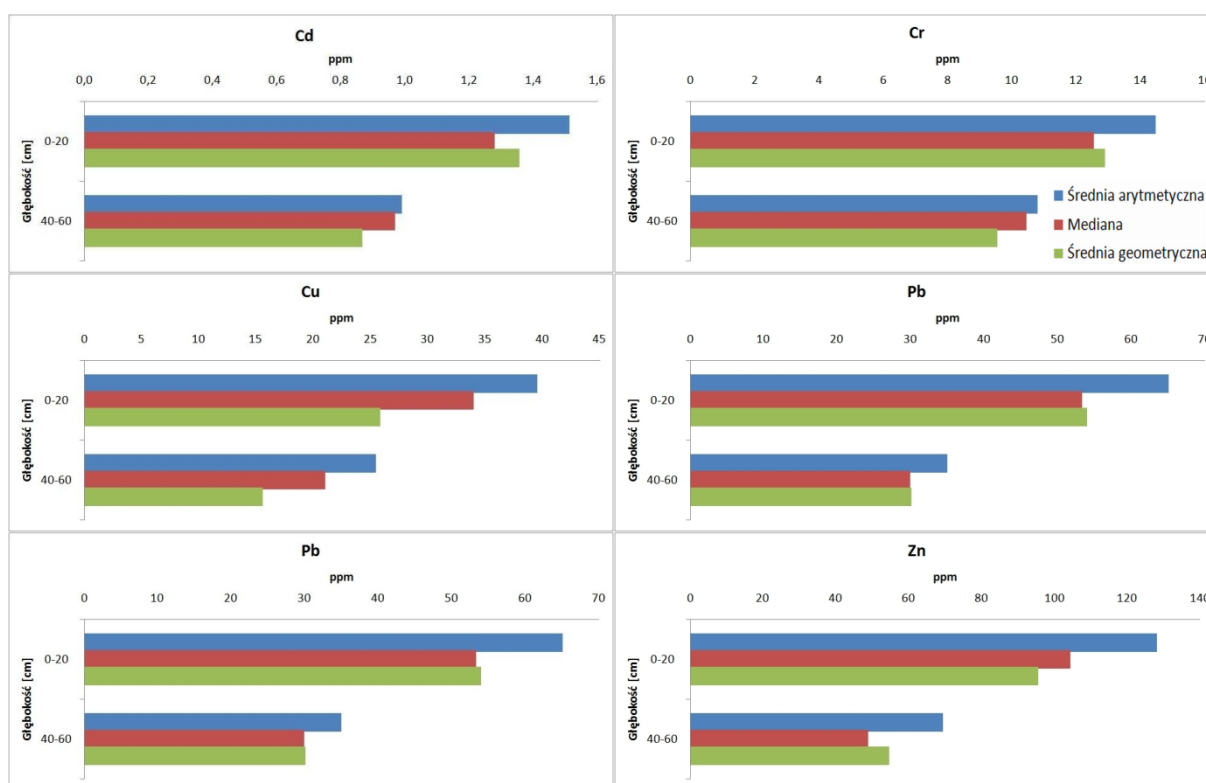
b. Zróżnicowanie stężeń metali w zależności od głębokości pobrania próbek

Jeżeli ruch kołowy powoduje zwiększenie stężenia metali ciężkich w glebach, to stężenia te powinny być najwyższe w powierzchniowej warstwie gleby i maleć wraz z głębokością. W celu sprawdzenia tej hipotezy przeanalizowano średnie stężenia Cd, Cr, Cu, Pb, Ni i Zn w powierzchniowej warstwie gleby (0-20 cm) oraz na głębokości 40-60 cm. Pod uwagę wzięto 8 punktów badawczych z obu stron drogi z odległości 1, 5 i 10 m. Do obliczeń wykorzystano jedynie stężenia wyznaczone dla najmniejszej frakcji. Dla obu głębokości uwzględniono zatem po 48 próbek, na podstawie których wyznaczono średnie arytmetyczne, mediany i średnie geometryczne.

Wśród wszystkich analizowanych pierwiastków zaobserwowano spadek ich stężenia wraz z głębokością. Stężenia kadmu w warstwie przypowierzchniowej wynosiły średnio

1,3-1,5 ppm, podczas gdy w warstwie 40-60 cm około 0,9 ppm. W najmniejszym stopniu spośród wszystkich analizowanych metali malały stężenia chromu: z 12,5-14 ppm na głębokości 0-20 cm do 9-10,5 ppm na głębokości 40-60 cm.

Średnia arytmetyczna stężeń Cu malała z 40 do 25 ppm. Na 40% spadek stężeń wraz z głębokością wskazuje również średnia geometryczna. Średnia arytmetyczna stężeń ołowiu na głębokości 40-60 cm była o połowę mniejsza niż ta sama średnia obliczona dla warstwy powierzchniowej. Na około 45%-owy spadek wartości stężeń wskazywałyby mediana i średnia geometryczna. Podobne różnice rzędu 40-55% w zależności od wskaźnika występują w stężeniach cynku. Średnie stężenia niklu w próbkach przypowierzchniowych wynosiły 16-19 ppm, podczas gdy jego stężenia w warstwie 40-60 cm pod powierzchnią ziemi to średnio 11-14 ppm.



Ryc. 2 Stężenia metali w zależności od głębokości pobrania (0-20 cm i 40-60 cm)

c. Odległość od drogi

Jeżeli ruch kołowy powoduje podwyższone stężenie metali w glebach, to ich stężenia powinny być najwyższe blisko krawędzi jezdni i maleć w miarę oddalania się od krawędzi jezdni. W celu sprawdzenia tej hipotezy przeanalizowano stężenia metali w odległościach 1, 5 i 10 metrów od krawędzi jezdni. W każdym grupie znalazły się próbki ze wszystkich 9 punktów, z obu stron jezdni z obu wysokości. W analizie uwzględniono

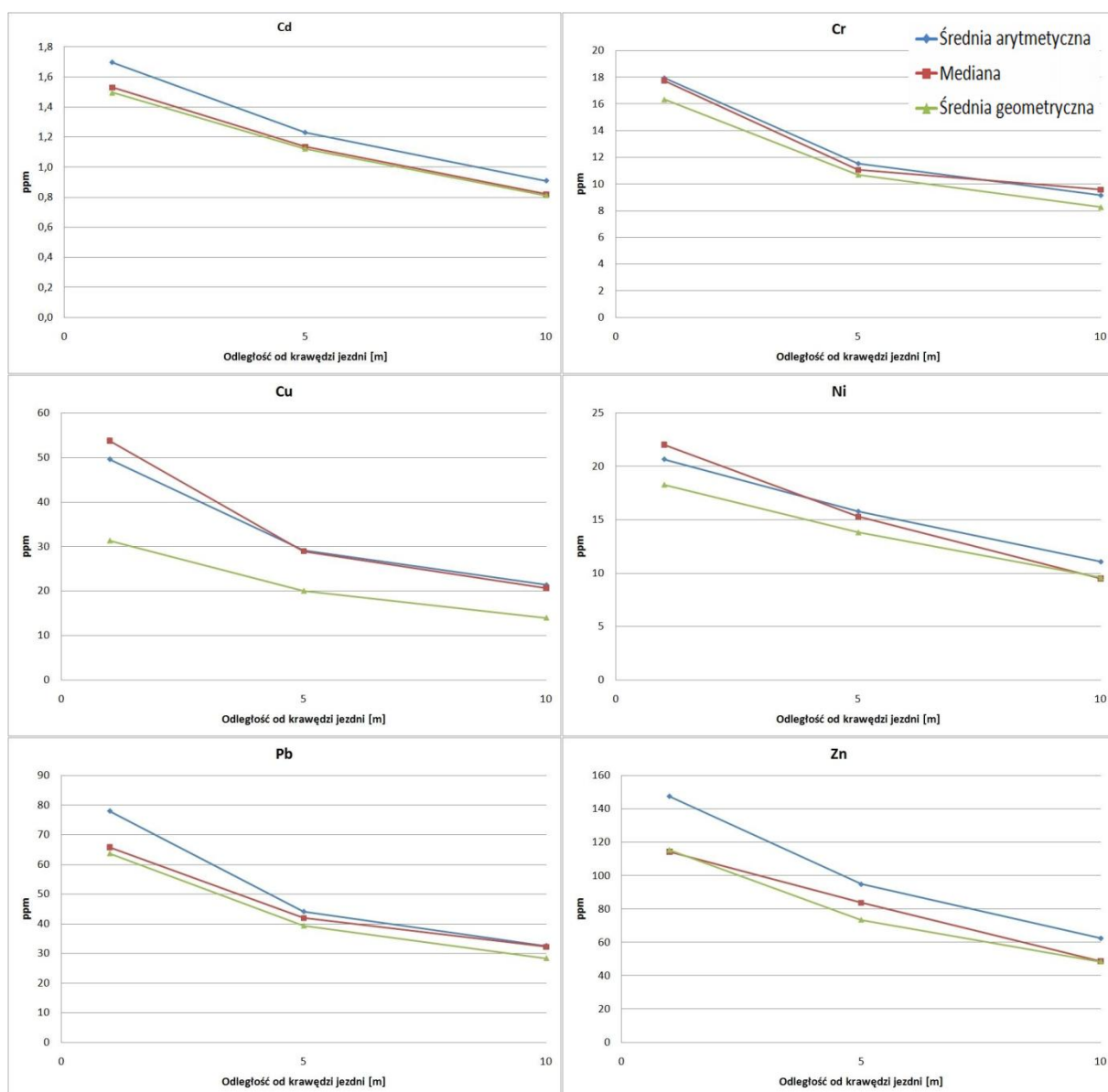
tylko najmniejszą frakcję osadu. W każdej grupie znalazły się zatem 32 próbki, z których obliczono medianę, średnią arytmetyczną i średnią geometryczną.

Wyniki uzyskane na podstawie wszystkich trzech parametrów okazały się podobne. Zaobserwowano spadek stężenia wszystkich analizowanych metali wraz z odległością od krawędzi jezdni. We wszystkich przypadkach spadek miał większy gradient między 1 i 5 metrem niż między 5 i 10 metrem.

Średnie stężenia kadmu odnotowane w pobliżu drogi wyniosły 1,5 – 1,7 ppm. Średnie stężenia w odległości 10 m wyniosły 0,8-0,9 ppm. Stężenia malały zatem o około 45% na odcinku między pierwszym i dziesiątym metrem.

Średnie stężenia chromu w odległości 1 m wyniosły 16-18 ppm, a w odległości 10 m 8-9,8 ppm. Daje to spadek wartości na badanym odcinku o prawie 50%. Stężenia miedzi malały o ponad 60% w przypadku mediany, 60% w przypadku średniej arytmetycznej i około 50% w przypadku średniej geometrycznej.

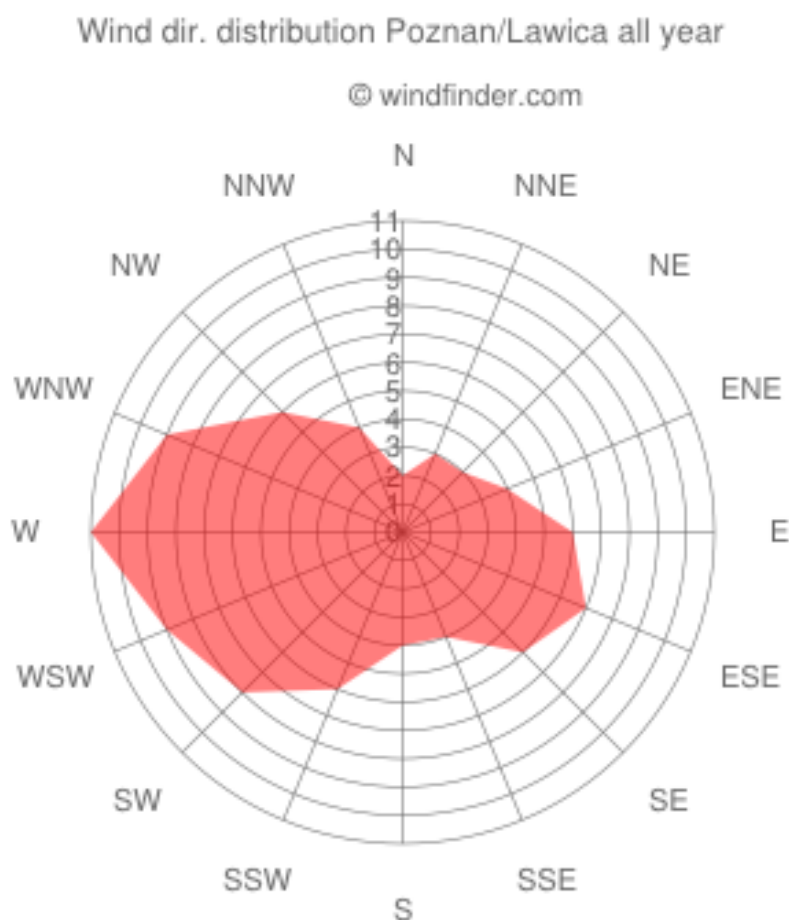
Średnie stężenia niklu wahały się od 16 do 22 ppm najbliżej krawędzi jezdni oraz około 10-11 ppm w najdalszej odległości. Średni spadek stężeń wyniósł zatem 40-50%. Większe spadki obserwowano w przypadku ołowiu. Analizując wskaźnik średniej geometrycznej był to spadek z 63 do 28 ppm. W przypadku mediany z 78 do 32 ppm co oznacza spadek prawie 60%. Równie gwałtowne zmiany zaobserwowano w zawartości cynku, gdzie mediana, średnia arytmetyczna i średnia geometryczna malała o 55-60% na odcinku między 1 i 10 metrem od krawędzi jezdni.



Ryc. 3 Wykresy obrazujące zmianę stężenia analizowanych metali wraz z odległością od krawędzi jezdni, źródło: opracowanie własne

d. Orientacja drogi w stosunku do dominującego kierunku wiatru

W obrębie Poznania dominują wiatry zachodnie. Oznacza to, że jeśli wiatr jest czynnikiem wpływającym na stężenie metali ciężkich przy drogach wylotowych z Poznania to stężenie pierwiastków po wschodniej stronie dróg ukierunkowanych południkowo powinno być relatywnie wyższe niż po stronie zachodniej.



Ryc. 4 Średnioroczny rozkład wiatrów w miejscowości Poznań, źródło: windfinder.com

Warunek ułożenia południkowego spełniają 4 drogi. Są one oznaczone na mapie (ryc. 1) numerami 1, 4, 5 i 9. Przeanalizowano stężenia metali ciężkich w odległości 1 metra od krawędzi jezdni po zachodniej i wschodniej stronie dróg. Wyniki zestawiono w tabeli pierwszej. Zwiększone stężenia wszystkich pierwiastków, z wyjątkiem Cd w punkcie 4, zaobserwowano po wschodniej stronie dróg, na których położone są punkty 1, 4 i 5. Zwiększone stężenia pierwiastków po stronie zachodniej zaobserwowano z kolei przy drodze nr 9.

Tab. 1. Tabela porównująca rozkład stężeń metali ciężkich w warstwie powierzchniowej w odległości 1 m od krawędzi jezdni po stronie wschodniej i zachodniej. W punkcie pierwszej porównano wyniki dla frakcji osadu 0,063-0,1 mm. W punktach 4, 5, 9 porównano wyniki dla frakcji <0,063 mm.

Punkt	Pierwiastek	Zachód	Wschód
1	Cu	0.945	2.049

	Cd	0.95	2.05
	Ni	5.63	11.44
	Pb	22.58	111.12
	Zn	36.03	124.23
	Cr	12.5	23.24
4	Cu	24.24	28.57
	Cd	1.97	1.05
	Ni	9.26	10.43
	Pb	24.69	43.86
	Zn	70.64	86.61
	Cr	8.1	11.27
5	Cu	77.59	107.76
	Cd	2.34	2.48
	Ni	30.48	40.35
	Pb	113.55	137.47
	Zn	205.48	474.24
	Cr	16.2	91.58
9	Cu	117.88	78.46
	Cd	2.92	2.29
	Ni	37.44	23.08
	Pb	84.08	68.77
	Zn	321.64	284.44
	Cr	26.39	16.75

5. Wnioski

Zaprezentowane wyniki wskazują na wzrost stężenia Pb, Zn, Cu, Cr, Ni i Cd przy krawędzi jezdni w stosunku do ich stężenia w odległości 5 i 10 metrów, a także tła geochemicznego. Stężenia obserwowane w warstwie powierzchniowej gleby są większe niż stężenia w warstwie o głębokości 40-60 cm. Oznacza to, że ruch samochodowy jest bezpośrednią przyczyną zanieczyszczenia gleb w pobliżu dróg o dużym natężeniu ruchu.

Spośród analizowanych pierwiastków stosunkowo najbardziej wzrasta stężenie ołowiu. Nie udało się natomiast wykazać w sposób jednoznaczny wpływu kierunku wiatru na rozkład zanieczyszczeń gruntów.

Najbardziej podatne na kumulowanie zanieczyszczeń są osady drobnoziarniste. Nieco większe stężenia obserwowane wśród ziaren frakcji największych wynikają prawdopodobnie z przyklejania się frakcji najdrobniejszej do ziaren dużych. Takie aglomeraty są często nierozdzielne podczas przesiewania próbek.

Zważywszy na fakt, że największa część zanieczyszczeń kumuluje się w najbliższym otoczeniu drogi w warstwie powierzchniowej o najdrobniejszym uziarnieniu możliwe byłoby tworzenie filtrów ziemnych kilkunastocentymetrowej grubości i kilkumetrowej szerokości filtrów ziemnych stworzonych z osadu o frakcji ilastej. Filtry takie jako nieprzepuszczalne dla wód powierzchniowych musiałyby współdziałać z systemem kanalizacji odprowadzającej spływające po nich wody powierzchniowe.

Podziękowania

Autorzy artykułu dziękują E. Grabowskiej, E. Krzyżak, P. Kobyłeckiej, M. Prokopyk, J. Rychły, R. Wilczkowiakowi, P. Zakrzewskiemu, D. Zimnemu za pomoc w pracach terenowych i laboratoryjnych.