



MICHAŁ CWIAKAŁA¹⁾
 JOANNA KORZENIOWSKA²⁾
 CEZARY KRASZEWSKI³⁾
 LESZEK RAFALSKI⁴⁾

TESTING THE CONCENTRATION OF TRACE METALS IN SOILS NEAR ROADS WITH VARIED TRAFFIC INTENSITY

BADANIA STĘŻEŃ METALI ŚLADOWYCH W GRUNTACH W POBLIŻU DRÓG O RÓŻNYM NATĘŻENIU RUCHU SAMOCHODOWEGO

STRESZCZENIE. Transport samochodowy wpływa na stan środowiska przyrodniczego i jest źródłem kumulacji metali śladowych w przydrożnych gruntach. Stężenia metali śladowych w gruntach przydrożnych zależą przede wszystkim od odległości od drogi oraz natężenia ruchu samochodowego. Celem badań było ustalenie zasięgu oddziaływania trasy komunikacyjnej (Kraków-Zakopane) oraz określenie wpływu natężenia ruchu samochodowego na stężenia metali śladowych w gruncie. Do badań wybrano trzy odcinki dróg o zróżnicowanym natężeniu ruchu samochodowego. W próbkach gruntu (pobranego z głębokości od 0 do 30 cm) określono (metodą spektrofotometryczną) stężenia Cr, Cu, Ni, Pb i Zn w odległości 5, 10, 50 i 100 metrów od drogi. W otoczeniu drogi Kraków-Myślenice na odcinku o dużym natężeniu ruchu samochodowego stwierdzono kilkukrotnie wyższe stężenia metali śladowych w gruncie w porównaniu do gruntów przy drodze lokalnej Łopuszna-Dursztyn o małym natężeniu ruchu. Największe różnice w stężeniach metali w gruncie występowały w przypadku: niklu (czterokrotnie) we wszystkich zbadanych odległościach oraz miedzi (trzykrotnie) – w odległości 5 i 10 metrów. W pobliżu badanych dróg stwierdzono podwyższone stężenie Cr, Cu, Ni, Pb i Zn w gruncie w porównaniu do terenów odniesienia. Spadek stężeń badanych metali śladowych, wraz ze wzrostem odległości od krawędzi drogi, jednoznacznie wskazuje na motoryzacyjne źródło pochodzenia tych zanieczyszczeń.

SŁOWA KLUCZOWE: metale śladowe, natężenie ruchu samochodowego, oddziaływanie ruchu samochodowego na środowisko, stężenie metali śladowych w gruncie, zanieczyszczenie przydrożnych gruntów.

ABSTRACT. Motor transport affects the state of the natural environment and results in the accumulation of trace metals in roadside soils. The trace metal concentrations in roadside soils depend mainly on the distance from the road and the traffic intensity. The aim of the investigations was to determine the range of the environmental impact of the (Cracow-Zakopane) transport route and the effect of traffic intensity on the concentrations of trace metals in the soil. Three road sections differing in their traffic intensity were selected for this purpose. The concentrations of Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in soil samples taken from a depth of 0-30 cm at a distance of 5, 10, 50 and 100 metres from the road were spectrophotometrically determined. The metal concentrations in the surroundings of the Cracow-Myślenice road carrying heavy traffic were found to be several times higher than the ones in the soils near the Łopuszna-Dursztyn local road with low traffic intensity. The largest differences in trace metal concentrations in the soils were found for nickel (four times higher concentrations along the Cracow-Myślenice road) at all the considered distances and for copper (three times higher) at the distances of 5 and 10 metres. In comparison with the reference areas, in the vicinity of the investigated roads the concentrations of Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in the soil were found to be elevated. The fact that the concentrations of the trace metals decrease with increasing distance from the road's edge clearly indicates the traffic-related origin of the contaminants.

KEYWORDS: contamination of roadside soils, content of trace metals in soil, environmental impact of road traffic, trace metals, traffic intensity.

¹⁾ Instytut Badawczy Dróg i Mostów, ul. Instytutowa 1, 03-302 Warszawa; mcwiakala@ibdim.edu.pl (✉)

²⁾ Uniwersytet Pedagogiczny im. Komisji Edukacji Narodowej, ul. Podchorążych 2, 30-084 Kraków; jkorzen@up.krakow.pl

³⁾ Instytut Badawczy Dróg i Mostów, ul. Instytutowa 1, 03-302 Warszawa; ckraszewski@ibdim.edu.pl

⁴⁾ Instytut Badawczy Dróg i Mostów, ul. Instytutowa 1, 03-302 Warszawa; lralfalski@ibdim.edu.pl

1. WSTĘP

Motoryzacja wywiera negatywny wpływ na otaczające środowisko. Zanieczyszcza przydrożne grunty i rośliny, pogarsza stan powietrza i wód, a także przyczynia się do powstawania wysokiego natężenia dźwięku, uciążliwego dla ludzi i zwierząt. Transport samochodowy jest źródłem wysokich stężeń metali śladowych i lotnych związków organicznych (VOCs) w środowisku w otoczeniu dróg [1, 2]. Wyższe stężenia metali dotyczą przede wszystkim:

- cynku, kadmu, chromu, miedzi, niklu i ołowiu pochodzących ze ścierania się opon [3-7] i okładzin hamulcowych [8-10], używania olejów i smarów [10] oraz ze zużywania się nawierzchni dróg [11-15],
- platynowców z procesu zużywania się katalizatorów [16, 17].

Motoryzacja powoduje kilka lub kilkunastokrotnie większą kumulację metali w gruntach i roślinach w porównaniu z kumulacją tych metali na terenach niezanieczyszczonych [18, 19]. Jednakże dane te odnoszą się do dawniejszych badań dot. oddziaływania pojazdów o starszych konstrukcjach silników, generujących więcej zanieczyszczeń niż obecnie. Według tych badań rozkład przestrzenny metali śladowych w gruntach przydrożnych zależy od wielu czynników. Za najważniejsze uważa się odległość od drogi [20, 21] oraz natężenie ruchu samochodowego [22, 23]. Stężenia metali w gruntach i roślinach spadają wraz ze wzrostem odległości od drogi. Nie został jednak określony wyraźnie zasięg oddziaływania transportu samochodowego na stężenia tych metali w gruncie. Na przykład według [24] określa się go na 100 - 150 metrów, a według [25] nawet na kilkaset metrów. Kolejnym czynnikiem, który w znaczący sposób wpływa na ilość kumulowanych metali śladowych w gruntach i roślinach, jest natężenie ruchu samochodowego. Stwierdzono, że przy drogach o dużym natężeniu ruchu stężenia metali w gruntach i roślinach są one kilka/kilkunastokrotnie wyższe niż przy drogach o małym natężeniu ruchu samochodowego [19, 26]. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań stężeń metali śladowych w otoczeniu dróg o zróżnicowanym natężeniu ruchu samochodowego w warunkach krajowych. Badania te przeprowadzono w celu określenia wpływu i zasięgu oddziaływania wybranych dróg.

2. MATERIAŁY I METODY BADAŃ

Do badań wytypowano trzy odcinki dróg o zróżnicowanym natężeniu ruchu samochodowego. Na pierwszym odcinku drogi krajowej nr 7 Kraków-Myślenice natężenie ruchu samochodowego było duże i wynosiło 27 789 pojazdów/dobę. Na drugim odcinku drogi krajowej nr 7 Myślenice-Zakopane

1. INTRODUCTION

The development of motor transport has an adverse effect on the surrounding environment: roadside soils and plants become contaminated, the condition of air and waters deteriorates and the intensity of noise arduous to people and animals increases. Motor transport is a source of high concentrations of trace metals and volatile organic compounds (VOCs) in the environment of roads [1, 2]. The elevated metal concentrations apply mainly to:

- zinc, cadmium, chromium, copper, nickel and lead coming from the abrasion of tyres [3-7] and brake linings [8-10], the use of oils and greases [10] and road surface wear [11-15],
- platinum metals coming from catalytic converter attrition [16, 17].

Motor transport results in the accumulation of metals in soils and plants, which is from a few to 10-20 times greater than the accumulation of the metals in unpolluted areas [18, 19]. The above data come from older studies of the impact of vehicles with older design engines generating more pollution than the contemporary ones. According to the studies, the spatial distribution of trace metals in roadside soils depends on many factors. The distance from the road [20, 21] and traffic intensity [22, 23] are considered to be the primary factors. Metal concentrations in soils and plants decrease with increasing distance from the road. However, so far no precise range of the motor transport effect on the metal concentrations has been determined. For example, according to [24], the range is 100-150 metres, but according to [25], it amounts to as much as a few hundred metres. The other factor which has a significant bearing on the amount of trace metals accumulated in soils and plants is traffic intensity. It has been found that metal concentrations in soils and plants near roads with heavy traffic are a few/ten-twenty times higher than near roads with light traffic [19, 26]. This paper presents the results of investigations of trace metal concentrations in the surroundings of domestic roads with different traffic intensity. The investigations were carried out to determine the environmental impact of selected roads and the range of this impact.

2. MATERIALS AND TEST METHODS

Three road sections differing in their traffic intensity were selected for the investigations. The first road section, i.e. the Cracow-Myślenice section of national road no. 7, carried heavy traffic, amounting to 27,789 vehicles per day. On the second road section, i.e. the Myślenice-Zakopane

natężenie ruchu samochodowego było średnie i wynosiło 11 920 pojazdów/dobę. Natomiast na trzecim odcinku drogi powiatowej 1644K Łopuszna-Dursztyn natężenie ruchu samochodowego było małe i wynosiło 1 584 pojazdów/dobę.

Na odcinku drogi Kraków-Myślenice próbki gruntu pobrano w następujących lokalizacjach: Głogoczków 1 i Głogoczków 2, zaś na odcinku drogi Myślenice-Zakopane próbki gruntu pobrano w miejscowościach: Pcim, Tenczyn, Krzeczów, Skomielna Biała, Rdzawka II, Biały Dunajec. Natomiast na odcinku drogi Łopuszna-Dursztyn próbki pobrano w miejscowości Nowa Biała, w czterech lokalizacjach: Nowa Biała 1, Nowa Biała 2, Nowa Biała 3 i Nowa Biała 4. W każdym miejscu próbki gruntu zostały pobrane w czterech odległościach od drogi: 5, 10, 50 i 100 metrów (Rys. 1). Dla każdego odcinka drogi pobrano 8 próbek gruntu w czterech odległościach od drogi (łącznie 32 próbki). Dodatkowo, w przypadku każdego odcinka drogi, pobrano cztery próbki referencyjne (tłowe) z miejsc zlokalizowanych w odległości co najmniej 500 metrów od drogi i usytuowanych poza obszarami zabudowanymi.

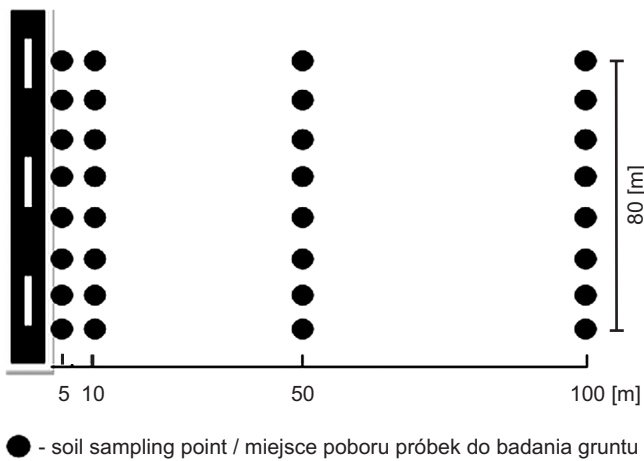


Fig. 1. Location scheme of soil sampling

Rys. 1. Schemat lokalizacji poboru próbek gruntowych

W celu określenia stężenia metali śladowych (Cr, Cu, Ni, Pb i Zn) przeprowadzono badania laboratoryjne pobranych próbek gruntowych (z głębokości od 0 do 30 cm) według własnej procedury:

- wysuszenie próbek w temperaturze 70°C,
- rozdrobnienie próbek w moździerzu ceramicznym i przesianie przez sito o średnicy oczek 2 mm,
- zmineralizowanie 1 g wysuszonego materiału w mieszaninie stężonych kwasów HNO₃ i HClO₄ w proporcji 4:1,
- przesączenie otrzymanego roztworu i przechowywanie w polietylenowych, szczelnych pojemnikach do czasu wykonania analizy metodą spektrofotometryczną,

section of national road no. 7, traffic intensity was medium, amounting to 11,920 vehicles per day. On the third road section, i.e. the Łopuszna-Dursztyn section of county road 1644K, traffic intensity was low, amounting to 1,584 vehicles per day.

On the Kraków-Myślenice road section soil samples were collected in the following locations: Głogoczków 1 and Głogoczków 2. On the Myślenice-Zakopane road section soil samples were collected in the municipalities: Pcim, Tenczyn, Krzeczów, Skomielna Biała, Rdzawka II and Biały Dunajec. On the Łopuszna-Dursztyn road section soil samples were collected in the municipality of Nowa Biała in four locations: Nowa Biała 1, Nowa Biała 2, Nowa Biała 3 and Nowa Biała 4. In each of the places samples were taken at four distances from the road, i.e. 5, 10, 50 and 100 metres (Fig. 1). For each of the road sections 8 soil samples were taken at four distances from the road (altogether 32 samples). In addition, in the case of each road section four reference (background) samples were collected from places located outside built-up areas at a distance of at least 500 metres from the road.

In order to determine the concentration of the trace metals (Cr, Cu, Ni, Pb and Zn) the soil samples taken (from the depth of 0-30 cm) were tested in a laboratory according to the following in-house procedure:

- drying the samples at the temperature of 70°C,
- pulverizing the samples in a porcelain mortar and passing the powder through a sieve with a mesh diameter of 2 mm,
- mineralizing 1 g of the dried material in a 4:1 mixture of concentrated acids HNO₃ and HClO₄,
- filtering the solution and storing it in tight polyethylene containers before subjecting it to a spectrophotometric analysis,
- determining the concentrations of the trace metals, using the spectrophotometric method.

The test results were statistically processed by calculating the mean values and the standard deviations.

3. TEST DATA AND THEIR ANALYSIS

The concentrations of trace metals in the soil depend on the traffic intensity. In order to determine the effect of traffic intensity on the accumulation of chrome, zinc, copper, nickel and lead in the soil the concentrations of the metals were investigated along the three road sections differing in their traffic intensity (high intensity: 27,789 vehicles per day – the Cracow-Myślenice road, medium intensity: 11,920 ve-

- oznaczenie stężeń metali śladowych metodą spektrofotometryczną.

Wyniki badań opracowano statystycznie; obliczono wartości średnie i odchylenia standardowe.

3. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Stężenia metali śladowych w gruncie zależą od natężenia ruchu samochodowego. Aby określić wpływ natężenia ruchu samochodowego na kumulację chromu, cynku, miedzi, niklu i ołowiu w gruncie przeprowadzono badania stężeń metali wzdłuż trzech odcinków dróg o różnym natężeniu ruchu samochodowego (dużym: 27 789 pojazdów/dobę – droga Kraków-Myślenice, średnim: 11 920 pojazdów/dobę – droga Myślenice-Zakopane oraz niskim: 1 584 pojazdów/dobę – droga Łopuszna-Dursztyn). Natężenie ruchu samochodowego dla odcinka drogi lokalnej Łopuszna-Dursztyn było siedemnaściekrotnie mniejsze w porównaniu do natężenia dla odcinka drogi Kraków-Myślenice i siedmiokrotnie w stosunku do odcinka Myślenice-Zakopane. Porównano ze sobą (Tabl. 1) średnie stężenia metali w gruncie wzdłuż drogi Łopuszna-Dursztyn, odcinka drogi Kraków-Myślenice i odcinka Myślenice-Zakopane.

hicles per day – the Myślenice-Zakopane road and low intensity: 1,584 vehicles per day – the Łopuszna-Dursztyn road). The traffic intensity on the local road was seventeen times lower than on the Cracow-Myślenice road and seven times lower than on the Myślenice-Zakopane road. The mean concentrations of the metals in the soil along the Łopuszna-Dursztyn road, along the Kraków-Myślenice road and along the Myślenice-Zakopane road are compared in Table 1.

The comparison of the concentrations of the metals in the soil along the three road sections differing in their traffic intensity shows differences in the concentrations of the metals in the soil material. The concentrations of the trace metals in the soil reached the highest values for the road section with the highest traffic intensity (Cracow-Myślenice). The Cr, Cu, Ni, Pb and Zn concentrations in the soil were higher in the vicinity of the Cracow-Myślenice road section and the Myślenice-Zakopane road section than near the Łopuszna-Dursztyn road (Table 1, Figs 2, 3 and 4).

Table 1. Weight concentration of trace metals [mg/kg] in soil along national roads and a county road with different traffic intensity and on reference areas (mean values \pm standard deviations)

Tablica 1. Stężenia metali śladowych [mg/kg] w gruncie wzdłuż dróg krajowych i drogi powiatowej o różnym natężeniu ruchu samochodowego oraz na terenach referencyjnych (wartości średnie \pm odchylenia standardowe)

Distance [m] Odległość	Traffic intensity [number of vehicles/day] Natężenie ruchu samochodowego [l. poj./dobę]	Weight concentrations of trace metals (mean values \pm standard deviations) [mg/kg] Stężenia metali śladowych (wartości średnie \pm odchylenia standardowe)				
		Cr	Ni	Cu	Zn	Pb
5	1 584	59.3 \pm 14.3	13.1 \pm 6.4	10.0 \pm 3.9	70.5 \pm 22.5	28.2 \pm 4.2
	11 920	69.5 \pm 53.1	41.7 \pm 17.6	27.0 \pm 9.5	109.2 \pm 21.1	42.8 \pm 9.8
	27 789	82.1 \pm 55.4	56.6 \pm 19.0	29.0 \pm 12.3	130.5 \pm 56.4	50.0 \pm 23.5
10	1 584	57.8 \pm 13.1	11.3 \pm 5.6	9.5 \pm 2.3	65.0 \pm 23.1	27.0 \pm 3.9
	11,920	62.3 \pm 47.2	40.4 \pm 23.2	22.6 \pm 10.5	81.8 \pm 27.5	41.4 \pm 20.2
	27 789	77.0 \pm 42.2	50.9 \pm 17.9	26.6 \pm 11.6	110.2 \pm 45.0	45.3 \pm 17.3
50	1 584	48.6 \pm 14.5	10.9 \pm 4.2	8.5 \pm 2.1	64.9 \pm 24.5	24.8 \pm 6.3
	11 920	57.9 \pm 49.5	32.2 \pm 12.6	16.3 \pm 9.6	75.2 \pm 18.3	36.2 \pm 8.7
	27 789	65.3 \pm 37.8	38.8 \pm 13.4	18.9 \pm 10.4	83.6 \pm 27.7	38.9 \pm 19.2
100	1 584	46.3 \pm 8.6	6.8 \pm 3.2	6.0 \pm 2.8	55.4 \pm 25.6	20.6 \pm 5.3
	11 920	57.6 \pm 43.1	24.9 \pm 7.0	13.5 \pm 7.9	67.7 \pm 21.6	30.2 \pm 8.7
	27 789	59.1 \pm 23.0	28.5 \pm 10.1	16.0 \pm 3.7	70.0 \pm 23.4	35.0 \pm 10.2
Background Tło	1 584	39.7 \pm 15.6	7.0 \pm 2.3	5.9 \pm 1.8	48.0 \pm 14.4	17.8 \pm 7.2
	11 920	51.6 \pm 20.0	20.3 \pm 12.3	12.7 \pm 6.7	65.9 \pm 23.1	28.4 \pm 14.7
	27 789	58.9 \pm 23.5	26.4 \pm 10.9	15.4 \pm 7.1	68.8 \pm 25.2	33.2 \pm 15.0

Porównanie stężeń badanych metali w gruncie wzdłuż trzech odcinków dróg o różnym natężeniu ruchu samochodowego wykazało występowanie różnic w stężeniu metali w materiale gruntowym. Stężenia badanych metali śladowych w gruncie osiągały najwyższe wartości dla odcinka drogi o największym natężeniu ruchu samochodowego (Kraków-Myślenice). Stężenia Cr, Cu, Ni, Pb i Zn w gruncie były wyższe w pobliżu odcinka drogi Kraków-Myślenice i Myślenice-Zakopane niż przy drodze Łopuszna-Dursztyn (Tabl. 1, Rys. 2, 3 i 4).

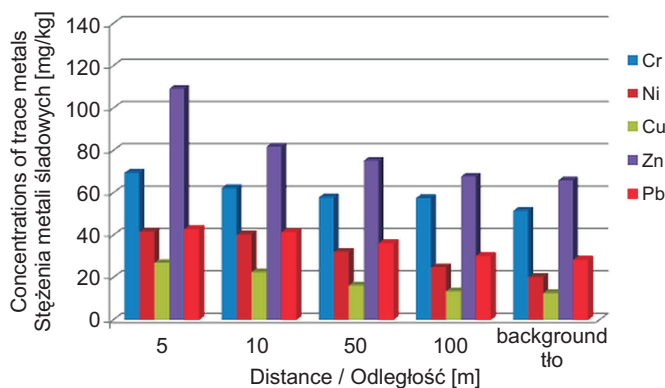


Fig. 3. Mean concentrations of trace metals in a soil drawn at the road section Myślenice-Zakopane with a mean traffic intensity

Rys. 3. Średnie stężenia metali śladowych w gruncie pobranym przy odcinku drogi Myślenice-Zakopane o średnim natężeniu ruchu samochodowego

Stężenia metali śladowych w gruncie zależą nie tylko od natężenia ruchu samochodowego, lecz również od odległości od drogi. Stężenia wszystkich badanych metali w gruncie osiągały najwyższe wartości w bezpośrednim sąsiedztwie drogi, czyli w odległości do 10 metrów (Tabl. 1). Najniższe stężenia badanych metali, zbliżone do wartości tłowych zaobserwowano w odległości 100 m od drogi. Obliczone zostały średnie współczynniki wzbogacenia w metale próbek gruntowych (Tabl. 2) pobranych w czterech odległościach od drogi względem terenów referencyjnych, które wyrażono ilorazem stężenia metalu w próbce pobranej z określonej odległości do stężenia metalu w terenie referencyjnym.

Współczynniki wzbogacenia dla wszystkich badanych metali osiągały największe wartości w bezpośrednim otoczeniu drogi (5 lub 10 m od drogi). Stężenia Cu i Ni w gruncie w odległości 5 m od drogi w porównaniu ze stężeniami tych metali w terenie referencyjnym są około dwukrotnie wyższe. Przy porównaniu próbek pobranych w odległości 100 m z próbkami pobranymi z terenów referencyjnych widać, że współczynniki wszystkich badanych metali są równe 1,0 lub 1,1, tzn. że w odległości około 100 metrów osiągają wartości podobne do terenów referencyjnych (Tabl. 2).

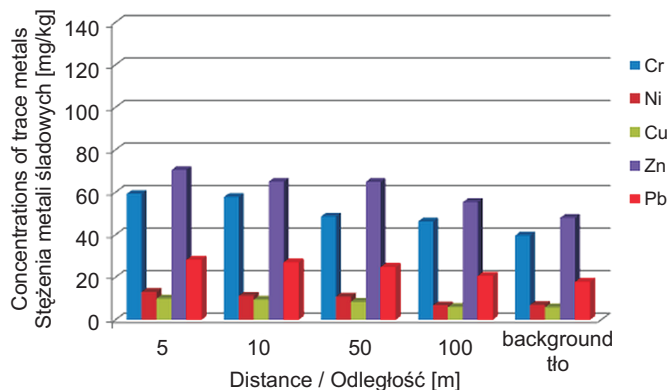


Fig. 2. Mean concentrations of trace metals in a soil drawn at the road section Łopuszna-Dursztyn with a low traffic intensity
Rys. 2. Średnie stężenia metali śladowych w gruncie pobranym przy odcinku drogi Łopuszna-Dursztyn o niskim natężeniu ruchu samochodowego

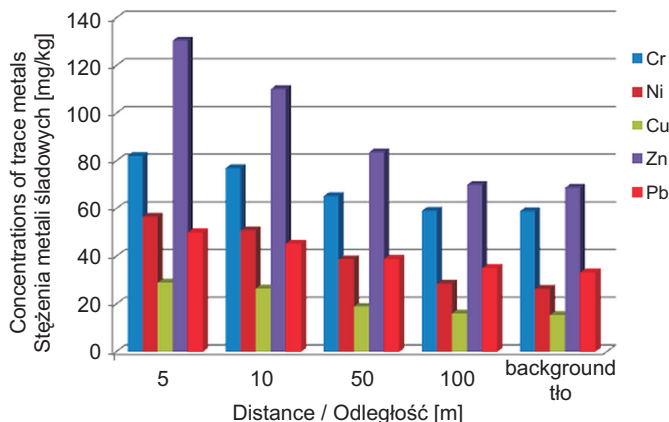


Fig. 4. Mean concentrations of trace metals in a soil drawn at the road section Kraków-Myślenice with a high traffic intensity
Rys. 4. Średnie stężenia metali śladowych w gruncie pobranym przy odcinku drogi Kraków-Myślenice o dużym natężeniu ruchu samochodowego

The concentrations of trace metals in soil depend not only on the traffic intensity, but also on the distance from the road. The concentrations of all the metals in the soil would reach the highest values in the immediate vicinity of the road, i.e. at the distance of up to 10 metres (Tab. 1). The lowest concentrations of the metals, close to the background values, were observed at the distance of 100 m from the road. The mean coefficients of soil enrichment with the trace metals were calculated for samples collected at the four distances from the road (Table 2), relative to the reference areas. The coefficients were expressed as a ratio of the metal concentration in the sample taken at a particular distance to the metal concentration in the reference area.

Table 2. Coefficients of soil enrichment by trace metals in determined distances from a road relative to reference areas (mean values)

Tablica 2. Współczynniki wzbogacenia gruntu w metale śladowe w określonych odległościach od drogi względem terenów referencyjnych (wartości średnie)

Distance from a road relative to reference area [m] Odległość od drogi względem terenu referencyjnego	Traffic intensity [number of vehicles/day] Natężenie ruchu samochodowego [l. poj./dobę]	Coefficient of soil enrichment by trace metals Współczynnik wzbogacenia gruntu w metale śladowe				
		Cr	Ni	Cu	Zn	Pb
5 background tło	1 584	1.49	1.87	1.69	1.47	1.58
	11 920	1.35	2.05	2.13	1.66	1.51
	27 789	1.39	2.14	1.88	1.90	1.51
10 background tło	1 584	1.46	1.61	1.61	1.35	1.52
	11,920	1.21	1.99	1.78	1.24	1.46
	27 789	1.31	1.93	1.72	1.60	1.36
50 background tło	1 584	1.22	1.56	1.44	1.35	1.39
	11 920	1.12	1.59	1.28	1.14	1.27
	27 789	1.11	1.47	1.23	1.22	1.17
100 background tło	1 584	1.17	0.97	1.02	1.15	1.16
	11 920	1.12	1.23	1.06	1.03	1.06
	27 789	1.00	1.08	1.04	1.02	1.05

4. WNIOSKI

W pracy rozpatrzono dwa najbardziej charakterystyczne czynniki wpływające na stężenia metali śladowych w gruntach przydrożnych. Pierwszym z nich jest odległość od drogi, natomiast drugim natężenie ruchu samochodowego. Przeprowadzone badania wykazały:

1. Spadek stężenia wszystkich badanych metali w gruntach w otoczeniu dróg o różnym natężeniu ruchu wraz ze wzrostem odległości od drogi. Znaczny spadek stężeń metali śladowych w gruntach zaobserwowano szczególnie do odległości 50 m od drogi, natomiast w odległości 50-100 m od drogi spadek był mniejszy. W odległości 100 m od drogi stężenia wszystkich badanych metali w gruntach przydrożnych osiągały wartości zbliżone do stężeń metali w gruntach pobranych z terenów niezanieczyszczonych stanowiących tło badań, które są obszarami wolnymi od zanieczyszczeń komunikacyjnych.
2. Wpływ natężenia ruchu samochodowego na stężenia metali w gruntach przydrożnych. Wyższe stężenia chromu, cynku, miedzi, niklu i ołowiu w gruntach występowały w pobliżu drogi o kilku lub kilkunastokrotnie większym natężeniu ruchu samochodowego niż przy drodze lokalnej o małym ruchu.
3. Najwyższą kumulację niklu, miedzi i cynku w gruntach przydrożnych w porównaniu do terenów stanowiących tło badań.

The enrichment coefficients for all the metals would reach the highest values in the immediate neighbourhood of the road (5 or 10 m from the road). The concentrations of Cu and Ni in the soil at the distance of 5 m from the road are about twice higher than the concentrations of the metals in the reference area. A comparison of the samples taken at the distance of 100 m with the samples collected from the reference areas shows that the coefficients of all the metals are equal to 1.0 or 1.1, which means that at the distance of about 100 metres they reach values similar to those in the reference areas (Table 2).

4. CONCLUSIONS

Two primary factors having a bearing on the concentration of trace metals in roadside soils were considered in this paper. One of the factors is the distance from the road and the other is traffic intensity. The investigations have shown:

1. The decrease in the concentration of all the investigated metals in the soils in the neighbourhood of the roads differing in their traffic intensity, with increasing distance from the road. The concentration of the trace metals in the soil would markedly decrease up to 50 m from the road, while at the distance of 50-100 m from the road the decrease was smaller. At the distance of 100 m from the road the concentrations of all the trace metals in the roadside soils would reach values close to the concentrations of the metals in the soils collected from the unpolluted (free of traffic-related pollutants) areas constituting the reference (the background).

BIBLIOGRAFIA / REFERENCES

- [1] Zechmeister H., Hagedorfer H., Hohenwallner D., Hanus-Illnar A., Riss A.: Analyses of platinum group elements in mosses as indicators of road traffic emissions in Austria. *Atmospheric Environment*, **40**, 40, 2006, 7720-7732
- [2] Gunawardena J., Egodawatta P., Ayoko G., Goonetilleke A.: Role of traffic in atmospheric accumulation of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons. *Atmospheric Environment*, **54**, 2012, 502-510
- [3] Monaci F., Moni F., Lanciotti E., Grechi D., Bargagli R.: Biomonitoring of airborne metals in Urban environments: new tracers of vehicle emission, in place of lead. *Environmental Pollution*, **107**, 3, 2000, 21-327
- [4] Davis A.P., Shokouhian M., Ni S.: Loading estimates of lead, copper, cadmium and zinc in urban runoff from specific sources. *Chemosphere*, **44**, 5, 2001, 997-1009
- [5] Li X., Poon Ch.S., Liu P.S.: Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong. *Applied Geochemistry*, **16**, 11-12, 2001, 1361-1368
- [6] Weckwerth G.: Verification of traffic emitted aerosol components in the ambient air of Cologne (Germany). *Atmospheric Environment*, **35**, 32, 2001, 5525-5536
- [7] Harrison R., Tilling R., Romero M., Harrad S., Jarvis K.: A study of trace metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in the roadside environment. *Atmospheric Environment*, **37**, 17, 2003, 2391-2402
- [8] Garg B., Cadle S., Malawa P., Groblicki P., Laroo Ch., Parr G.: Brake wear particulate matter emissions. *Environmental Science and Technology*, **34**, 21, 2000, 4463-4469
- [9] Sternbeck J., Sjödin Å., Andréasson K.: Metal emissions from road traffic and the influence of resuspension-results from two tunnel studies. *Atmospheric Environment*, **36**, 30, 2002, 4735-4744
- [10] Laschober Ch., Limbeck A., Rendl J., Puxbaum H.: Particulate emissions from on-road vehicles in the Kaisermühlen-tunnel (Vienna, Austria). *Atmospheric Environment*, **38**, 14, 2004, 2187-2195
- [11] Lindgren Å.: Asphalt wear and pollution transport. *Science of the Total Environment*, **189-190**, 1996, 281-286
- [12] Rafalski L.: Podbudowy drogowe. IBDiM, Studia i Materiały, Zeszyt 59, 2007, Warszawa
- [13] Ćwiakala M., Korzeniowska J., Kraszewski C., Widuch A.: Soil stabilisation with the use of hydraulic road binders on the basis of brown coal fly ash. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, **11**, 3, 2012, 195-214
- [2] The effect of traffic intensity on the concentrations of the metals in the roadside soils. Higher concentrations of chromium, zinc, copper, nickel and lead in the soil occurred in the vicinity of the road with a few to 10-20 times higher traffic intensity than that of the local road.
- [3] The highest accumulation of nickel, copper and zinc in the roadside soils in comparison with the reference areas.
- [14] Aleksandrov A.S., Semenova T.W., Aleksandrova N.P.: Analysis of permanent deformations in granular materials of road structures. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, **15**, 4, 2016, 271-284, DOI: 10.7409/rabdim.016.017
- [15] Mackiewicz P., Szydło A., Krawczyk B.: Influence of the construction technology on the texture and roughness of concrete pavements. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, **17**, 2, 2018, 111-126, DOI: 10.7409/rabdim.018.007
- [16] Schäfer J., Puchelt H.: Platinum-Group-Metals (PGM) emitted from automobile catalytic converters and their distribution in roadside soils. *Journal of Geochemical Exploration*, **64**, 1-3, 1998, 307-314
- [17] Ely J., Neal C., Kulpa Ch., Schneegurt M., Seidler J., Jain J.: Implications of platinum-group element accumulation along US roads from catalytic-converter attrition. *Environmental Science and Technology*, **35**, 19, 2001, 3816-3822
- [18] Panek E., Targońska J.: The effect of plant cover and distance from the road on spatial distribution of heavy metals (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn). *Polish Journal of Environmental Studies*, **16**, 3B, 2007, 376-380
- [19] Korzeniowska J., Panek E.: Heavy metal concentrations in the dandelion *Taraxacum officinale* alongside the roads of various traffic density in the Podhale region. *Polish Journal of Environmental Studies*, **17**, 3A, 2008, 303-306
- [20] Grigalavičienė I., Rutkoviene V., Marozas V.: The accumulation of heavy metals Pb, Cu and Cd at roadside forest soil. *Polish Journal of Environmental Studies*, **14**, 1, 2005, 109-115
- [21] Hjortenkrans D., Bergbäck B., Höggerud A.: New metal emission patterns in road traffic environments. *Environmental Monitoring and Assessment*, **117**, 1-3, 2006, 85-98

- [22] Czarnowska K., Chlibiuk M., Kozanecka T.: Pierwiastki śladowe w glebach uprawnych przy drogach wokół Warszawy. *Roczniki gleboznawcze*, **53**, 3/4, 2002, 67-74
- [23] Nabulo G., Oryem-Origa H., Diamond M.: Assessment of lead, cadmium, and zinc contamination of roadside soils, surface films, and vegetables in Kampala City, Uganda. *Environmental Research*, **101**, 1, 2006, 42-52
- [24] Curzydło J.: Wpływ ruchu samochodowego i zanieczyszczeń motoryzacyjnych na zdrowie ludzi oraz skażeń metalami ciężkimi gleby i roślin. Sesja Naukowa „Metodyka oceny oddziaływania autostrady na grunty rolne i leśne”. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie*, 1997, 39-49
- [25] Viard B., Pihan F., Promeyrat S., Pihan J.C.: Integrated assessment of heavy metal (Pb, Zn, Cd) highway pollution: bioaccumulation in soil, Gramineae and land snails. *Chemosphere*, **55**, 10, 2004, 1349-1359
- [26] Bakirdere S., Yaman M.: Determination of lead, cadmium and copper in roadside soil and plants in Elazığ, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, **136**, 1-3, 2008, 401-410