

Zanieczyszczenie metalami ciężkimi przypowierzchniowych warstw gruntu w otoczeniu południowej obwodnicy Krakowa

Beata Kłojzy-Karczmarczyk¹, Janusz Mazurek¹

Contamination of subsurface soil layers with heavy metals around the southern ring road of Kraków. *Prz. Geol.*, 65: 1296–1300.

Abstract. Significant traffic congestion can lead to contamination of the soil and water environment within the range of its impact, i.e. with mercury, lead, cadmium, chromium and zinc. As a consequence of contamination of the subsurface soil layers, migration of metal ions into groundwater is possible, consequently leading to contamination of local aquifers. In 2015–2016 a soil test was conducted at a depth of 0.4–0.6 m below surface level in the vicinity of about a dozen kilometers from the southern ring road of Kraków. The total contents of mercury, lead, cadmium, chromium and zinc were measured in the collected samples (mainly medium and fine sands) and a leaching test was conducted using the classical batch test 1:10. The mercury content in the soil samples ranged between 0.02 and 0.06 mg/kg, cadmium 0.1 to 0.7 mg/kg, chromium 0.3 to as much as 116 mg/kg, lead from 3.7 to 26.6 mg/kg and zinc from 17 to 102 mg/kg. The conducted leaching tests have shown that in all samples the release of metal ions into the solution may be observed. The solubility of the compounds of the analyzed metals ranges from a fraction of a percentage point (0.01% for zinc) up to a few and even, as in the case of mercury, over a dozen percent (approx. 15.7%) of the total metal content accumulated in the soil.

Keywords: soil and water environment, total content, batch test, Cd, Cr, Hg, Pb and Zn

Intensywne natężenie ruchu samochodowego może prowadzić do powolnego zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego w bezpośrednim otoczeniu szlaków komunikacyjnych, co w konsekwencji stanowi potencjalne zagrożenie dla jakości zbiorników wód podziemnych. Zanieczyszczenie może być związane z emisją spalin, stosowaniem środków przeznaczonych do utrzymania jezdni, ścieraniem się nawierzchni dróg oraz zużywaniem części samochodowych czy z różnego rodzaju sytuacjami awaryjnymi. Publikowane przez różnych autorów badania wskazują, że w otoczeniu tras drogowych obserwuje się wzrost poziomu zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi (Curzydło, 1995; Maciejewska, Skłodowski, 1995; Klimowicz, Melke, 2000; Czajka i in., 2003; Pasieczna, 2003; Kłojzy-Karczmarczyk, Mazurek, 2005; Hycnar, Schejbal-Chwałek, 2006; Xinwei Lu i in., 2009; Czubaszek, Bartoszek, 2011; Deska i in., 2011; Kłojzy-Karczmarczyk, 2011, 2013; Pivic i in., 2012; Szyszlak-Bargłowiec i in., 2013; Kiebała i in., 2015). W prezentowanej pracy przedstawiono i poddano analizie wyniki badań zawartości rtęci, ołowiu, chromu, kadmu i cynku w przypowierzchniowych warstwach gruntu (gleby) w próbkach pobranych z bezpośredniego otoczenia intensywnie eksploatowanej południowej obwodnicy Krakowa, będącej częścią autostrady A-4. Akumulacja metali w gruncie wywołana przez zanieczyszczenia komunikacyjne może oddziaływać w sposób negatywny na lokalne zbiorniki wód podziemnych, głównie położone w utworach czwartorzędowych. Odcinek wymienionej obwodnicy Krakowa znajduje się bezpośrednio w zasięgu Głównego Zbiornika Wód Podziemnych (GZWP) nr 450 – Dolina rzeki Wisły. Większość tras drogowych w Polsce przebiega przez obszary, na których istniejące warunki hydrogeologiczne sprzyjają migracji zanieczyszczeń w głąb warstw wodonośnych. Celem prowadzonych badań jest wyjaśnienie, czy kumulowane w przypowierzchniowych warstwach gruntu zanieczyszczenia związkami me-

tali w wyniku oddziaływania intensywnego ruchu samochodowego mogą ulegać wymywaniu, a następnie przedostawać się do wód lokalnych poziomów wodonośnych.

OBSZAR I METODY BADAŃ

Do badań zawartości rtęci i innych metali ciężkich w glebie wytypowano kilkanaście punktów rozmieszczonych po obu stronach odcinka intensywnie eksploatowanej południowej obwodnicy Krakowa (ryc. 1). Próbki pochodziły z obszarów najbardziej narażonych na wpływ ruchu samochodowego (punkty: A6, A2, A7, A3, A8, A4, A5, A10, A13) oraz z miejsc o jego ograniczonym oddziaływaniu – punkty znajdowały się ponad jezdnią lub za ekranami akustycznymi (A1, A9, A11, A12, A14). Próbki gruntu pobierano w bezpośrednim sąsiedztwie jezdni, za rowem odwadniającym, a odległość od granic jezdni nie przekraczała 10 m. Jedynie w punktach wytypowanych na potrzeby określenia lokalnego tła geochemicznego – O1 i O2, próbki pobrano w odległości ok. 200 m od ciągu komunikacyjnego, gdzie potencjalne bezpośrednie oddziaływanie ruchu samochodowego oraz innych źródeł zanieczyszczenia przemysłowego przypuszczalnie jest niewielkie. Po uprzednim zdjęciu pokrywy roślinnej, wszystkie próbki uzyskano z przedziału głębokości 0,4–0,6 m p.p.t. Pobierano je jako materiał uśredniony za pomocą zestawu do ręcznego wiercenia i poboru próbek firmy Ejkelkamp.

Dla każdej z nich określono laboratoryjnie skład ziarnowy metodą sitową, dającą dobre rezultaty dla gruntów piaszczystych o wielkości ziaren powyżej 0,063 mm. Rodzaj gruntu określono na podstawie procentowego udziału poszczególnych frakcji, zgodnie z klasyfikacją gruntów nieskalistych mineralnych (Myślińska, 1992).

Dla wszystkich pobranych próbek gruntu przeprowadzono oznaczenia zawartości rtęci całkowitej oraz chromu, cynku, ołowiu i kadmu, wyniki podano w mg/kg suchej

¹ Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, ul. Wybickiego 7A, 31-261 Kraków; beatakk@min-pan.krakow.pl, jan@min-pan.krakow.pl.



Ryc. 1. Lokalizacja miejsc poboru próbek gruntu z bezpośredniego otoczenia południowej obwodnicy Krakowa (na podkładzie Samochodowej mapy Polski z 2008 r., Emapa – wydanie na nośniku CD)

Fig. 1. Location of sampling points in the direct vicinity of the Kraków southern ring road (source maps Samochodowa mapa Polski, 2008, Emapa – edition on CD)

masy (s.m.). W celu określenia udziału formy wymywalnej poszczególnych metali w analizowanych gruntach przygotowano wyciągi wodne 1:10, zgodnie z Polską Normą PN-EN 12457-4. Wyniki oznaczeń analitycznych (ekstrakcja jednostopniowa) otrzymanego eluatu w mg/dm³ przeliczono na uwalnianą ilość składnika zanieczyszczającego w odniesieniu do suchej masy próbki i podano w mg/kg s.m. (Polska Norma PN-EN 12457-4; Kłojzy-Karczmarczyk i in., 2016). W celu oznaczania zawartości rtęci w próbkach gruntu lub w roztworach wykorzystano bezstratną metodę będącą modyfikacją klasycznej metody AAS. Do przeprowadzenia badań wykorzystano dedykowany spektrometr absorpcji atomowej AMA 254 firmy Altec (granica oznaczalności metody wynosi 0,0005 mg/kg). Do oznaczenia zawartości chromu, cynku, ołowiu i kadmu wykorzystano klasyczny spektrometr emisyjny ICP OES firmy Perkin-Elmer Optima 7000DV (dla gruntów po uprzedniej mineralizacji próbek w mineralizatorze mikrofalowym). Granice oznaczalności zastosowanej metody w próbkach ciekłych wynoszą: 0,005 mg/dm³ dla Cr oraz 0,010 mg/dm³ dla Cd, Pb, Zn.

ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Uzyskane wyniki oznaczenia zawartości całkowitej metali ciężkich (Cd, Cr, Hg, Pb, i Zn) w badanych próbkach gruntu, wykonane dwukrotnie w odstępie ok. 1 roku i zestawione w tabeli 1, ogólnie wskazują na małą zmienność ich zawartości w analizowanym okresie. Porównanie z wynikami oznaczeń ilości rtęci uzyskiwanymi w ubiegłych latach w tych samych punktach opróbowania (Czajka i in., 2003; Kłojzy-Karczmarczyk, Mazurek, 2005; Kłojzy-Karczmarczyk, 2013) również wskazuje na brak oznak większych zmian stężenia tego pierwiastka w badanych glebach. Można jednak doszukiwać się obrazu bar-

dzo powolnej kumulacji chromu, rtęci, ołowiu i kadmu, na co wskazują uzyskane wartości średnie dla punktów o różnym stopniu narażenia na oddziaływanie ruchu samochodowego (tab. 1). Całkowita zawartość rtęci w badanych gruntach w 2015 r. kształtowała się na średnim poziomie 0,033 mg/kg, natomiast w 2016 r. – 0,029 mg/kg. Zawartość kadmu w 2015 r. wynosiła średnio 0,318 mg/kg, natomiast w 2016 r. – 0,333 mg/kg. Zawartość chromu w roku 2015 wynosiła średnio 28,7 mg/kg, a rok później – 27,2 mg/kg. Zawartość ołowiu w 2015 r. wynosiła średnio 12,3 mg/kg, natomiast w kolejnym roku – 16,7 mg/kg. Zmierzone ilości cynku w badanych gruntach w 2015 r. kształtowały się na średnim poziomie 49,8 mg/kg, a w 2016 r. – 57,4 mg/kg. Biorąc pod uwagę średnie zawartości metali obliczone ze wszystkich pobranych próbek, można stwierdzić, że ich zmienność w glebach wzdłuż całego badanego odcinka na przestrzeni 12 miesięcy była mało istotna. Jedynie dla cynku i ołowiu odnotowano wzrost stężenia – ok. 13%. Najmniejsze stężenia poszczególnych metali zanotowano w punktach O1 oraz O2 (ryc. 1, tab. 1), zlokalizowanych w znacznej odległości od opisywanej trasy.

W pobranych próbkach (głównie piaski średnio- i drobnoziarniste), w których oznaczono zawartość całkowitą metali wykonano także testy wymywania zanieczyszczeń wykorzystując klasyczną metodę statyczną 1:10. Wyniki wskazują na znaczne zróżnicowanie zawartości badanych metali w uzyskanych roztworach. Z przeprowadzonych testów wynika, że we wszystkich próbkach zachodzi zjawisko uwalniania jonów metali do roztworu, a rtęć jest najłatwiej uwalniana – ok. 1–16% jej zawartości całkowitej w próbce (ryc. 2; tab. 2). Można sądzić, że migracja rtęci zostaje jednak zatrzymana ze względu na wysoki współczynnik opóźnienia R dla tego pierwiastka w utworach piaszczystych, który przekracza wartość 1000

(sorpcja nieograniczona) (Klojzy-Karczmarczyk, 2016). Pozostałe analizowane metale są uwalniane do roztworu w warunkach laboratoryjnych w znacznie mniejszych ilościach: ołów w zakresie ok. 0,02–0,6% zawartości całkowitej, cynk – 0,01–3%, kadm – 0,3–3,2% i chrom – 0,02–0,3% zawartości całkowitej. Współczynniki opóźnienia R dla tych metali są niższe niż dla rtęci (sorpcja średnia i duża), jednak również świadczą o możliwości powolnej

migracji w głąb podłoża (Witeczak i in., 2013). W tabeli 2 zestawiono wielkości potencjalnego wymywania poszczególnych metali, obliczone jako udział procentowy formy wymywalnej w całkowitej zawartości metalu w próbkę w przeliczeniu na mg/kg s.m. Do obliczeń wartości średniej wykorzystano wyniki wszystkich (32) oznaczeń w próbkach z lat 2015–2016.

Tab. 1. Wyniki badań zawartości całkowitej metali w pobranych próbkach
Table 1. Results of the total metal content in the collected samples

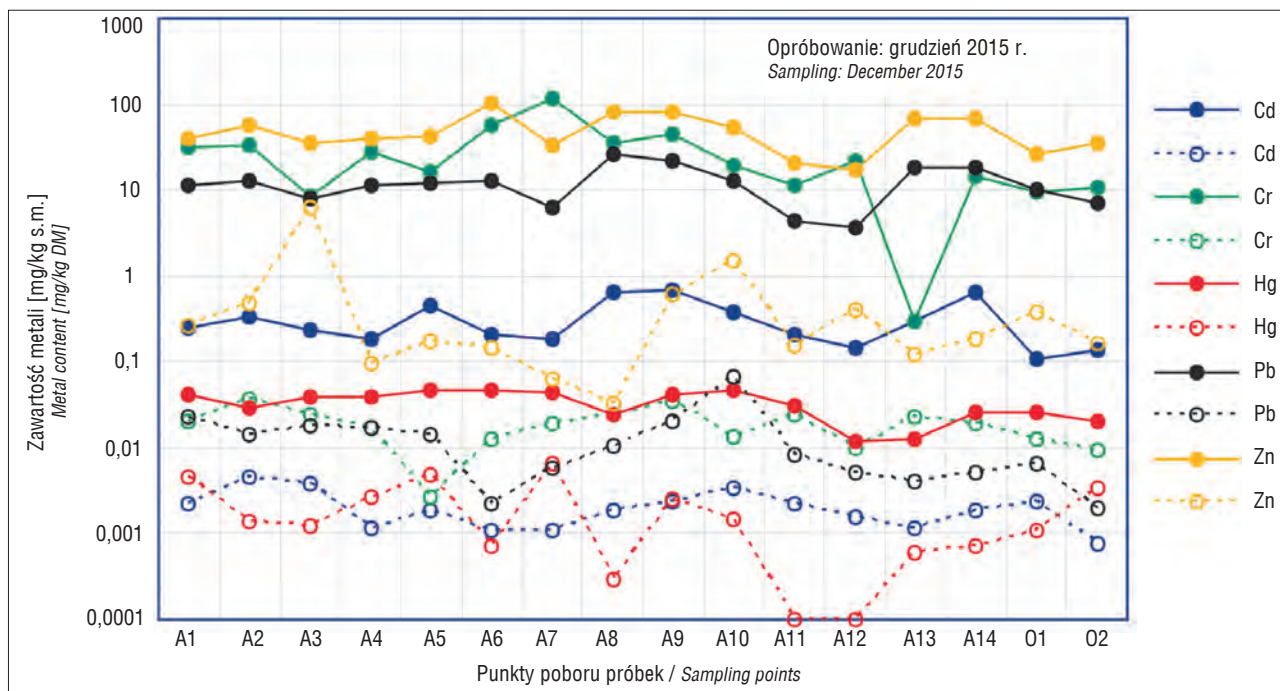
		Piasek grubo-, średnio- i drobnoziarnisty <i>Thick sand – medium sand – fine sand</i>							
		Punkt poboru <i>Sampling point</i>	Rok opróbowania <i>Sampling year</i>	Zawartość całkowita metali [mg/kg s.m.] <i>Total metal content [mg/kg DM]</i>					
				Cd	Cr	Hg	Pb	Zn	
Odcinek / <i>Section</i>	Balice–Swoszowice	A1	2015	0,246	31,41	0,0407	11,21	40,41	
			2016	0,621	29,68	0,0206	26,18	82,87	
		A6	2015	0,211	57,08	0,0482	12,72	102,87	
			2016	0,265	11,42	0,0280	10,50	31,62	
		A2	2015	0,343	33,39	0,0296	13,13	55,66	
			2016	0,357	65,25	0,0400	17,30	76,17	
		A7	2015	0,184	116,58	0,0431	6,10	32,82	
			2016	0,715	54,07	0,0291	29,62	114,21	
		A3	2015	0,230	8,50	0,0402	8,05	35,21	
			2016	0,554	10,96	0,0196	36,78	54,75	
		A8	2015	0,657	34,92	0,0246	26,64	79,82	
			2016	0,221	14,30	0,0305	11,59	42,21	
		Swoszowice–Węzeł Wielicka	A4	2015	0,184	27,70	0,0384	11,22	38,68
				2016	0,146	27,42	0,0321	7,97	41,27
	A9		2015	0,668	44,82	0,0425	21,44	83,86	
			2016	0,092	32,75	0,0298	10,79	40,10	
	A5		2015	0,441	16,61	0,0475	12,37	42,38	
			2016	0,376	33,49	0,0378	10,52	55,85	
	A10		2015	0,372	19,26	0,0474	12,57	52,30	
			2016	0,399	27,15	0,0341	13,54	52,46	
	Węzeł Wielicka – w kierunku Szarowa		A11	2015	0,203	11,64	0,0311	4,31	20,54
				2016	0,140	45,79	0,0299	7,88	35,50
		A12	2015	0,150	22,39	0,0116	3,76	16,87	
			2016	0,605	20,42	0,0248	20,46	77,71	
		A13	2015	0,306	0,31	0,0126	18,37	66,83	
			2016	0,342	18,25	0,0209	19,18	134,89	
		A14	2015	0,647	14,52	0,0251	17,84	66,27	
			2016	0,190	10,20	0,0296	9,38	19,18	
O1	O1	2015	0,105	9,26	0,0253	9,91	26,19		
		2016	0,219	15,61	0,0355	22,10	40,63		
	O2	2015	0,137	10,78	0,0207	7,24	36,16		
		2016	0,090	17,79	0,0181	3,38	19,45		
Wartości średnie [mg/kg s.m.] / <i>Arithmetic mean [mg/kg DM]</i>									
			Cd	Cr	Hg	Pb	Zn		
Wszystkie punkty pomiaru/ <i>All points</i>			0,326	27,93	0,0309	14,19	53,62		
Punkty / <i>Points</i> : A6, A2, A7, A3, A8, A4, A5, A10, A13			0,350	32,04	0,0335	15,45	61,67		
Punkty / <i>Points</i> : A1, A9, A11, A12, A14			0,361	26,36	0,0238	11,10	40,28		
Punkty / <i>Points</i> : O1 i O2			0,138	13,36	0,0249	10,66	30,61		

A6, A2, A7, A3, A8, A4, A5, A10, A13 – punkty poboru próbek z miejsc dobrze wyeksponowanych na oddziaływanie ruchu samochodowego / points well exposed to the impact of car traffic

A1, A9, A11, A12, A14 – punkty poboru próbek z miejsc o ograniczonym oddziaływaniu ruchu samochodowego / points in places with limited traffic impact

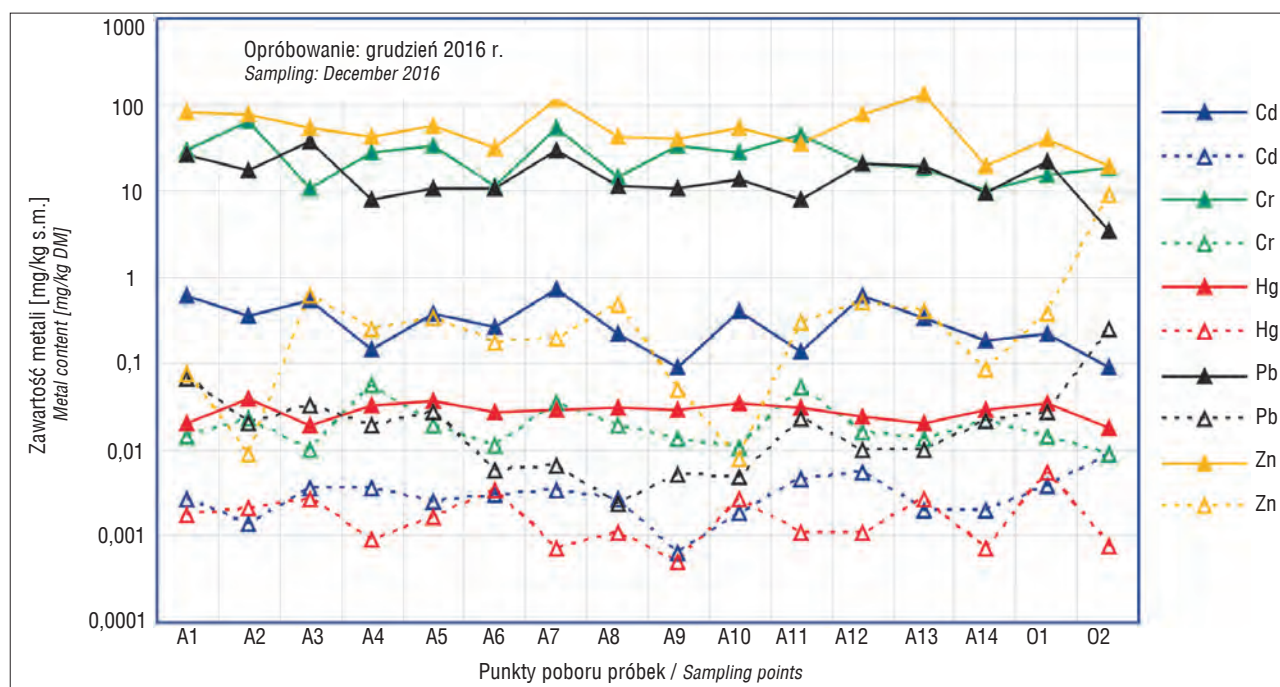
Tab. 2. Procentowy udział wmywanych zanieczyszczeń w całkowitej zawartości metali
Table 2. Contribution of leached pollutants on the total metal content

Parametr Parameter	Udział wmywanych zanieczyszczeń [%] Contribution of leached pollutants [%]				
	Cd	Cr	Hg	Pb	Zn
Wartość min. / Min. value	0,29	0,02	0,32	0,02	0,01
Wartość maks. / Max. value	3,19	0,29	15,77	0,54	2,93
Wartość średnia / Arithmetic mean	0,94	0,09	5,75	0,13	0,65



Ryc. 2. Zawartość całkowita metali oraz wmywanie w próbkach pobranych w 2015 r.: linia ciągła – zawartość całkowita [mg/kg s.m.], linia przerywana – wmywanie [mg/kg s.m.]

Fig. 2. Results of the total metal content and leached metal content in samples collected in 2015: continuous line – total content [mg/kg DM], dotted line – leached metal content [mg/kg DM]



Ryc. 3. Zawartość całkowita metali oraz wmywanie w próbkach pobranych w 2016 r.: linia ciągła – zawartość całkowita [mg/kg s.m.], linia przerywana – wmywanie [mg/kg s.m.]

Fig. 3. Results of the total metal content and leached metal content in samples collected in 2016: continuous line – total content [mg/kg DM], dotted line – leached metal content [mg/kg DM]

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Znaczne natężenie ruchu pojazdów samochodowych może prowadzić do skażenia środowiska gruntowo-wodnego w zasięgu jego oddziaływania. Szczególnie szkodliwe dla środowiska jest zanieczyszczenie metalami ciężkimi (m.in. rtęcią, ołowiem, kadmem, chromem i cynkiem). Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. (Rozporządzenie, 2016) teren, na którym prowadzono opróbowanie można zaliczyć do grupy IV pkt c – tereny komunikacyjne, dla których określono dopuszczalne zawartości metali w gruncie, mierzone na głębokości poniżej 0,25 m p.p.t. (wodoprzepuszczalność gruntu wyższa lub równa 1×10^{-7} m/s). W takim ujęciu żaden z analizowanych metali w gruncie z otoczenia południowej obwodnicy Krakowa nie przekracza wartości dopuszczalnych określonych w wymienionym rozporządzeniu (Cr – 300 mg/kg, Cd – 6 mg/kg, Hg – 4 mg/kg, Pb – 200 mg/kg, Zn – 300 mg/kg). Również dla najbardziej restrykcyjnej grupy II-1 (m.in. grunty rolnicze) nie zaobserwowano przekroczeń dopuszczalnych zawartości dla poszczególnych metali (Cr – 150 mg/kg, Cd – 2 mg/kg, Hg – 2 mg/kg, Pb – 100 mg/kg, Zn – 300 mg/kg). Jak dowodzą przeprowadzone badania wykonywane dla analizowanych metali, pierwiastki te (nagromadzone w gruncie) mogą w sprzyjających warunkach przechodzić do roztworu, stanowiąc tym samym wtórne ognisko zanieczyszczenia środowiska wodnego. Jednocześnie wysokie współczynniki opóźnienia R (sorpcja duża i nieograniczona) pozwalają sądzić, że następuje zdecydowane spowolnienie tego procesu. Należy zauważyć, że stwierdzone w gruntach ilości poszczególnych metali mogą być zarówno wynikiem oddziaływania intensywnego ruchu samochodowego, jak i nakładania się innych czynników antropogenicznych, np. wynikających z oddziaływania aglomeracji krakowskiej. Ponadto stwierdzona zmienność zawartości metali w próbkach może wynikać z niejednorodności składu mineralnego i ziarnowego badanych gruntów.

Autorzy dziękują Recenzentom za cenne wskazówki i wniesione uwagi. Pracę wykonano w ramach prac statutowych Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk.

LITERATURA

- CURZYDŁO J. 1995 – Skażenia motoryzacyjne wzdłuż dróg i autostrad oraz sposoby przeciwdziałania ujemnym skutkom motoryzacji w środowisku. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 418: 256–270.
- CZAJKA K., KŁOJZY-KARCZMARCZYK B., MAZUREK J. 2003 – Zanieczyszczenie środowiska gruntowo-wodnego związkami rtęci wokół czynnego oraz budowanego odcinka autostrady w okolicach Krakowa. [W:] *Współczesne Problemy Hydrogeologii*, 11 (2): 337–340. Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk.
- CZUBASZEK R., BARTOSZUK K. 2011 – Zawartość wybranych metali ciężkich w glebach w zależności od ich odległości od ulicy i sposobu użytkowania terenu. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska (Civil and Environmental Engineering)*, 2: 27–34.
- DESKA J., BOMBIK A., MARCINIUK-KLUSKA A., RYMUZA K. 2011 – Trends in lead and cadmium content in soils adjacent to European highway E30. *Pol. J. Environ. Stud.*, 20 (2): 317–325.
- HYCNAR E., SCHEJBAL-CHWASTEK M. 2006 – Ocena oddziaływania ciągów komunikacyjnych na środowisko glebowe. *Gosp. Sur. Miner. – Mineral Resources Management*, 22 (3): 397–406.
- KIEBAŁA A., KOZIEŁ M., ZGŁOBICKI W. 2015 – Cr, Cu, Ni, Pb i Zn w pyłe drogowym na terenie Lublina. *Inż. Ochr. Środ.*, 18 (3): 299–310.
- KLIMOWICZ Z., MELKE J. 2000 – Zawartość metali ciężkich w glebach w sąsiedztwie szlaków komunikacyjnych na przykładzie wybranych tras. *Rocz. Glebozn.*, 51(3/4): 37–46.
- KŁOJZY-KARCZMARCZYK B. 2011 – Ocena zagrożenia zanieczyszczeniem rtęcią w gruntach z bezpośredniego otoczenia południowej odcinków dróg na obszarze centralnej Polski. *Rocz. Ochr. Środ. (Ann. Set Environ. Protect.)*, 13 (2): 1766–1782.
- KŁOJZY-KARCZMARCZYK B. 2013 – Analiza wieloletnich badań zawartości rtęci w gruntach z bezpośredniego otoczenia południowej obwodnicy Krakowa. *Rocz. Ochr. Środ. (Ann. Set Environ. Protect.)*, 15: 901–919.
- KŁOJZY-KARCZMARCZYK B. 2016 – Szacowanie opóźnienia migracji rtęci w gruntach piaszczystych z okolic Krakowa na podstawie testów statycznych. *Rocz. Ochr. Środ. (Ann. Set Environ. Protect.)*, 18: 743–758.
- KŁOJZY-KARCZMARCZYK B., MAZUREK J. 2005 – Rtęć w strefie aeracji otoczenia drogi krajowej 79 na odcinku Chranów–Kraków. [W:] *Współczesne Problemy Hydrogeologii*, 12: 337–344. UMK, Toruń.
- KŁOJZY-KARCZMARCZYK B., MAZUREK J., STASZCZAK J. 2016 – Analiza jakości odpadów z nieczynnej haldy górnictwa węgla kamiennego w odniesieniu do wymagań stawianych odpadom wydobywczym obojętnym. *Zesz. Nauk. IGSMiE PAN*, 95: 227–241.
- MACIEJEWSKA A., SKŁODOWSKI P. 1995 – Wpływ emisji spalin samochodowych na skażenie gleb związkami ołowiu, cynku i kadmu przy trasie Warszawa–Katowice. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 418 (1): 271–279.
- MYŚLIŃSKA E., 1992 – Laboratoryjne badania gruntów. *Wyd. Nauk. PWN, Warszawa*, s. 244.
- PASIECZNA A. 2003 – Atlas zanieczyszczeń gleb miejskich w Polsce. *Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa*.
- PIVIC R., STANOJKOVIC SEBIC A., JOSIC D. 2012 – Contents of Pb, Cu and Hg in soil and in plant material on agricultural land surrounding the motorway in the section Belgrad–Presevo. *Third International Scientific Symposium “Agrosym Jahorina 2012”*: 423–428.
- PN-EN 12457-4:2006. *Charakteryzowanie odpadów. Wymywanie. Badanie zgodności w odniesieniu do wymywania ziarnistych materiałów odpadowych i osadów. Część 4: Jednostopniowe badanie porcjowe przy stosunku cieczy do fazy stałej 10 l/kg w przypadku materiałów o wielkości cząstek poniżej 10 mm (bez redukcji lub z redukcją wielkości)*.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi. *Dz.U. z 2016 r. poz. 1395*.
- SZYSZLAK-BARGŁOWICZ J., SŁOWIK T., ZAJĄC G., PIEKARSKI W. 2013 – Metale ciężkie w rowach odwadniających ciągów komunikacyjnych. *Rocz. Ochr. Środ. (Ann. Set Environ. Protect.)*, 15 (3): 2309–2323.
- WITCZAK S., KANIA J., KMIECIK E., 2013 – Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania. *Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa*.
- XINWEI LU, LORETTA Y. LI, LIJUN WANG, KAI LEI, JING HUANG, YUXIANG ZHAI 2009 – Contamination assessment of mercury and arsenic in roadway dust from Baoji. *Atmos. Environ.*, 43, 15: 2489–2496.