

dr hab. Beata Kuziemska, prof. UPH¹
dr hab. inż. Krzysztof Pakuła
prof. zw. dr hab. Krystyna Pieniak-Lendzion
dr hab. inż. Marcin Becher

Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach

Metale ciężkie w glebach położonych wzdłuż szlaków komunikacyjnych Heavy metals in soil along transport routes

Streszczenie: Celem pracy była ocena zawartości cynku, ołowiu, chromu, miedzi, niklu i kadmu w poziomie powierzchniowym gleb uprawnych w odległości 10 m i 75 m od drogi krajowej DK63, na odcinku Siedlce-Łuków. W badanych glebach stwierdzono zróżnicowaną zawartość metali ciężkich, która układała się w szeregu malejącym: $Zn > Pb > Cr > Ni > Cu > Cd$ i zmniejszała się w miarę oddalania od pasa drogowego. Zawartość ta nie przekraczała dopuszczalnych stężeń dla gleb uprawnych, mieściła się w przedziale zawartości naturalnych i tła geochemicznego dla utworów piaszczystych.

Słowa kluczowe: transport drogowy, metale ciężkie, gleba

Abstract: The paper presents an evaluation of the content of zinc, lead, chromium, copper, nickel and cadmium in the surface horizon of arable soil at 10 m and 75 m from the national road DK63, on the section Siedlce-Lukow. The content of heavy metals in soil is arranged in the following decreasing series $Zn > Pb > Cr > Ni > Cu > Cd$ and decreased in the distance from the roadway. The contents of metals do not cross the standard limit for arable soil, and was on the natural and geochemical background level for the sandy deposits.

Keywords: road traffic, heavy metals, soil

Wstęp

Transport drogowy to ważny element systemów logistycznych i jeden z podstawowych ogniw łańcucha logistycznego. Rozwój aktywności gospodarczej determinuje wielkość popytu na usługi transportowe. Szacuje się, że w procesach logistycznych około 80% wszystkich funkcji logistycznych stanowi transport. Pełni on przede wszystkim funkcję integrującą system gospodarczy i społeczny, zaspokajając popyt na szybkie dostawy towarów oraz umożliwia przemieszczanie się ludności². Powszechna globalizacja i daleko idąca specjalizacja generują zapotrzebowanie na usługi transportowe. Według danych GUS w 2013 r. za pomocą transportu drogowego wykonano 84% przewozów ładun-

¹ Adres do korespondencji: UPH w Siedlcach, Wydział Przyrodniczy, Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej, ul. Prusa 14, 08-110 Siedlce, e-mail: bak.kuz@interia.pl

² H. Zielaskiewicz, *Transport jako ogniwo łańcucha logistycznego i jego oddziaływanie na środowisko naturalne*, „Logistyka”, 4/2009, s. 28.

ków towarowych i 62,2% przewozów pasażerskich³. Wymusza to konieczność inwestycji związanych z rozbudową sieci drogowej i modernizacją stanu technicznego infrastruktury drogowej już istniejącej. Na koniec 2013 r. sieć dróg publicznych w Polsce wyniosła 415132,6 km, w tym 68,7% posiadało nawierzchnię utwardzoną. Drogi krajowe w tym okresie posiadały łączną długość 19295,8 km, z czego 66,1% - było w stanie dobrym, 21,4% - niezadowalającym, 12,5% - charakteryzowało się złym stanem nawierzchni⁴. W latach 2000-2013 liczba pojazdów poruszających się po polskich drogach wzrosła z 14,1 do 25,7 mln sztuk, w tym samochodów osobowych o 94,1%, samochodów ciężarowych o 57,6%, autobusów o 24,4%⁵.

Wzrost gęstości sieci komunikacyjnej i natężenia ruchu na drogach prowadzi do zwiększenia presji transportu drogowego na jakość środowiska, którego uciążliwość zależy od stosowanych technologii transportowych, jakości i przepustowości szlaków komunikacyjnych oraz rozwiązań technicznych stosowanych w pojazdach⁶. Oddziaływanie transportu na środowisko ma charakter wielokierunkowy i dotyczy przede wszystkim stanu powietrza atmosferycznego, wód powierzchniowych i gruntowych, gleby oraz zakłóceń bioróżnorodności. Zanieczyszczenia komunikacyjne mają charakter liniowy i zaliczane są do zanieczyszczeń obszarowych⁷. Środki transportu drogowego są odpowiedzialne za emisję 32% tlenków azotu, 22,2% substancji chemicznych pochodzenia organicznego, 20,2% tlenków węgla i 18,7% pyłów⁸.

Jednym z najpoważniejszych zagrożeń dla bezpieczeństwa ekologicznego i zdrowia ludzi jest zanieczyszczenie środowiska naturalnego metalami ciężkimi. Biorąc pod uwagę budowę wewnętrzną i właściwości fizykochemiczne, metale ciężkie to grupa metali i półmetali o liczbie atomowej powyżej 20 i gęstości właściwej powyżej 4,5 g·cm⁻³, które w reakcjach chemicznych wykazują tendencje do oddawania elektronów i wykazują zdolność do stopniowej akumulacji w poszczególnych elementach środowiska i organizmach żywych (np. kadm Cd, ołów Pb, cynk Zn, miedź Cu, nikiel Ni, chrom Cr)⁹. Wśród nich wyróżniamy zarówno pierwiastki niezbędne dla organizmów żywych – mikroelementy (np. miedź, cynk), jak i pierwiastki zbyteczne, których rola fizjologiczna nie została do końca wyjaśniona (np. ołów, kadm). Wspólną cechą metali jest toksyczność (przy dużych stężeniach) dla biotycznych elementów środowiska. Metale ciężkie są nieodłącznym elementem środowiska przyrodniczego, związanym z genezą i składem chemicznym skał macierzystych oraz intensywnością naturalnych procesów wpływających na obieg metali w środowisku (wietrzenie, trzęsienia ziemi, wulkanizm, erozja). Antropopresja znacznie

³ Transport drogowy w Polsce w latach 2012 i 2013, GUS, Warszawa 2015, s. 51 i 55.

⁴ Tamże, s. 44.

⁵ Ochrona środowiska, Rocznik statystyczny GUS, Warszawa 2015, s. 226.

⁶ H. Zielaskiewicz, *Transport jako ogniwo łańcucha logistycznego i jego oddziaływanie na środowisko naturalne*, „Logistyka”, 4/2009, s. 28.

⁷ J. Sławiński, E. Gołębek, G. Senderak, *Wpływ zanieczyszczeń komunikacyjnych na glebę i uprawną roślinność przydrożną*, „Inżynieria Ekologiczna”, 40/2014, s. 138.

⁸ Ochrona środowiska, Rocznik statystyczny GUS, Warszawa 2015, s. 222.

⁹ A. Karczewska, *Ochrona gleb i rekultywacja terenów zdegradowanych*, Wrocław, 2012, s. 116.

zwiększa ilość tych pierwiastków w środowisku, które stanowią potencjalne większe zagrożenie dla jakości środowiska niż ze źródeł naturalnych¹⁰.

Zarówno pojazdy, jak i eksploatacja tras komunikacyjnych są źródłem emisji toksycznych gazów, pyłów, aerozoli, zawierających metale ciężkie (Pb 14,5 Mg-rok⁻¹, Ni 5,96 Mg-rok⁻¹, Cu 3,58 Mg-rok⁻¹, Cr 1,73 Mg-rok⁻¹, Cd 0,43 Mg-rok⁻¹), co stanowi 2,3% ogólnej emisji tych pierwiastków¹¹. Pochodzą one głównie z procesów spalania paliw (Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Cr), zużywania się części pojazdów (elementy konstrukcyjne nadwozia, podwozia i silnika, klocki hamulcowe i układziny sprzęgła – głównie Cu, opony – głównie Zn), wycieków paliwa oraz smarów i olejów (Cd, Cu, Ni), niszczenia nawierzchni drogi, korozji pojazdów i infrastruktury drogowej (barier energochłonnych, znaków drogowych – głównie Zn), a także materiałów odpadowych pozostawionych przez użytkowników dróg oraz katastrof drogowych¹². Zawartość metali w benzynach używanych w krajach Unii Europejskiej, pomimo obowiązujących norm, charakteryzuje się dużą zmiennością Cd (0,0038-1,5 µg·kg⁻¹), Cr (0,14-28 µg·kg⁻¹), Cu (0,14-23 µg·kg⁻¹), Ni (0,02-6,1 µg·kg⁻¹), Pb (0,035-9,7 µg·kg⁻¹), Zn (0,19-240 µg·kg⁻¹)¹³.

Eksploatacja środków i sieci transportowej powodować zatem może zanieczyszczenie metalami ciężkimi gleb uprawnych znajdujących się w sąsiedztwie szlaków komunikacyjnych. Zanieczyszczenie gleby to stan, gdy przekroczone zostaną ich zawartości naturalne wynikające z natury skały macierzystej (tzw. tło geochemiczne) lub/i wartości dopuszczalne zgodne z obowiązującymi normami^{14 15}. Gleba należy do najważniejszych naturalnych i nieodnawialnych zasobów przyrody, który powstał z wierzchniej warstwy skorupy ziemskiej i stanowi środowisko życia roślin, zwierząt i człowieka. Składa się z cząstek mineralnych o różnej wielkości i składzie chemicznym, substancji organicznej, wody, powietrza i żywych organizmów; charakteryzuje się określonymi fizycznymi, chemicznymi i biologicznymi właściwościami znajdującymi się w stanie równowagi dynamicznej, której naruszenie powoduje najczęściej negatywne skutki dla środowiska. Zapewnia bowiem ochronę przed nadmiernym przepływem substancji niepożądanych do innych elementów środowiska (zwłaszcza wód gruntowych i organizmów żywych). Zawartość metali ciężkich w glebach jest zróżnicowana ze względu na rodzaj i właściwości skały macierzystej. Najwięcej metali zawierają gleby ciężkie (wytworzone z glin, ilów) o bogatym składzie mineralogicznym i dużej pojemności sorpcyjnej, wynikającej z obecności koloidów mineralnych i organicznych oraz odczynie zbliżonym do obojętnego. Najmniej metali występuje na ogół w glebach lekkich (piaszczystych) o ubogim składzie mineralogicznym

¹⁰ A. Kabata-Pendias, H. Pendias, *Biogeochemia pierwiastków śladowych*, PWN, Warszawa 1999, s. 26-86.

¹¹ Ochrona środowiska, Rocznik statystyczny GUS, Warszawa 2015, 225.

¹² R. Świetlik, M. Trojanowska, *Transport samochodowy jako źródło emisji metali ciężkich do środowiska*, „Logistyka”, 6/2014, s. 10172-10173.

¹³ T. Pulles, H.D. van der Gon, W. Appelman, M. Verheul, *Emission factors for heavy metals from diesel and petrol used in European vehicles*, „Atmospheric Environment”, 61/2012, s. 646.

¹⁴ Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 roku w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. Dz.U. nr 165, poz. 1359.

¹⁵ A. Mocek, A. Mocek-Plóćiniak, *Ksenobiotyki w środowisku glebowym Polski*, „Nauka. Przyroda. Technologie”, 4(6)/2010, s. 2.

(chemicznym), o małej pojemności sorpcyjnej i odczynie kwaśnym, sprzyjającym większej migracji tych pierwiastków w środowisku (tab. 1)¹⁶.

Tab. 1. Średnia zawartość ogólna ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) metali ciężkich w glebach Polski

Pierwiastek	Gleby mineralne			Gleby organiczne
	lekkie	średnie	ciężkie	
Cd	0,29	0,35	0,86	0,05
Pb	14,2	17,7	25,2	25,0
Cr	8,00	15,3	25,6	15,0
Zn	41,7	59,7	91,0	60,0
Cu	10,4	13,2	20,3	5,00
Ni	5,50	11,8	23,4	10,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie Kabata-Pendias A., Pendias H., *Biogeochemia pierwiastków śladowych*, PWN, Warszawa 1999.

Gleba, zwłaszcza jej poziomy powierzchniowe, stanowi element środowiska najbardziej podatny na systematyczne gromadzenie metali ciężkich ze źródeł antropogenicznych, w którym mogą one długotrwale przebywać i niekorzystnie oddziaływać na bezpieczeństwo ekologiczne i jakość życia człowieka¹⁷. Ich zawartość i większe ryzyko wnikania do łańcucha pokarmowego roślin – zwierzę – człowiek, zależy od gęstości i jakości sieci komunikacyjnej, natężenia ruchu, charakteru fizycznego i chemicznego form ich występowania, ukształtowania terenu, właściwości gleb (odczyn, zawartość glebowej materii organicznej, pojemność sorpcyjna, skład granulometryczny – zwłaszcza ilość frakcji ilowej, potencjał oksydacyjno-redukcyjny) i odległości od krawędzi jezdni. Zanieczyszczenia gazowe i pyłowe akumulują się głównie w strefie do 50 m od drogi, a ich zasięg kończy się najczęściej powyżej 130-150 m (niekiedy, w zależności od warunków fizjograficznych i meteorologicznych, wpływ zanieczyszczeń sięga maksymalnie do 500 m)^{18 19}.

Metale w środowisku glebowym mogą występować w różnych formach chemicznych o zróżnicowanej dostępności dla organizmów roślinnych i zwierzęcych. W roztworze glebowym występują w postaci kationów i anionów. Posiadają także zdolność do tworzenia trudno rozpuszczalnych tlenków i soli, ulegają adsorpcji na powierzchni składników mineralnych oraz mogą wiązać się z kwasami organicznymi i substancjami próchnicznymi²⁰. Po przekroczeniu poziomu tła geochemicznego pierwiastki te wpływają na obniżenie żyzności i urodzajności gleby, ilości i jakości plonów uprawianych roślin, aktywności biologicznej gleb

¹⁶ A. Kabata-Pendias, H. Pendias, *Biogeochemia pierwiastków śladowych*, PWN, Warszawa 1999, s. 53-62.

¹⁷ A. Mocek, A. Mocek-Plóćniak, *Ksenobiotyki w środowisku glebowym Polski*, „Nauka Przyroda Technologia”, 4(6)/2010, s. 2.

¹⁸ H. Zielaskiewicz, *Transport jako ogniwo łańcucha logistycznego i jego oddziaływanie na środowisko naturalne*, „Logistyka”, 4/2009, s. 28.

¹⁹ J. Sławiński, E. Gołąbek, G. Senderak, *Wpływ zanieczyszczeń komunikacyjnych na glebę i uprawną roślinność przydrożną*, „Inżynieria Ekologiczna”, 40/2014, s. 138.

²⁰ A. Kabata-Pendias, H. Pendias, *Biogeochemia pierwiastków śladowych*, PWN, Warszawa 1999, s. 55-62.

oraz negatywnie oddziałują na wzrost i rozwój organizmów żywych (hamowanie procesów metabolizmu komórkowego, zaburzenia procesów enzymatycznych, zmiany mutagenne w strukturze DNA i RNA, zaburzenia układu nerwowego, pokarmowego, rozrodczego i szkieletowego, liczne choroby i schorzenia)²¹.

Ważnym zagadnieniem jest badanie przemian związków metali ciężkich w środowisku. Oddziaływanie metali ciężkich na biotyczną część środowiska, w tym na zdrowie ludzi, zależy nie tylko od poziomu zanieczyszczenia tymi pierwiastkami, ale jest złożoną funkcją ich zawartości w danym elemencie środowiska, dystrybucji fizycznych i chemicznych form ich występowania oraz roli biochemicznej w organizmach²².

Monitorowanie i ocena stopnia zagrożenia zanieczyszczeń komunikacyjnych na środowisko glebowe, jakość produkowanej żywności i zdrowie ludzi pozwoli na wprowadzenie standardów ochrony środowiska w procesie projektowania i eksploatacji infrastruktury komunikacyjnej. Opracowanie i wdrażanie programów zrównoważonego rozwoju transportu drogowego, uwzględniającego aspekty ekonomiczne, społeczne i ekologiczne, stworzy podstawy do ograniczenia jego presji na środowisko przyrodnicze²³.

Celem pracy była ocena zawartości cynku, ołowiu, chromu, miedzi, niklu i kadmu w poziomie orno-próchnicznym gleb uprawnych położonych w sąsiedztwie drogi krajowej DK63, na odcinku Siedlce-Łuków.

Materiał i metody badań

Droga krajowa DK63 to szlak komunikacyjny o długości około 410 km, łącząca granicę państwa z Rosją koło miejscowości Rudziszki (województwo warmińsko-mazurskie) i granicę państwa z Białorusią koło miejscowości Sławatycze (województwo lubelskie). Droga biegnie przez miejscowości Węgorzewo, Giżycko, Orzysz, Pisz, Kolno, Łomża, Zambrów, Czyżew, Nur, Sokołów Podlaski, Siedlce, Łuków, Radzyń Podlaski, Wisznice.

Badaniami objęto grunty orne położone wzdłuż siedmiokilometrowego odcinka drogi krajowej DK63 Siedlce – Łuków, w granicach administracyjnych gminy Wiśniew, we wschodniej części województwa mazowieckiego, od skrzyżowania z obwodnicą miasta Siedlce (droga krajowa DK2) do granicy z województwem lubelskim. Badany teren to obszar typowo rolniczy, charakterystyczny dla mezoregionu geograficznego Wysoczyzna Siedlecka, którego gleby wytworzyły się z osadów lodowcowych i polodowcowych, związanych ze zlodowaceniem środkowopolskim stadiu Warty (spiaszczone gliny zwałowe i piaski wodnolodowcowe). Generalny średni dobowy ruch roczny pojazdów silnikowych (SDRR) w 2015 roku na tym odcinku wynosił 7746 pojazdów na dobę (w tym 6120 samochodów osobowych, 794 samochody ciężarowe, 770 samochodów dostawczych) i był o ponad 66% większy niż w roku 2005²⁴.

²¹ A. Ociepa-Kubicka, E. Ociepa, *Toksyczne oddziaływanie metali ciężkich na rośliny, zwierzęta i ludzi*, „Inżynieria i Ochrona Środowiska”, 15(2)/2012, s. 169-180.

²² R. Świetlik, M. Trojanowska, *Transport samochodowy jako źródło emisji metali ciężkich do środowiska*, „Logistyka”, 6/2014, s. 10176.

²³ E. Kotowska, *Regulacje prawne w zakresie wpływu transportu na środowisko*, „Logistyka” 4/2014, s. 2033-2038.

²⁴ Szczegółowe wyniki GPR 2015 dla dróg krajowych, www.siskom.waw.pl/nauka, s. 37-38.

Wytypowano cztery reprezentatywne punkty badawcze zlokalizowane w terenie płaskim i otwartym w obrębie miejscowości Mościbrody (280,3 km), Kolonia Wiśniew (282,2 km), Wiśniew (284,3 km) i Gostchorz (287,2 km). Materiał do badań pobrano na wiosnę 2016 roku z poziomu orno-próchnicznego (0-20 cm) jako próbki średnie (powstałe z wymieszania próbek pierwotnych) w odległości 10 m i 75 m od krawędzi jezdni. W powietrznie suchym materiale glebowym oznaczono skład granulometryczny – metodą areometryczną, odczyn (pH w roztworze KCl o stężeniu $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$) – metodą potencjometryczną, zawartość ogólną Zn, Pb, Cr, Ni, Cu, Cd – metodą atomowej spektroskopii emisyjnej z indukcyjnie wzbudzoną plazmą (ICP-AES), po uprzedniej homogenizacji gleby i mineralizacji mikrofalowej w mieszaninie stężonego kwasu chlorowodorowego i azotowego.

Dla uzyskanych wyników obliczono średnie arytmetyczne (AM), odchylenie standardowe (SD), współczynnik zmienności (RSD). Współzależność statystyczną pomiędzy zawartością metali ciężkich i wybranymi właściwościami badanych gleb oceniono za pomocą korelacji prostoliniowej, przy dwóch poziomach istotności $p < 0,05$ i $p < 0,01$. Obliczenia statystyczne wykonano przy wykorzystaniu programu Statistica 12.5.

Omówienie i dyskusja wyników

Badane gleby, położone w sąsiedztwie drogi krajowej DK63 w miejscowości Gostchorz, Wiśniew, Kolonia Wiśniew i Mościbrody, posiadały charakterystyczne fizyczne, fizykochemiczne i chemiczne właściwości dla utworów lodowcowych i polodowcowych, zmodyfikowanych przez procesy pedogenetyczne i gospodarczą działalność człowieka (rolnictwo, komunikacja). Analiza składu granulometrycznego wykazała, że poziomy orno-próchniczne badanych gleb były zbudowane z piasku gliniastego, o zróżnicowanej zawartości frakcji piasku (80-89), pyłu (8-16%) i łu (2-5%), większej w odległości 10 m od krawędzi jezdni (tab. 2). Na podstawie uziarnienia zaliczono je do gleb lekkich według agrotechnicznej kategorii ciężkości.

Znaczna zawartość frakcji piasku oraz mała frakcji pyłowej i łuwej wskazuje na niewielkie możliwości sorpcji (zatrzymywania) pierwiastków w glebie. Analiza chemiczna wykazała, że badane gleby posiadały odczyn bardzo kwaśny (Gostchorz), kwaśny (Wiśniew, Mościbrody) i lekko kwaśny (Kolonia Wiśniew). Wartość pH gleby była nieco większa w punktach usytuowanych bliżej drogi, co mogło wynikać z alkalizacji środowiska glebowego na skutek akumulacji większej ilości pyłów komunikacyjnych w tej strefie badanych gruntów ornich. Podobne zależności w glebach położonych w sąsiedztwie dróg podają Żurek i Prokopiuk²⁵.

²⁵ G. Żurek, K. Prokopiuk, *Zawartość ołowiu, kadmu i chromu w glebach rolniczych przyległych do autostrady A2*, Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 262/2011, s. 178-179.

Tab. 2. Skład granulometryczny i wartość pH badanych gleb położonych przy drodze krajowej DK63

Punkt poboru próbek gleby	Piasek 2-0,05	Pył 0,05-0,002	łł < 0,002	Gatunek* gleby	pH _{KCl}
	% ziaren glebowych o średnicy w mm*				
Odległość od krawędzi jezdni: 10 m					
Gostchorz	89,0	9,0	2,0	pg	4,3
Wiśniew	86,0	11,0	3,0	pg	5,2
Kolonia Wiśniew	80,0	16,0	4,0	pg	5,8
Mościbrody	84,0	12,0	4,0	pg	5,3
Średnia AM	84,8	12,0	3,2	-	5,2
SD	3,8	2,9	0,96	-	0,6
RSD [%]	4,5	24,5	29,9	-	12,1
Odległość od krawędzi jezdni: 75 m					
Gostchorz	89,0	8,0	3,0	pg	4,0
Wiśniew	86,0	11,0	3,0	pg	4,7
Kolonia Wiśniew	80,0	15,0	5,0	pg	5,6
Mościbrody	84,0	13,0	3,0	pg	5,0
Średnia AM	84,8	11,8	3,4	-	4,8
SD	3,8	3,0	0,9	-	0,7
RSD [%]	4,5	25,4	25,5	-	13,8

*Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, *Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych – PTG 2008*, Roczniki Gleboznawcze, 60(2)/2009, s. 5-16; pg – piasek gliniasty; SD – odchylenie standardowe, RSD – współczynnik zmienności

Źródło: badania własne

W badanych glebach stwierdzono zróżnicowaną zawartość metali ciężkich, których malejące średnie wartości ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) można przedstawić w następującym szeregu: Zn (26,7) > Pb (8,74) > Cr (8,17) > Ni (5,25) > Cu (5,68) > Cd (0,20) (tab. 3). Przeprowadzone badania wykazały, że ilość metali w próbkach gleby pobranych w odległości 10 m od krawędzi jezdni były większe o 61,3% (Cd), 37,0% (Pb), 30,4% (Zn), 15,7% (Cu), 9,6% (Ni) i 6,2% (Cr) niż ich stężenia w odległości 75 m.

Zmniejszanie się presji transportu drogowego na zawartość metali ciężkich w glebach położonych przy szlakach komunikacyjnych o różnym natężeniu ruchu wraz ze wzrostem odległości od drogi podkreślają w swoich badaniach Czarnowska i współautorzy²⁶, Czubaszek i Bartoszek²⁷ oraz Chrzan i Formicki²⁸.

²⁶ K. Czarnowska, M. Chlibiuk, T. Kozanecka, *Pierwiastki śladowe w glebach uprawnych przy drogach wokół Warszawy*, Roczniki Gleboznawcze, 53(3/4)/2002, s. 69-73.

²⁷ R. Czubaszek, K. Bartoszek, *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”, 2/2011, s. 30-33.

²⁸ A. Chrzan, G. Formicki, *Zawartość metali ciężkich w glebach w różnych porach roku*, „Proceedings of ECOpole”, 6(2)/2012, s. 703-704.

Najwięcej metali oznaczono w glebach o największej zawartości frakcji iłu i wartości pH (Kolonja Wiśniew), a najmniej – w glebach bardzo kwaśnych, o małej ilości frakcji iłu (Gostchorz). Potwierdza to bardzo ważny wpływ zróżnicowania właściwości gleby na obieg metali ciężkich w środowisku i ich dostępność dla organizmów żywych²⁹.

Tab. 3. Zawartość ogólna [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$] metali ciężkich w badanych glebach położonych przy drodze krajowej DK63

Punkt poboru próbek gleby	Zn	Pb	Cr	Ni	Cu	Cd
Odległość od krawędzi jezdni: 10 m						
Gostchorz	23,9	8,88	6,82	5,64	4,96	0,26
Wiśniew	30,3	10,1	8,48	6,05	5,85	0,22
Kolonja Wiśniew	37,8	11,5	9,65	7,76	6,98	0,27
Mościbrody	28,9	9,94	8,71	6,68	6,59	0,25
Średnia AM	30,2	10,1	8,42	6,53	6,10	0,25
SD	5,75	1,08	1,18	0,92	0,89	0,02
RSD [%]	19,0	10,6	14,0	14,1	14,6	8,6
Odległość od krawędzi jezdni: 75 m						
Gostchorz	16,1	6,21	6,33	4,93	4,11	0,14
Wiśniew	24,1	7,05	7,96	5,78	5,19	0,13
Kolonja Wiśniew	29,2	8,14	9,22	7,03	6,01	0,18
Mościbrody	23,3	8,11	8,19	6,11	5,77	0,17
Średnia AM	23,2	7,38	7,93	5,96	5,27	0,16
SD	5,39	0,93	1,20	0,87	0,85	0,02
RSD [%]	23,3	12,6	15,1	14,6	16,1	15,4

SD – odchylenie standardowe, RSD – współczynnik zmienności

Źródło: badania własne

Zawartość badanych pierwiastków na ogół wysoko istotnie i istotnie korelowała między sobą (z wyj. kadmu), wartością pH (z wyj. ołowiu i kadmu) i ilością piasku, pyłu i iłu (z wyj. ołowiu i kadmu) (tab. 4).

Wysoka wartość współczynnika korelacji pomiędzy ołowiem i kadmem ($r = 0,886$; $p < 0,01$) oraz brak istotnych zależności z odczynem i składem granulometrycznym gleby może świadczyć o antropogenicznym wzbogaceniu badanych gleb w te pierwiastki. Związki ołowiu i kadmu akumulują się głównie w powierzchniowych poziomach gleby, są trudno rozkładalne, mało podatne na wymywanie i bardzo długo utrzymują się w glebie, dlatego trwale ograniczają jej przydatność rolniczą i walory ekologiczne³⁰.

²⁹ A. Kabata-Pendias, H. Pendias, *Biogeochemia pierwiastków śladowych*, PWN, Warszawa 1999, s. 55-60.

³⁰ Tamże, s. 156-161 oraz 221-226.

Tab. 4. Wartość współczynników korelacji pomiędzy zawartością metali ciężkich i wybranymi właściwościami badanych gleb położonych przy drodze krajowej DK63

	Zn	Pb	Cr	Ni	Cu	Cd
Zn	1					
Pb	0,900**	1				
Cr	0,893**	0,782*	1			
Ni	0,919**	0,755*	0,940**	1		
Cu	0,914**	0,843**	0,935**	0,935**	1	
Cd	0,676	0,886**	0,366	0,551	0,612	1
pH _{KCl}	0,902**	0,701	0,993**	0,949**	0,943**	0,427
piasek	-0,764*	-0,502	-0,936**	-0,931**	-0,835**	-0,234
pył	0,800*	0,560	0,939**	0,942**	0,853**	0,286
ił	0,715*	0,236	0,755*	0,726*	0,709*	0,035

Istotne przy: *p < 0,05 i **p < 0,01

Źródło: badania własne

W badanych glebach położonych w pobliżu drogi krajowej DK63, w miejscowości Gostchorz, Wiśniew, Kolonia Wiśniew i Mościbrody, nie stwierdzono zanieczyszczenia metalami ciężkimi. Niezależnie od punktu poboru próbek gleby, ilość tych pierwiastków mieściła się w zakresie wartości tła geochemicznego dla piasków gliniastych (Cr 7,0-23,0 mg·kg⁻¹, Ni 3,8-11,0 mg·kg⁻¹, Zn 13,0-41,0 mg·kg⁻¹, Cu 2,6-11,0 mg·kg⁻¹, Pb 2,0-13,0 mg·kg⁻¹, Cd 0,03-0,29 mg·kg⁻¹)³¹, nie przekroczyła dopuszczalnych stężeń do użytkowania rolniczego zamieszczonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska (Cr 150,0 mg·kg⁻¹, Ni 100,0 mg·kg⁻¹, Zn 300,0 mg·kg⁻¹, Cu 150,0 mg·kg⁻¹, Pb 100,0 mg·kg⁻¹, Cd 4,0 mg·kg⁻¹)³² i była w przedziale zawartości naturalnych, opracowanych przez Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa (IUNG-PIB) w Puławach (Cr 20 mg·kg⁻¹, Ni 10,0 mg·kg⁻¹, Zn 50 mg·kg⁻¹, Cu 15,0 mg·kg⁻¹, Pb 30,0 mg·kg⁻¹, Cd 0,3 mg·kg⁻¹)³³. Brak ujemnego oddziaływania ruchu drogowego na zanieczyszczenie metalami ciężkimi wierzchniej warstwy gleb położonych wzdłuż znajdującej się w pobliżu obwodnicy miasta Siedlce (droga krajowa DK2) stwierdzili w swoich pracach Kalembasa i współautorzy³⁴ oraz Pakuła³⁵.

³¹ K. Czarnowska, *Ogólna zawartość metali ciężkich w skałach macierzystych jako tło geochemiczne gleb*, „Roczniki Gleboznawcze”, 47(1)/1996, s. 45-46.

³² Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 roku w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi, Dz.U. nr 165, poz. 1359.

³³ A. Karczeńska, *Ochrona gleb i rekultywacja terenów zdegradowanych*, Wrocław, 2012, s. 123.

³⁴ D. Kalembasa, K. Pakuła, M. Becher, D. Jaremko, *Frakcje metali ciężkich w glebach położonych wzdłuż obwodnicy miasta Siedlce*, „Roczniki Gleboznawcze”, 59(2)/2008, s. 86-87.

³⁵ K. Pakuła, *Frakcje ołowiu, chromu, cynku, miedzi i niklu w poziomach powierzchniowych gleb złokalizowanych obok obwodnicy Siedlec*, „Inżynieria Ekologiczna”, 27/2011, s. 155-156.

Wnioski

1. W badanych glebach stwierdzono zróżnicowaną zawartość metali ciężkich, istotnie zależną od odczynu i składu granulometrycznego gleby, która układała się w malejącym szeregu: $Zn > Pb > Cr > Ni > Cu > Cd$ i zmniejszała się w miarę oddalania od pasa drogowego.
2. Zawartość metali ciężkich nie przekraczała dopuszczalnych stężeń dla gleb uprawnych, mieściła się w przedziale zawartości naturalnych i tła geochemicznego dla utworów piaszczystych.
3. Monitoring zawartości metali ciężkich oraz fizycznych, fizykochemicznych i chemicznych właściwości gleby umożliwia obiektywną ocenę zasobności, żyzności, urodzajności i produktywności środowiska glebowego, wskazanie zagrożeń dla jakości produktów rolnych, wyznaczenie obszarów narażonych na potencjalne zanieczyszczenie oraz kształtowanie racjonalnego gospodarowanie zasobami glebowymi.
4. Promocja zrównoważonego transportu drogowego oraz skoordynowane działania na rzecz integracji polityki transportowej z polityką ekologiczną może doprowadzić do zmniejszenia jego negatywnego oddziaływania na jakość środowiska i zdrowie ludzi.

Bibliografia

- Chrzan A., Formicki G., *Zawartość metali ciężkich w glebach w różnych porach roku*, „Proceedings of ECOpole”, 6(2)/2012.
- Czarnowska K., *Ogólna zawartość metali ciężkich w skałach macierzystych jako tło geochemiczne gleb*, Roczn. Glebozn., 47(supl.)/1996.
- Czarnowska K., Chliubiuk M., Kozanecka T., *Pierwiastki śladowe w glebach uprawnych przy drogach wokół Warszawy*, Roczn. Glebozn., 53(3/4)/2002.
- 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”, 2/2011.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., *Biogeochemia pierwiastków śladowych*, PWN, Warszawa 1999.
- Kalambasa D., Pakuła K., Becher M., Jaremko D., *Fracje metali ciężkich w glebach położonych wzdłuż obwodnicy miasta Siedlce*, Roczniki Gleboznawcze, 59(2)/2008.
- Karczewska A., *Ochrona gleb i rekultywacja terenów zdegradowanych*, Wrocław, 2012.
- Kotowska E., *Regulacje prawne w zakresie wpływu transportu na środowisko*, „Logistyka” 4/2014.
- Mocek A., Mocek-Plóćiniak A., *Ksenobiotyki w środowisku glebowym Polski*, „Nauka. Przyroda. Technologie”, 4(6)/2010.
- Ochrona środowiska, Rocznik statystyczny GUS, Warszawa 2015.
- Ociepa-Kubicka A., Ociepa E., *Toksyczne oddziaływanie metali ciężkich na rośliny, zwierzęta i ludzi*, „Inżynieria i Ochrona Środowiska”, 15(2)/2012.

- Pakuła K., *Fracje ołowiu, chromu, cynku, miedzi i niklu w poziomach powierzchniowych gleb zlokalizowanych obok obwodnicy Siedlec*, „Inżynieria Ekologiczna”, 27/2011.
- Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, *Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych – PTG 2008*, Roczniki Gleboznawcze, 60(2)/2009.
- Pulles T., van der Gon H.D., Appelman W., Verheul M., *Emission factors for heavy metals from diesel and petrol used in European vehicles*, “Atmospheric Environment”, 61/2012.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 roku w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. Dz.U. nr 165, poz. 1359.
- Sławiński J., Gołąbek E., Senderak G., *Wpływ zanieczyszczeń komunikacyjnych na glebę i uprawną roślinność przydrożną*, „Inżynieria Ekologiczna”, 40/2014.
- Szczegółowe wyniki GPR 2015 dla dróg krajowych, www.siskom.waw.pl/nauka.
- Świetlik R., Trojanowska M., *Transport samochodowy jako źródło emisji metali ciężkich do środowiska*, „Logistyka”, 6/2014.
- Transport drogowy w Polsce w latach 2012 i 2013, GUS, Warszawa 2015.
- Zielaskiewicz H., *Transport jako ogniwo łańcucha logistycznego i jego oddziaływanie na środowisko naturalne*, „Logistyka”, 4/2009.
- Żurek G., Prokopiuk K., *Zawartość ołowiu, kadmu i chromu w glebach rolniczych przyległych do autostrady A2*, Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 262/2011.

