



Analiza wieloletnich badań zawartości rtęci w gruntach z bezpośredniego otoczenia południowej obwodnicy Krakowa

Beata Klojzy-Karczmarczyk
*Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi
i Energią PAN, Kraków*

1. Wstęp

Intensywna eksploatacja dróg szybkiego ruchu może prowadzić do powolnego zanieczyszczenia środowiska gruntowo-wodnego w bezpośrednim otoczeniu jezdni, co w konsekwencji stanowi potencjalne zagrożenie dla jakości zbiorników wód podziemnych. Możliwość negatywnego oddziaływania pojawia się przede wszystkim w zasięgu odcinków dróg, gdzie ich eksploatacja prowadzona jest bez odpowiedniego zabezpieczenia, głównie poprzez nieodpowiednie odwodnienie. Potencjalne zanieczyszczenie wokół intensywnie uczęszczanych tras samochodowych może być związane z emisją spalin, stosowaniem środków do utrzymania jezdni, ścieraniem się nawierzchni dróg oraz zużywaniem części samochodowych (w tym opon) oraz różnego rodzaju sytuacjami awaryjnymi (wyciekami substancji zanieczyszczających z pojazdów lub z nieszczelnych zbiorników).

Skala i zakres możliwego, negatywnego oddziaływania tras samochodowych na środowisko gruntowo-wodne jest przedmiotem szeregu publikacji. Opisywane badania wykazują, że wraz z intensywną eksploatacją wzrasta poziom zanieczyszczenia poszczególnymi metalami a jego skala uzależniona jest od rodzaju gruntu i zmniejsza się wraz z oddalaniem się od jezdni [m.in. 2, 4-7, 16, 20]. Niewystarczające jest jednak rozpoznanie zawartości rtęci w przypowierzchniowych warstwach gruntu

w bezpośrednim otoczeniu intensywnie eksploatowanych tras szybkiego ruchu. Wyniki obserwacji wzrostu obecności rtęci w takich gruntach oraz możliwość jej kumulacji, również w sytuacjach awaryjnych, opisywane są w literaturze polskiej i zagranicznej [m.in. 1, 17, 18, 20] oraz wcześniejszych doniesieniach z udziałem autora [3, 9, 11, 12].

Zanieczyszczenie rtęcią gruntów w bezpośrednim otoczeniu tras samochodowych może wynikać ze stwierdzonej obecności rtęci w ropie naftowej, choć brak jest dostępnych badań potwierdzających jej obecność w paliwach samochodowych. Wykonane analizy rtęci w próbkach ropy naftowej, pochodzących z wybranych polskich złóż wykazały obecność rtęci we wszystkich badanych obszarach. Wyniki badań potwierdziły, że rtęć występuje w ropie naftowej w zróżnicowanych ilościach. Często w próbkach pochodzących z podobnych genetycznie złóż, zawartości rtęci w ropie naftowej mogą różnić się nawet o kilka rzędów wielkości. W próbkach pochodzących z regionu karpackiego stwierdzono stężenia rtęci sięgające maksymalnie 0,1 ppm. Doniesienia literaturowe podają jednak, że zawartość rtęci w ropie naftowej może przekraczać nawet 2 ppm [10, 13, 19]. W środowisku gruntowo-wodnym obserwowane jest zjawisko współwystępowania rtęci oraz substancji ropopochodnych [9].

Praca przedstawia i analizuje wyniki badań zawartości rtęci w przypowierzchniowej warstwie gruntów (gleb) pobieranych z bezpośredniego otoczenia intensywnie uczęszczanej południowej obwodnicy Krakowa. Pomierzone wartości mogą być zarówno wynikiem oddziaływania intensywnego ruchu samochodowego jak też innych czynników antropogenicznych, wynikających z oddziaływania aglomeracji krakowskiej lub też z naturalnej niejednorodności gruntów. Autostradowa obwodnica Krakowa w zasięgu Balice – Wieliczka jest przykładem oddziaływania czynnego odcinka drogi eksploatowanej od wielu lat. Intensywny ruch samochodowy może oddziaływać w sposób negatywny na grunty a w konsekwencji na wody podziemne, głównie zlokalizowane w utworach czwartorzędowych o charakterze porowym oraz w tym przypadku na wody miocenu. Odcinek obwodnicy zlokalizowany jest w zasięgu GZWP nr 450 (dolina rzeki Wisły).

Celem badań, prowadzonych na poszczególnych odcinkach południowej obwodnicy w latach 2003–2012, jest wykazanie możliwości zanieczyszczenia gruntów związkami rtęci w wyniku oddziaływania intensywnego ruchu samochodowego. Obserwacje prowadzone przez tak

długi okres czasu są istotnym wkładem w kształtowanie wniosków w zakresie rozpoznania możliwości kumulacji związków rtęci w przypowierzchniowych warstwach gruntu lub też możliwości jej przemieszczania przez strefę aeracji.

2. Materiał i przyjęta metodyka badań

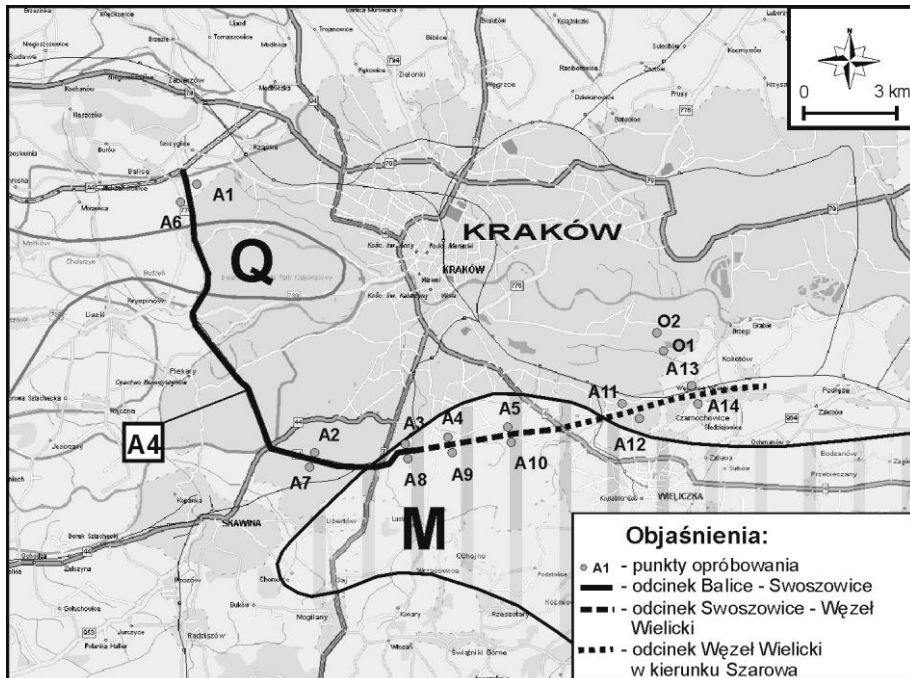
Do badań całkowitej zawartości rtęci wytypowano kilkanaście punktów wokół istniejącej i intensywnie eksploatowanej południowej obwodnicy Krakowa będącej częścią autostrady A-4, zlokalizowanych w obrębie w odcinków [8] (rys. 1):

- Lotnisko Balice – Swoszowice (odcinek autostrady od Węzeł Balice do ul. Kąpielowa, Kraków, intensywnie eksploatowany od lat 90-tych ubiegłego stulecia),
- Swoszowice – Węzeł Wielicka (odcinek autostrady od ul. Kąpielowa, Kraków do Węzeł Wielicka oddany do eksploatacji z końcem 2002 roku),
- Węzeł Wielicka – w kierunku Szarowa (odcinek najkrócej eksploatowany, odcinek autostrady Węzeł Wielicka – Węzeł Szarów oddany do eksploatacji z końcem 2009 roku).

Próbki do badań pobierano w punktach od A1 do A14, w bezpośrednim sąsiedztwie jezdni, tuż za rowem odwadniającym. Odległość miejsc poboru próbek od granic jezdni nie przekraczała 10 metrów (od 5 do 10 metrów w zależności od możliwości technicznych poboru prób). Dane literaturowe podają, że obserwowane jest zanieczyszczenie gruntów metalami ciężkimi w takiej odległości. Grunty (gleby) położone w odległości kilkudziesięciu metrów charakteryzują się zdecydowanie niższą zawartością metali ciężkich i można je uznać za odpowiadające wartościom naturalnego występowania [2, 4, 5, 7, 17, 18]. Dodatkowo w roku 2012 pobrano dwie próbki gruntu w odległości około 200–300 metrów od szlaków komunikacyjnych na peryferiach miasta Krakowa – punkty O1 oraz O2 – w celu ustalenia naturalnej zawartości rtęci w gruntach pobieranych z określonych głębokości na analizowanym obszarze. Lokalizację próbowni przedstawiono na rysunku 1.

Próbki do badań pobierano w punktach dobrze wyeksponowanych na oddziaływanie ruchu samochodowego (A6, A2, A7, A3, A8, A4, A5,

A10, A13) oraz w miejscach o ograniczonym oddziaływaniu – punkty wyniesione ponad jezdnię lub oddzielone ekranami akustycznymi (A1, A9, A10, A11, A12, A14). Zestawienie wyników badań uzyskanych w takich punktach pozwala na analizę porównawczą zachodzących zmian lub ich brak.



Rys. 1. Lokalizacja miejsc poboru gruntów z bezpośredniego otoczenia autostradowej, południowej obwodnicy Krakowa [na podkładzie *Samochodowej Mapy Polski 2008, Emapa*]

Fig. 1. Location of sampling points in the immediate vicinity of the motorway, the southern Krakow ring road [source *maps Samochodowa Mapa Polski 2008, Emapa*]

Próbki gruntów pobierano po uprzednim zdjęciu pokrywy roślinnej z dwóch głębokości: w latach 2003–2012 z głębokości 0,4–0,6 [m ppt], natomiast w latach 2009–2012 z głębokości 0,8–1,0 [m ppt]. Próbki pobierano, jako materiał uśredniony z określonej głębokości za pomocą zestawu do wiercenia ręcznego i poboru prób firmy Ejkelkamp. Dla wszystkich pobranych prób gruntu przeprowadzono oznaczenia zawarto-

ści rtęci całkowitej [mg/kg s.m.]. Głębokość poboru prób przypowierzchniowych odpowiada założeniom przyjmowanym do podobnych analiz w cytowanej wcześniej literaturze.

Do oznaczania całkowitej zawartości rtęci w próbkach gruntu wykorzystano metodę będącą modyfikacją klasycznej metody AAS, umożliwiającą pomiar progowych (rzędu nanogramów) ilości rtęci w próbkach stałych i ciekłych różnego pochodzenia. Metoda gwarantuje minimalne straty rtęci w procesie analizy. Do przeprowadzenia badań wykorzystano dedykowany spektrometr absorpcji atomowej AMA 254 firmy Altec. Wyniki badań zawartości rtęci całkowitej w poszczególnych próbkach są wielkością uśrednioną z dwóch równolegle prowadzonych pomiarów.

3. Wyniki badań

Przeprowadzone opróbowanie gruntów w otoczeniu autostradowej obwodnicy Krakowa (rys. 1), a następnie badanie w warunkach laboratoryjnych wykazało zróżnicowany rozkład zawartości rtęci całkowitej w gruntach, przy czym po obydwu stronach jezdni zawartość rtęci kształtuje się generalnie na zbliżonym poziomie. Zestawienie zawartości rtęci w próbkach gruntów pobranych na różnych głębokościach przedstawiono w tabeli 1 oraz na rysunkach 6 i 7. Przeprowadzona analiza granulometryczna materiału przeznaczonego do badań wykazała, że grunty te można określić generalnie, jako piaski grube oraz piaski średnie. Próbkę te charakteryzują się zmienną ilością frakcji pylasto-ilastej oraz zróżnicowaną zawartością pozostałych frakcji.

Wyniki przeprowadzonych badań pokazują najwyższe zawartości rtęci w próbkach gruntów pobranych na odcinku Balice-Swoszowice, czyli na odcinku najdłużej eksploatowanym – od około 20 lat. Uśrednione zawartości rtęci całkowitej z lat obserwacji 2003–2012, w próbkach gruntów pobranych z głębokości 0,4–0,6 m kształtują się na poziomie od 0,027 mg/kg w punkcie A1 do 0,043 mg/kg w punkcie A7. W próbkach gruntów pobranych z warstwy głębszej zawartości te kształtują się analogicznie, na uśrednionym poziomie (z lat 2009–2012) od 0,029 mg/kg w punkcie A1 do 0,058 mg/kg w punkcie A7. W pozostałych punktach odcinka Balice – Swoszowice uśrednione zawartości z lat obserwacji kształtują się w granicach 0,033 – 0,039 mg/kg na głębokości 0,4–0,6 m oraz 0,033 – 0,035 mg/kg na głębokości 0,8–1,0 m. Należy tu zauważyć,

że najniższe wartości stwierdzono w punkcie A1, a najwyższe w punkcie A7. Punkt A1 zlokalizowany jest na wzniesieniu, około 5 metrów ponad powierzchnię jezdni, zatem możliwy jest brak oddziaływania ruchu samochodowego w tym obszarze. Punkt A7 natomiast położony jest na wysokości jezdni i jest potencjalnie narażony na oddziaływanie intensywnego ruchu samochodowego. Dodatkowo został on usytuowany u podnóża wysokiej skarpy, stąd istnieje możliwość spływu wód opadowych i dodatkowe zasilanie gruntów, również w zanieczyszczenia w wyniku eksploatacji zlokalizowanej tam drogi lokalnej. Pozostałe punkty dla odcinka A6, A2, A3 oraz A8 zlokalizowane zostały w analogicznych warunkach. Generalnie charakteryzują się zbliżonym udziałem frakcyjnym gruntu i są dobrze wyeksponowane na oddziaływanie ruchu samochodowego.

Na odcinku Swoszowice–Węzeł Wielicka, eksploatowanym od około 10 lat, zawartości rtęci w próbkach gruntów kształtują się na uśrednionym z wielolecia poziomie od 0,030 do 0,032 mg/kg na głębokości 0,4–0,6 m oraz na poziomie od 0,026 do 0,039 mg/kg na głębokości 0,8–1,0 m. Najwyższe wartości zaobserwowano w punkcie A9. Jest to punkt wyniesiony kilka metrów ponad jezdnię, stąd wątpliwe jest oddziaływanie południowej obwodnicy Krakowa. Punkt ten został jednak zlokalizowany bezpośrednio u podnóża innej drogi położonej powyżej o średnim natężeniu ruchu i w związku z tym może być obserwowane oddziaływanie z tego źródła. Pozostałe punkty A4, A5 oraz A10 zlokalizowane zostały w zbliżonych warunkach i są dobrze wyeksponowane na oddziaływanie ruchu samochodowego obwodnicy Krakowa.

Odcinek Węzeł Wielicka w kierunku Szarowa jest eksploatowany zaledwie od 3 lat. Rtęć w gruntach przypowierzchniowych na tym odcinku jest monitorowana w obrębie 4 punktów od roku 2010. Wcześniej pobierano próbki w dwóch punktach (A11 i A12), jako kontrolne w okresie przed podjęciem eksploatacji. Na tym odcinku, uśrednione z ostatnich lat zawartości rtęci w próbkach gruntów z poszczególnych punktów kształtują się na poziomie od 0,017 do 0,034 mg/kg na głębokości 0,4–0,6 m oraz od 0,024 do 0,030 mg/kg na głębokości 0,8–1,0 m. Generalnie odcinek obwodnicy od Węzła Wielicka ograniczony jest ekranami akustycznymi tuż za rowem odwadniającym. Punkty poboru należą, zatem do grupy odizolowanych od bezpośredniego oddziaływania ruchu samochodowego. Jedynie punkt A13 nie jest ograniczony ekranem, zatem jedynie on może stanowić element w analizie skutków oddziaływania intensywnego ruchu na odcinku najkrócej uczęszczanym.

Tabela 1. Wyniki badań zawartości rtęci całkowitej w poszczególnych próbkach pobranych w latach 2003–2012 w miejscach oddziaływania intensywnego ruchu samochodowego

Table 1. Research results on total mercury content in individual samples collected between 2003–2012 in heavy traffic impact

piasek gruby – piasek średni									
Południowa obwodnica Krakowa:	Punkt	lata badań							
		2003	2006	2008	2009	2010	2011	2012	
		głębokość opróbowania [m ppt]:							
		0,4–0,6	0,4–0,6	0,4–0,6	0,4–0,6	0,4–0,6	0,4–0,6	0,4–0,6	
		0,8–1,0	0,8–1,0	0,8–1,0	0,8–1,0	0,8–1,0	0,8–1,0	0,8–1,0	
Zawartość całkowita Hg [mg/kg s.m.]:									
Odcinek Balice-Swoszowice	A6	0,0172	0,0220	0,0171	0,0260	0,0435	0,0573	0,0511	
		–	–	–	0,0201	0,0503	0,0348	0,0345	
	A2	0,0312	0,0402	0,0294	0,0406	0,0603	0,0362	0,0372	
		–	–	–	0,0280	0,0422	0,0215	0,0411	
	A7	0,0321	0,0604	0,0455	0,0676	0,0395	0,0127	0,0419	
		–	–	–	0,0398	0,0706	0,0672	0,0541	
	A3	0,0249	0,0427	0,0507	0,0472	0,0179	0,0250	0,0306	
		–	–	–	0,0402	0,0248	0,0374	0,0388	
	A8	0,0222	0,0310	0,0371	0,0361	0,0415	0,0482	0,0394	
		–	–	–	0,0254	0,0374	0,0297	0,0377	
	Odcinek Swoszowice – Węzeł Wielicka	A4	0,0298	0,0289	0,0275	0,0327	0,0231	0,0302	0,0362
			–	–	–	0,0281	0,0276	0,0126	0,0474
A5		–	0,0378	0,0197	0,0232	0,0323	0,0303	0,0410	
		–	–	–	0,0198	0,0244	0,0277	0,0197	
A10		–	0,0222	0,0341	0,0299	0,0141	0,0371	0,0411	
		–	–	–	0,0318	0,0298	0,0231	0,0377	
Odcinek Węzeł Wielicka – w k. Szarową	A13	–	–	–	–	0,0306	0,0360	0,0084	
		–	–	–	–	0,0115	0,0282	0,0208	

badania z roku 2003 publikowane w [3]

– nie oznaczano

Celowym jest przeprowadzenie analizy wyników zawartości rtęci obserwowanych dla punktów zlokalizowanych w zbliżonych warunkach. Istotna jest, zatem odrębna interpretacja wyników badań dla punktów poddanych oddziaływaniu intensywnego ruchu samochodowego oraz dla punktów z ograniczonym oddziaływaniem. Zestawienie zawartości rtęci całkowitej w poszczególnych próbkach pobranych w latach 2003-2012 w miejscach oddziaływania intensywnego ruchu samochodowego przedstawiono w tabeli 1.

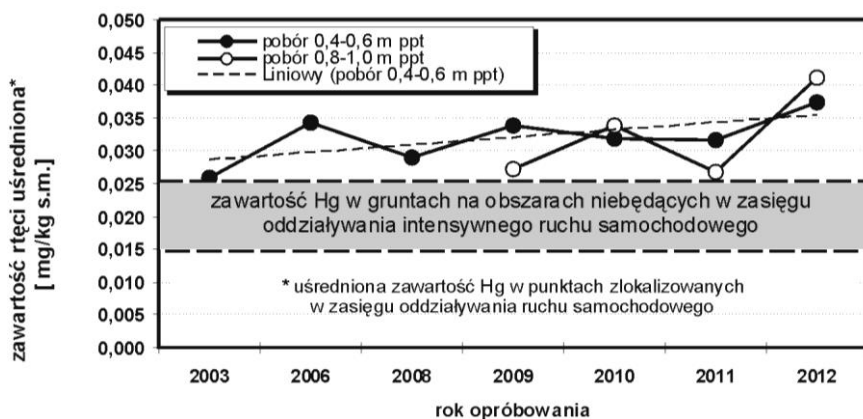
4. Dyskusja uzyskanych wyników

Punktowe znaczne podwyższenie zawartości rtęci w próbkach gruntu pobranych przy jezdni może wskazywać między innymi na zanieczyszczenie w wyniku awaryjnego wycieku produktów z pojazdów i transport zanieczyszczenia do gruntu wraz ze spływami wód opadowych. Równomierny rozkład podwyższonych zawartości rtęci może sugerować natomiast eoliczny transport zanieczyszczenia w wyniku spalania paliw samochodowych. Doniesienia literaturowe wskazują na podwyższenie zawartości rtęci w pyłe w obszarze oddziaływania ruchu samochodowego, co może być przyczyną równomiernego rozkładu zanieczyszczenia rtęcią gruntów w bezpośrednim sąsiedztwie [20]. W tym miejscu należy podkreślić, że wszystkie punkty badawcze zostały zlokalizowane poza rowem odwadniającym, stąd część zanieczyszczeń, zwłaszcza związanych ze spływami wód opadowych z jezdni niewątpliwie jest ujmowana tym systemem i nie jest wprowadzana do środowiska gruntowego w otoczeniu obwodnicy.

Analiza zawartości rtęci opisywana we wcześniejszych pracach z udziałem autora sugeruje powolną kumulację związków rtęci w gruntach przypowierzchniowych z bezpośredniego otoczenia dróg szybkiego ruchu [3, 11, 12]. Analiza prowadzona była jednak, tylko na podstawie jednokrotnego opróbowania w konkretnym roku, ale dla różnych obszarów. Pomiaru prowadzone w latach kolejnych, a obecnie prezentowane, pozwalają na uszczegółowienie obserwacji i kształtowanie wniosków.

Z analizy pomiarów, przeprowadzonych w latach 2003-2012 w otoczeniu południowej obwodnicy Krakowa, wyłącznie dla punktów zlokalizowanych w zbliżonych warunkach, będących w zasięgu oddziaływania intensywnego ruchu samochodowego i na głębokości 0,4–0,6 m

wynika, że uśredniona zawartość rtęci ze wszystkich punktów w roku 2003 wynosi 0,026 mg/kg, a w roku 2012 osiąga wyższą średnią na poziomie 0,037 mg/kg. Można, zatem obserwować pewną tendencję wzrostową zawartości rtęci w próbkach gruntów pobranych na głębokości 0,4–0,6 m na przestrzeni 10 lat. Wzrost ten jest jednak niewielki i nie wykazuje charakterystycznej liniowości. Wyniki oznaczeń rtęci w próbkach gruntu pobranych z głębszej warstwy nie pozwalają na taką obserwację. Tendencję kształtowania się zawartości rtęci w przypowierzchniowych warstwach gruntu, z uwzględnieniem jedynie punktów badawczych, będących w zasięgu oddziaływania ruchu samochodowego przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Zawartość rtęci w przypowierzchniowych próbkach gruntów w poszczególnych latach, uśredniona ze wszystkich punktów zlokalizowanych w zasięgu oddziaływania ruchu samochodowego

Fig. 2. Mercury content in the subsurface soil samples over individual years averaged for all points in heavy traffic impact

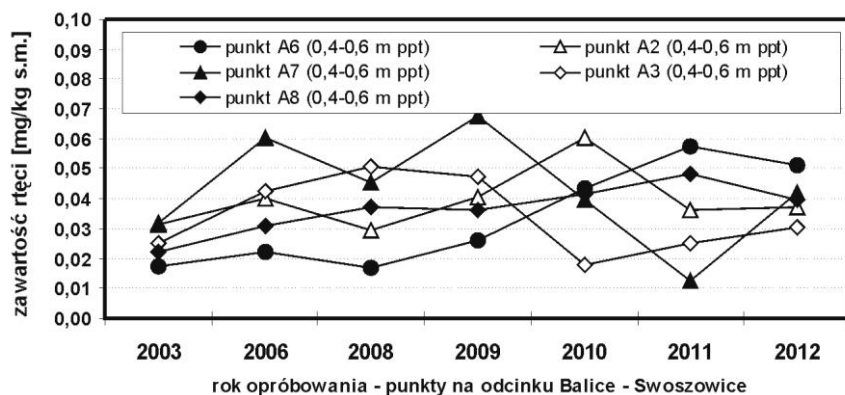
Dodatkowo pobrane dwie próbki gruntu w punktach O1 oraz O2 zlokalizowane zostały na peryferiach miasta Krakowa, w odległości około 200–300 metrów od szlaków komunikacyjnych. Generalnie szerokość strefy, na którą docierają zanieczyszczenia komunikacyjne ogranicza się do około 150 m po obu stronach jezdni [2, 17, 18]. Można zatem przyjąć, że miejsca te są wyłączone z możliwości oddziaływania ciągu komunikacyjnego, a zawartość rtęci odpowiada naturalnej jej zawartości w gruntach pobieranych z określonych głębokości na analizowanym obszarze.

Pomierzone w tych miejscach zawartości rtęci całkowitej w próbkach gruntu na głębokości 0,4–0,6 m kształtują się na poziomie 0,018–0,025 mg/kg a na głębokości 0,8–1,0 m na poziomie 0,012–0,013 mg/kg. Takie zawartości są również charakterystyczne dla odcinka ograniczonego ekranami akustycznymi, czyli przy założonym braku oddziaływania intensywnego ruchu samochodowego (rys. 2). *Atlas zanieczyszczeń gleb miejskich w Polsce* [15] pokazuje, że w gruntach powierzchniowych peryferyjnych dzielnic Krakowa zawartość rtęci jest niższa niż 0,05 mg/kg.

Interpretacja uzyskanych wyników badań jest zdecydowanie niejednoznaczna i trudnym zagadnieniem jest określenie wyraźnych zmian zawartości rtęci na przestrzeni analizowanych lat. Wartości obserwowane mogą być zarówno wynikiem oddziaływania intensywnego ruchu samochodowego jak też innych czynników antropogenicznych. Istotnym zagadnieniem jest przeprowadzenie analizy porównawczej pomiędzy pomiarami dla gruntów pobranych w punktach poddanych oddziaływaniu ruchu samochodowego oraz dla gruntów pobranych z miejsc o oddziaływaniu ograniczonym.

Na rysunkach 3, 4 oraz 5 przedstawiono wyniki zawartości rtęci w przypowierzchniowej warstwie gruntu (na głębokości 0,4–0,6 m) obserwowane w latach 2003–2012. Przeprowadzona analiza w obrębie punktów znajdujących się w zasięgu oddziaływania ruchu samochodowego wskazuje na zjawisko bardzo powolnej kumulacji rtęci w przypowierzchniowych warstwach. Szczególnie widoczne jest to na odcinku Balice-Swoszowice, który znajduje się pod wpływem intensywnego ruchu samochodowego od około 20 lat (rys. 3). Uśredniona zawartość rtęci z wszystkich punktów w roku 2003 wynosi 0,025 mg/kg, a w roku 2012 wartość ta osiąga wielkość 0,041 mg/kg. Najwyższe punktowe zawartości rtęci w gruntach zostały pomierzone w roku 2006 oraz 2009 w punkcie A7, gdzie sięgają one 0,068 mg/kg. Należy tu podkreślić, że punkt ten jest obciążony możliwością dodatkowego zasilania spływami powierzchniowymi, a tym samym możliwością zwiększonego zanieczyszczenia.

Uśrednione ze wszystkich punktów zawartości rtęci w gruntach pobranych na pozostałych odcinkach obwodnicy wykazują również słabą tendencję wzrostową od 0,026 mg/kg w roku 2003 do 0,036 mg/kg w roku 2012, co zostało zestawione na rysunku 4.

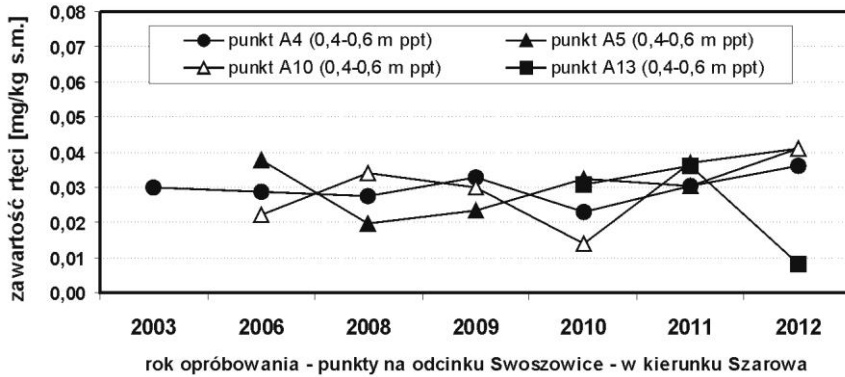


Rys. 3. Zawartość rtęci w gruntach pobranych na odcinku Balice-Swoszowice w punktach zlokalizowanych w miejscach oddziaływania ruchu samochodowego

Fig. 3. Mercury content in soils collected in the section of the road from Balice to Swoszowice in points in heavy traffic impact

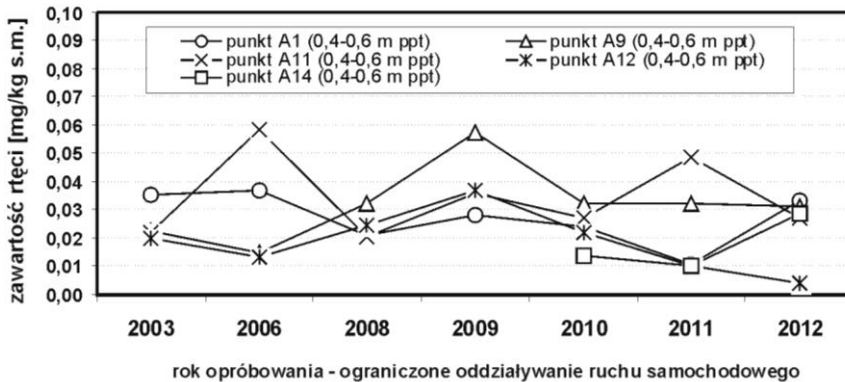
Zawartość rtęci w gruntach pobranych w punktach o ograniczonej ekspozycji na zanieczyszczenie (punkty wyniesione ponad poziom jezdni lub oddzielone od jezdni ekranem akustycznym) oraz w punkcie o krótkim czasie oddziaływania nie wykazuje zmienności na przestrzeni lat. Jej zawartość jest niska i kształtuje się generalnie na poziomie 0,015–0,025 mg/kg, obserwowanym jednocześnie w obszarach niebędących w zasięgu oddziaływania ruchu samochodowego. W punktach tych nie obserwuje się żadnych zależności pomiędzy zawartością rtęci w gruntach a okresem pomiarowym (rys. 5).

Obserwacje zawartości konkretnego składnika prowadzone przez wiele lat w tych samych punktach oraz na różnych, ale ustalonych głębokościach mogą być istotnym źródłem informacji pozwalających w konsekwencji na określenie możliwości kumulacji zanieczyszczenia w przy powierzchniowych warstwach gruntu lub też prędkości przemieszczania się zanieczyszczenia przez strefę aeracji. Badania zawartości rtęci prowadzone dla wszystkich punktów, rozszerzono w roku 2009 o pomiary zawartości tego składnika na nieco większej głębokości 0,8–1,0 m, co zestawiono w tabeli 1 oraz na rysunkach 6 oraz 7.



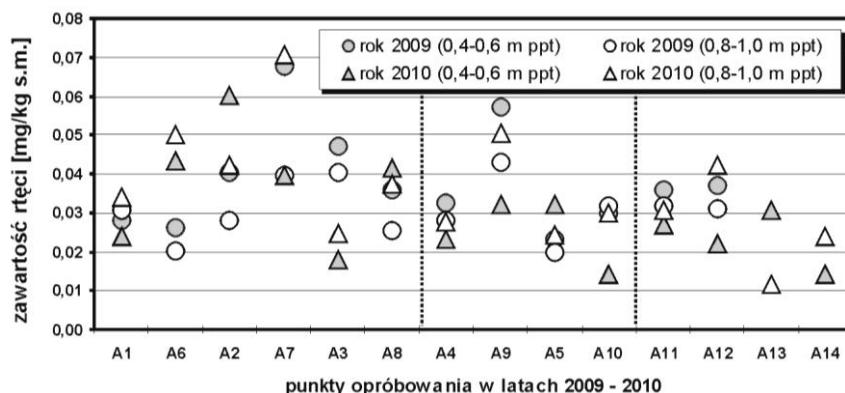
Rys. 4. Zawartość rtęci w gruntach pobranych na odcinku Swoszowice – w kierunku Szarów w punktach zlokalizowanych w miejscach oddziaływania ruchu samochodowego

Fig. 4. Mercury content in soils collected in the section of the road from Swoszowice towards Szarów in points in heavy traffic impact



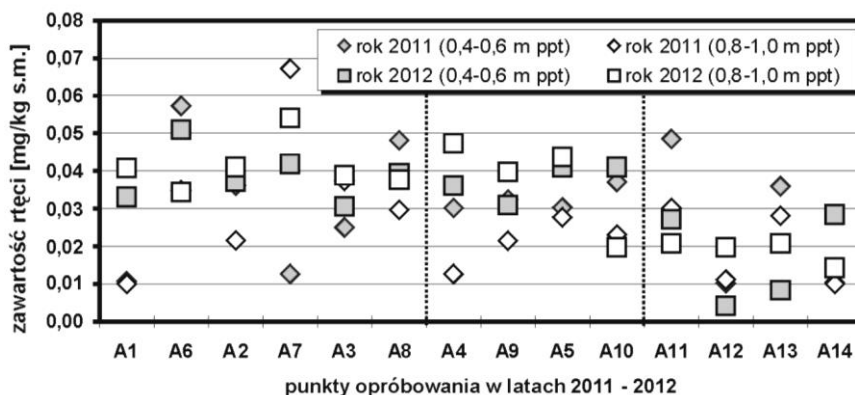
Rys. 5. Zawartość rtęci w gruntach pobranych w punktach na odcinku Balice – w kierunku Szarów w punktach o ograniczonym oddziaływaniu ruchu samochodowego

Fig. 5. Mercury content in soils collected in the section of the road from Swoszowice towards Szarów in points with limited impact traffic



Rys. 6. Obserwacje zawartości rtęci na różnych głębokościach przy powierzchniowej warstwy gruntu w latach 2009–2010

Fig. 6. Research on mercury content at different subsurface soil depths from 2009–2010



Rys. 7. Obserwacje zawartości rtęci na różnych głębokościach przy powierzchniowej warstwy gruntu w latach 2011–2012

Fig. 7. Research on mercury content at different subsurface soil depths from 2011–2012

Badania zawartości rtęci prowadzone na głębokości 0,8–1,0 m nie wykazują żadnej charakterystycznej tendencji kształtowania zawartości tego pierwiastka w próbkach gruntów. Na odcinku najdłuższym uczęszczanym uśredniona zawartość rtęci w próbkach gruntu ze wszystkich punktów mieści się na poziomie od 0,031 mg/kg w roku 2009 do 0,041 mg/kg w roku 2012. Na odcinku uczęszczanym od 10 lat uśrednione zawartości

rtęci kształtują się na poziomie od 0,031 mg/kg w roku 2009 do 0,037 mg/kg w roku 2012. Odcinek uruchomiony zaledwie 3 lata temu i w większości ograniczony ekranami akustycznymi charakteryzuje się zawartościami rtęci na poziomie obserwowanym w miejscach oddalonych od tras komunikacyjnych. Uśredniona zawartość rtęci w tych punktach kształtuje się w poszczególnych latach na poziomie od 0,031 do 0,020 mg/kg.

Wieloletnie badania gruntów w zasięgu oddziaływania południowej obwodnicy Krakowa nie pozwalają na obecnym etapie, na szacowanie prędkości przemieszczania się związków rtęci w profilu strefy aeracji. Wskazują raczej na możliwość ich powolnej kumulacji w przypowierzchniowych warstwach gruntu lub też na bardzo powolną migrację w głąb warstw. Można przypuszczać, że w analizowanych gruntach opóźnienie migracji rtęci jest znaczące [14] i w związku z tym brak charakterystycznych zmian zawartości tego pierwiastka na głębokości poboru próbek 0,8–1,0 m.

4. Wnioski

Prowadzone wieloletnie badania pozwoliły na uszczegółowienie wcześniejszych obserwacji z udziałem autora w zakresie kształtowania jakości środowiska w bezpośrednim otoczeniu intensywnie uczęszczanych tras samochodowych. Pobór prób przypowierzchniowej warstwy gruntu, prowadzony w latach 2003–2012 po obu stronach południowej obwodnicy Krakowa, a następnie badanie w warunkach laboratoryjnych wykazało zróżnicowany rozkład zawartości rtęci.

Na obecnym etapie badań, nie można jednoznacznie stwierdzić, że intensywna eksploatacja dróg o dużym natężeniu ruchu prowadzi do wzrostu zanieczyszczenia gruntów związkami rtęci. Można jednak sądzić, że istnieją wskazówki w kierunku bardzo powolnego wzrostu zawartości rtęci w takich obszarach, zwłaszcza w przypowierzchniowych warstwach gruntu. Potwierdzeniem tego spostrzeżenia jest przeprowadzona analiza porównawcza pomiędzy zawartością rtęci w próbkach pobranych w punktach dobrze wyeksponowanych na oddziaływanie ruchu samochodowego, a zawartością rtęci w próbkach pobranych w miejscach o ograniczonym oddziaływaniu.

Trudnym zagadnieniem jest wskazanie charakteru potencjalnego źródła zanieczyszczenia gruntów związkami rtęci. Obserwowany charakter kształtowania się zawartości rtęci w przypowierzchniowych war-

stwach gruntu w otoczeniu dróg może wynikać zarówno z oddziaływania źródeł punktowych (spływy zanieczyszczonych wód opadowych) jak też liniowych (emisja spalin). Należy zaznaczyć, że interpretowana tendencja kumulacji rtęci w gruntach jest mało wyraźna. Pomierzone zawartości mogą być wynikiem oddziaływania ruchu komunikacyjnego, ale mogą też wynikać z oddziaływania innych źródeł zanieczyszczeń antropogenicznych jak też mogą być efektem naturalnej zmienności zawartości rtęci w gruncie na analizowanym obszarze.

Literatura

1. **Boszke L., Kowalski A.:** *Spatial Distribution of Mercury in Bottom Sediments and Soil from Poznań, Poland*. Polish Journal of Environmental Studies. Volume 15, No 2, 211–218 (2006).
2. **Curzydło J.:** *Skażenia motoryzacyjne wzdłuż dróg i autostrad oraz sposoby przeciwdziałania ujemnym skutkom motoryzacji w środowisku*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych. Z. 418, 256–270 (1995).
3. **Czajka K., Kłojzy-Karczmarczyk B., Mazurek J.:** *Zanieczyszczenie środowiska gruntowo-wodnego związkami rtęci wokół czynnego oraz budowanego odcinka autostrady w okolicach Krakowa*. Materiały XI Ogólnopolskie Sympozjum “Współczesne Problemy Hydrogeologii”. Tom XI, cz. 2 Gdańsk, 337–340 (2003).
4. **Czubaszek R., Bartoszek K.:** *Zawartość wybranych metali ciężkich w glebach w zależności od ich odległości od ulicy i sposobu użytkowania terenu*. Civil and Environmental Engineering – Budownictwo i Inżynieria Środowiska. Nr 2 (2011), 27–34 (2011).
5. **Deska J., Bombik A., Marciniuk-Kluska A., Rymuza K.:** *Trends in Lead and Cadmium Content in Soils Adjacent to European Highway E30*. Polish Journal of Environmental Studies. Volume 20, No. 2, 317–325 (2011).
6. **Gawroński K.:** *Zanieczyszczenie gleb metalami ciężkimi i siarką na tle struktury funkcjonalno-przestrzennej gmin województwa małopolskiego*. Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set of Environment Protection), 4, Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska. 379–401 (2002).
7. **Hycnar E., Schejbal-Chwastek M.:** *Ocena oddziaływania ciągów komunikacyjnych na środowisko glebowe*. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Wyd. IGSMiE PAN. Tom 22 – zeszyt specjalny 3, 397–406 (2006).
8. informacje SISKOM – Stowarzyszenie Integracji Stołecznej Komunikacji <http://www.siskom.waw.pl>.

9. **Kłojzy–Karczmarczyk B., Mazurek J., Kucharska A.:** *Rtęć i związki BTX w środowisku gruntowo-wodnym zagrożonym zanieczyszczeniem substancjami ropopochodnymi*. Polityka Energetyczna, Wyd. IGSMiE PAN. Tom 8, zeszyt specjalny. 603–611 (2005).
10. **Kłojzy-Karczmarczyk B., Mazurek J.:** *Badania rtęci w wybranych złożach ropy naftowej regionu karpackiego*. Polityka Energetyczna. Wyd. IGSMiE PAN. Tom 11, zeszyt 1, 211–217 (2008).
11. **Kłojzy-Karczmarczyk B., Mazurek J.:** *Rtęć w strefie aeracji otoczenia drogi krajowej 79 na odcinku Chrzanów – Kraków*. Materiały XII Sympozjum „Współczesne Problemy Hydrogeologii”. Tom XII, Toruń 337–344 (2005).
12. **Kłojzy-Karczmarczyk B.:** *Ocena zagrożenia zanieczyszczeniem rtęcią wód podziemnych w wyniku oddziaływania wybranych odcinków dróg na obszarze centralnej Polski*. Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set of Environment Protection), 13, cz. 2, Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska. 1766–1782 (2011).
13. **Leśniewska E., Szykowska M. I., Paryczak T.:** *Główne źródła rtęci w organizmach ludzi nie narażonych zawodowo*. Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set of Environment Protection), 11, Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska. 403–419 (2009).
14. **Macioszczyk A., Dobrzyński D.:** *Hydrogeochemia strefy aktywnej wymiany wód podziemnych*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002.
15. **Pasieczna A.:** *Atlas zanieczyszczeń gleb miejskich w Polsce*. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa 2003.
16. **Piekutin J.:** *Zanieczyszczenie wód produktami naftowymi*. Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set of Environment Protection), 13, Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska. 1905–1914 (2011).
17. **Pivic R., Stanojkovic Sebic A., Josic D.:** *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 (2012).
18. **Stevovic S., Surcinski Miklovllovic V., Calic-Dragosavac D.:** *Environmental study of heavy metals influence on soil and Tansy (Tanacetum vulgare L.)*. African Journal of Biotechnology. Vol. 9 (16), 2392–2400 (2010).
19. **Wilhelm S.M.:** *Estimate of Mercury Emissions to the Atmosphere from Petroleum*. Environmental Science & Technology. 35 (24), 4704–4710 (2001).
20. **Xinwei Lu, Loretta Y. Li, Lijun Wang, Kai Lei, Jing Huang, Yuxiang Zhai.:** *Contamination assessment of mercury and arsenic in roadway dust from Baoji*. Atmospheric Environment, Elsevier. Volume 43, Issue 15, 2489–2496 (2009).

Analysis of Long-term Research on Mercury Content in the Soils in the Immediate Surroundings of the Southern Ring Road of Krakow

Abstract

According to literature, intensive use of roads increases the level of soil pollution with individual metals and its extent depends on the type of soil, depth of sampling, and decreases with distance from the road. Supposition of possible soil contamination with mercury in the immediate vicinity of transportation routes results from reported mercury content in crude oil and the observed phenomenon of co-occurrence of mercury and oil-derived substances in soil.

This work presents and analyses the results of research on mercury content in the surface layer of soil taken from the immediate vicinity of the southern Krakow ring road. Observations were conducted from 2003–2012 which allowed to show variability of mercury content in the soil over many years. The studies indicated varied distribution of mercury content in the soil, however, mercury content is generally at the same level on both sides of the road. Points with limited exposure to the impact of traffic, i.e. locations elevated above the road and those outside the acoustic screens were excluded from the analysis.

Taking into account only the points in heavy traffic impact, slow accumulation of mercury in the top layers of the soil at a depth of 0.4–0.6 m was observed. This was particularly evident in the section of the road from Balice to Swoszowice, which has been located in an area of intense traffic for about 20 years. Average mercury content for all points ranged from 0.025 mg/kg in 2003 to 0.041 mg/kg in 2012. Averaged mercury content in soils from all points collected from other parts of the ring road also showed an upward trend and ranged from 0.026 mg/kg in 2003 to 0.036 mg/kg in 2012. Mercury content in soils collected at points with limited exposure to pollution and at a point with short exposure indicate no fluctuation over the years. Its content is low and is generally from 0.01 to 0.02 mg/kg in the areas that are not in the vicinity of the traffic.

Studies of samples from a slightly greater depth of 0.8–1.0 m do not show any characteristic trend in mercury content in the soil. At this stage, long-term studies of soil in the vicinity of Krakow southern ring road do not allow to formulate conclusions regarding the estimation of the migration rate of mercury compounds in the aeration zone profile. They rather suggest the possibility of slow accumulation in the top layers of soil or very slow migration into the layers.

In view of the entire research, it may be said that there are hints pointing to a very slow increase in the mercury content in the areas of long-term impact of heavy traffic. Interpretation of the research results, however, is definitely ambiguous. The observed values may be due to either the impact of heavy traffic, to other industrial factors or to natural heterogeneity of soil.