

**Paweł Jezierski*, Dorota Kawałko*, Jarosław Kaszubkiewicz*,
Daniel Ochman****

PORÓWNANIE ZAWARTOŚCI RTĘCI W GLEBACH UŻYTKÓW ROLNYCH POWIATU JELENIOGÓRSKIEGO I ZĄBKOWICKIEGO

COMPARISON OF MERCURY CONCENTRATION IN THE ARABLE LANDS OF JELENIOGÓRSKI AND ZĄBKOWICKI DISTRICT

Słowa kluczowe: rtęć, gleby użytkowane rolniczo, powiat jeleniogórski, powiat ząbkowicki.
Key Words: mercury, arable lands, jeleniogórski district, ząbkowicki district.

The objective of this publication is to compare the mercury content in soils of arable land of the Ząbkowicki and Jeleniogórski districts. In this work the results of studies on the total mercury content in the soils of the Ząbkowicki and Jeleniogórski districts obtained under the county programs, evaluating the current level of selected pollutants in soils of arable land are used. According to the studies, all tested samples of agricultural land in the Ząbkowicki district have typical values of mercury concentration in surface soil horizons for loamy and silty soils and the average mercury content of all samples tested was $0.064 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. In samples collected from agricultural land of the Jeleniogórski district, average mercury content was almost twice bigger and amounted to $0.10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Total mercury content in soils used for agriculture in the investigated district areas, with the exception of two samples, meets the quality standards specified in regulation for soil group B.

1. WPROWADZENIE

Obecność rtęci w środowisku glebowym wynika zarówno z jej naturalnego występowania w litosferze i atmosferze, jak również jest konsekwencją działalności antropogenicznej [Kabata-Pendias, Pendias 1999, Wojnar, Wisz 2006].

* *Dr inż. Paweł Jezierski, dr inż. Dorota Kawałko, dr hab. Jarosław Kaszubkiewicz – Instytut Nauk o Glebie i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu; ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław; tel.: 71 320 56 27*

** *Dr inż. Daniel Ochman – Wydział Administracji, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. Witelona w Legnicy; ul. Sejmowa 5a, 59-220 Legnica; tel.: 71 320 56 37; e-mail: pawel.jezierski@up.wroc.pl*

Jest to pierwiastek silnie rozproszony w skałach, występujący w największych ilościach w utworach o zwiększonych właściwościach sorpcyjnych, tzn. w łupkach węglanowych i bitumicznych oraz w glebach gliniastych i torfowych. Naturalna zawartość rtęci w glebach zawiera się w granicach 0,05–0,3 mg·kg⁻¹ [Kabata-Pendias, Pendias 1999].

Pierwiastek ten w głównej mierze wiązany jest w glebie z opadów atmosferycznych [Engle i in. 2005, Dreher, Follmer 2004]. Zwiększone zawartości rtęci w glebach polskich rejestruje się lokalnie tam, gdzie znajdują się liczne źródła jej emisji, takie jak: zakłady wydobywczo-przerobcze węgla i rud metali, instalacje spalania węgla, rafinerie oraz inne zakłady przemysłowe wykorzystujące związki rtęci. Całkowita zawartość rtęci w takich rejonach często przekracza zakres naturalnej zawartości tego pierwiastka, a zmienność przestrzenną rozmieszczenia tego metalu charakteryzuje duża nierównomierność [Malczyk, Długosz 2009].

Dodatkowym źródłem rtęci w agroekosystemach jest działalność rolnicza. Mimo, iż obecnie nie używa się już herbicydów, insektycydów czy też pestycydów zawierających ten pierwiastek, to stosowanie nawozów organicznych, mineralnych lub osadów ściekowych może przyczyniać się to zanieczyszczania gleb uprawnych rtęcią [Boluda i wsp. 1993, Gimeno-Garcia i wsp. 1995]. Jak podaje Filipek [2003], zagrożenie to występuje przy wykorzystaniu odpadów przemysłowych oraz nawozów fosforowych produkowanych z fosforytów pochodzących z niektórych złóż. Zawartość rtęci w nawozach fosforowych wynosi 0,01–1,2 mg·kg⁻¹ [Kabata-Pendias, Pendias 1999].

Rtęć jest pierwiastkiem bardzo szkodliwym, jednak jej toksyczność zależy od formy występowania w środowisku. Może występować w postaci płynnego metalu, rtęci związanej w naturalnych minerałach, lotnej rtęci w atmosferze (HgO), a także w postaci jonów w środowisku wodnym i roztworze glebowym [Kabata-Pendias 1992].

Konsekwencją przemian form rtęci jest jej sorpcja, ale również parowanie i wylugowywanie [Boszke i in. 2003]. Rtęć wprowadzona do gleby stanowi zagrożenie w momencie, gdy przez roztwór glebowy bądź też w postaci par w powietrzu glebowym ulega włączeniu w cykle biologiczne [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Właściwości kumulacyjne rtęci powodują, że jej nagromadzenie w glebach wzrasta z czasem, ponieważ procesy ługowania rtęci z kompleksów glebowych uwalniają do roztworów nie więcej niż 10–20% zabsorbowanej rtęci [Klojzy-Karczmarczyk, Mazurek 2007, Witczak, Adamczyk 1995]. Proces ten może prowadzić do zanieczyszczenia gleb, a w konsekwencji może mieć negatywny wpływ na jakość produktów rolnych [Alegria i wsp. 1991].

Celem pracy było porównanie całkowitej zawartości rtęci w poziomach akumulacyjnych gleb uprawnych powiatu ząbkowickiego i jeleniogórskiego, położonych na terenie województwa dolnośląskiego.

Przedmiotem badań było także poznanie zróżnicowania przestrzennego występowania tego pierwiastka na badanych obszarach i opracowanie map interpolacyjnych (z wykorzystaniem metody krigingu) obrazujących zmienności zawartości rtęci.

2. OBIEKTY I METODYKA BADAŃ

Do badań porównawczych wybrano dwa powiaty z rejonu województwa dolnośląskiego, położone na obszarze Sudetów i Przedgórza Sudeckiego, zróżnicowane ze względu na rzeźbę terenu oraz strukturę użytkowania gruntów. Pierwszy obiekt badawczy stanowiły gleby powiatu jeleniogórskiego, w Sudetach Zachodnich – zajmując Kotlinę Jeleniogórską oraz otaczające ją góry. Średni udział gruntów rolnych na terenie tego powiatu w stosunku do całkowitej powierzchni powiatu kształtuje się na poziomie 35%. Z kolei, za drugi obiekt przyjęto gleby powiatu ząbkowickiego, który położony jest w podrejonie jeleniogórsko-wałbrzyskim i rozciąga się na terenie Przedgórza Sudeckiego, a średni udział użytków rolnych w stosunku do jego powierzchni ogółem stanowi 70,6% [Stuczyński i wsp. 2007].

W pracy wykorzystano wyniki badań nad całkowitą zawartością rtęci w glebach wymienionych powiatów, uzyskane w ramach powiatowych programów oceniających aktualny poziom wybranych zanieczyszczeń w glebach użytków rolnych.

Przy wyborze punktów badawczych kierowano się lokalizacją potencjalnych źródeł zanieczyszczeń, dążeniem do reprezentatywnego wyboru próbek pod względem występujących na terenie powiatu jednostek systematycznych oraz gatunków gleb. Łącznie zebrano 94 próbki glebowe z poziomu akumulacyjnego gleb w powiecie ząbkowickim i 51 próbek glebowych w powiecie jeleniogórskim. Próbkę do badań pobierano z gleb użytkowanych jako grunty orne.

Materiał do badań pobierano z głębokości 0–30 cm z kilku miejsc bezpośrednio sąsiadujących z punktem badawczym (tj. położonych w odległości nieprzekraczającej 5 m).

Do badań laboratoryjnych wykorzystano materiał glebowy wysuszony w temperaturze pokojowej, a następnie przesiany przez sita o średnicy oczek 2 mm w celu określenia udziału części szkieletowych w składzie granulometrycznym. Wydzielone części ziemiste <2 mm poddano dalszej analizie. Badania właściwości gleb przeprowadzono z zastosowaniem następujących metod:

- 1) skład granulometryczny – metodą areometryczno-sitową zgodną z normami PN-R-04032 i PN-R-04033 (1998);
- 2) odczyn gleby: pH w 1M KCl – metodą potencjometryczną, według PN – ISO 10390:1997;
- 3) zawartość formy całkowitej rtęci techniką AAS z amalgamacją zimnych par rtęci z użyciem analizatora rtęci MA 2000.

Dla oceny poprawności oznaczeń stosowano certyfikowane materiały referencyjne i wzorce wewnętrzne. Mapy powierzchniowej zmienności całkowitej zawartości rtęci na badanych obszarach opracowano na podstawie danych wejściowych interpolowanych metodą krigingu, wykorzystując do tego aplikację Geostatistical Analyst w ramach oprogramowania Arc Editor 10.0 firmy ESRI.

3. WYNIKI I DYSKUSJA

Analizując uziarnienie próbek glebowych zebranych z użytków rolnych powiatu ząbkowickiego, wykazano, iż dominują tam gliny pylaste oraz utwory pyłowe. Występowały również gliny i gliny pylaste, a ponad połowa utworów cechowała się średnią szkieletowością.

Badane próbki, pobrane z poziomów akumulacyjnych gleb użytkowanych rolniczo na terenie powiatu jeleniogórskiego, należały do różnych grup granulometrycznych, od żwirów gliniastych do glin ciężkich pylastych. Najczęściej jednak pojawiały się utwory lekkie i średnie pylaste oraz pyły zwykłe i pyły ilaste. Większość utworów zaliczono do średnio i silnie szkieletowych.

Zestawienie median zawartości poszczególnych frakcji granulometrycznych, przedstawionych w tabeli 1, dość wyraźnie obrazuje zróżnicowanie w uziarnieniu próbek glebowych pobranych na terenach opisywanych powiatów. Badane gleby powiatu jeleniogórskiego, zaliczanego do regionu sudeckiego, odznaczały się wyższą szkieletowością oraz wyższą zawartością frakcji piaszczystych i jednocześnie mniejszym udziałem frakcji pyłowych i ilastych. Analizowane gleby powiatu ząbkowickiego, położonego na obszarze przedgórze sudeckiego, wykazywały mniejszą szkieletowość i niższą zawartość frakcji piaszczystych, i tym samym zawierały więcej frakcji pyłowych oraz ilastych.

Wartości pH zmierzone w próbkach glebowych pobranych z obszaru powiatu ząbkowickiego mieściły się w zakresie 3,3–6,8. Pod względem klasyfikacji odczynu w 16 badanych punktach stwierdzono odczyn bardzo kwaśny, w 43 punktach – odczyn kwaśny, w 31 punktach – odczyn lekko kwaśny, w 3 punktach – odczyn obojętny i w 1 punkcie – zasadowy. Mediana wartości pH wynosiła 5,3 (tab. 1).

Tabela 1. Uziarnienie i pH badanych próbek glebowych

Table 1. Texture and pH of investigated soil samples

Powiat	Mediana zawartości frakcji, %				pH 1mol KCl	
	>2,0	2,0 – 0,05	0,05 – 0,002	< 0,002	zakres	mediana
	średnica ziaren, mm					
Jeleniogórski	9,3	50,5	46,1	3,8	3,3-6,8	4,3
Ząbkowicki	4,2	38,8	50,6	9,6	3,8 - 7,5	5,3

Niższe wartości pH oznaczono w materiale glebowym zebrany na terenie powiatu jeleniogórskiego. Mieściły on się w zakresie 3,3–6,8. Pod względem klasyfikacji odczynu w 32 badanych punktach stwierdzono odczyn bardzo kwaśny, w 12 punktach – odczyn kwaśny, w 6 punktach – odczyn lekko kwaśny, w 1 punkcie – odczyn obojętny. Mediana wartości pH wynosiła 4,3 (tab. 1).

Układ pH w badanych glebach odzwierciedla w znacznej mierze zróżnicowanie skał macierzystych, z których wytworzyły się gleby, jak i zróżnicowanie w intensywności użytkowania i nawożenia.

Zawartość rtęci dla wszystkich badanych prób z gruntów rolnych powiatu ząbkowickiego mieściła się w granicach od 0,025 do 0,298 mg·kg⁻¹ (tab. 2, rys. 4). Z kolei, zawartość rtęci dla wszystkich badanych prób z gruntów rolnych powiatu jeleniogórskiego zawarta była w znacznie szerszym przedziale wartości, kształtujących się w zakresie od 0,063 do 2,59 mg·kg⁻¹ (tab. 2, rys. 3). Obliczona mediana dla koncentracji rtęci w glebach powiatu ząbkowickiego – 0,054 mg·kg⁻¹ była niemal dwukrotnie niższa od mediany zawartości rtęci w glebach powiatu jeleniogórskiego – 0,094 mg·kg⁻¹. Jednakże wyższą zmiennością zawartości rtęci w glebach cechował się powiat ząbkowicki, dla którego współczynnik zmienności stanowił 65,4%, a w powiecie jeleniogórskim wskaźnik ten był wyraźnie niższy i wynosił 42,1% (tab. 2).

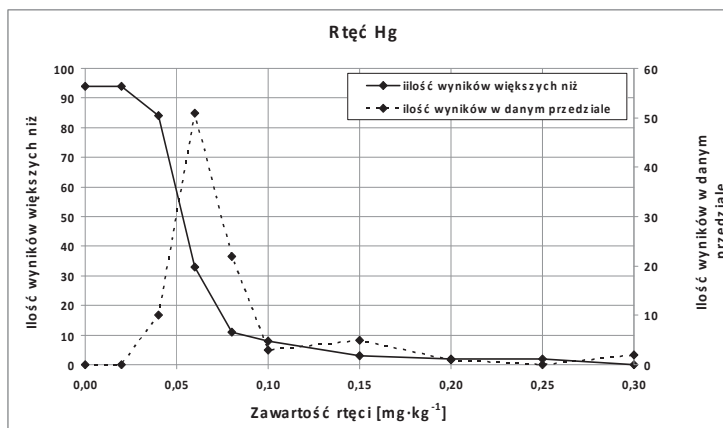
Tabela 2. Statystyczna charakterystyka zawartości rtęci w badanych próbkach glebowych

Table 2. The statistical characteristics of the mercury content in the investigated soils samples

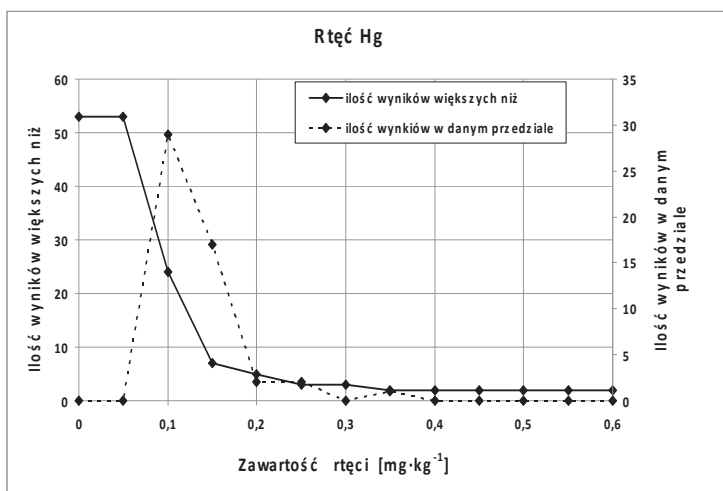
Powiat	Liczba próbek	Średnia \bar{X}	Mediana M_{med}	Mini.	Max.	Współczynnik zmienności V
		mg·kg ⁻¹				%
Ząbkowicki	94	0,064	0,054	0,025	0,298	65,4
Jeleniogórski	51	0,106	0,094	0,063	0,303	42,1

Na terenie powiatu ząbkowickiego, wśród całości przebadanych próbek, nie stwierdzono przekroczeń dla wartości dopuszczalnej, określonej w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby [Rozporządzenie... 2002], wynoszącej dla gruntów grupy B – 2 mg·kg⁻¹, a typowe zawartości rtęci dla przebadanych punktów mieściły się w przedziale 0,02–0,50 mg·kg⁻¹, charakterystycznym dla koncentracji rtęci w poziomach powierzchniowych dla gleb pyłowych i gliniastych z niezanieczyszczonych rejonów Polski [Kabata Pendias, Pendias 1999]. Analogicznie przedstawiały się zawartości rtęci w glebach powiatu jeleniogórskiego, za wyjątkiem dwóch punktów, spośród 51 przebadanych. W rejonie Miedzianki i Mysłakowic odnotowano przekroczenia wartości standardu dla gruntów grupy B. Rozkład zawartości rtęci w charakteryzowanych glebach powiatu ząbkowickiego przedstawiono na rysunku 1, a dla powiatu jeleniogórskiego – na rysunku 2 (z pominięciem dwóch wyników odstających).

Dla badanych obiektów wykonano mapy rastrowe zmienności całkowitej zawartości rtęci w poziomach powierzchniowych gleb (rys. 3 i rys. 4). Mapy stworzono na podstawie danych przetworzonych geostatystycznie metodą krigingu zwykłego. W tym celu posłużono się modelami teoretycznymi w postaci semiwariogramów teoretycznych aproksymowanych, opierając się na semiwariogramach empirycznych, za pomocą modeli sferycznych.



Rys. 1. Rozkład zawartości rtęci dla próbek pobranych na gruntach rolnych powiatu ząbkowickiego
Fig. 1. Distribution of mercury content of the samples taken at the Ząbkowicki district agricultural land



Rys. 2. Rozkład zawartości rtęci dla próbek pobranych na gruntach rolnych powiatu jeleniogórskiego
Fig. 2. Distribution of mercury content of the samples taken at the Jeleniogórski district agricultural land

Porównując parametry uzyskanych semiwariogramów teoretycznych, można zauważyć, iż wyższym zróżnicowaniem w skali pojedynczej próbki – tzw. efekt samorodków oraz wyższą wartością progową – „sill” – wykazywały się gleby powiatu jeleniogórskiego, i jednocześnie cechowały się one krótszym zasięgiem oddziaływania semiwariogramu (tab. 3). W powiecie jeleniogórskim jest to niewątpliwie efektem wielu nakładających się wzajemnie czynników. Gleby powiatu jeleniogórskiego w porównaniu z glebami powiatu ząbkowickiego

położone są na obszarach znacznie bardziej urzeźbionych oraz są wytworzone z bardziej zróżnicowanych skał macierzystych.

Tabela 3. Podstawowe parametry dla uzyskanych semiwariogramów teoretycznych

Table 3. The basic parameters for theoretical obtained semivariograms

Powiat	Range ω	Nugget C_0	Sill C
Ząbkowicki	3624,23	0,143	0,24
Jeleniogórski	2260,11	0,65	0,79

Z opracowanych map wynika, że na terenie powiatu jeleniogórskiego całkowite zawartości rtęci są wyższe w jego części południowo-wschodniej i zmniejszają się sukcesywnie w kierunku północno-zachodnim (rys. 3).

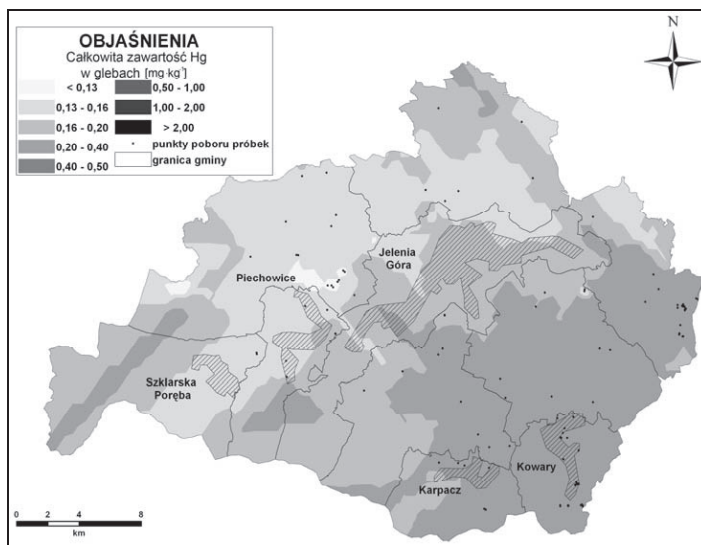
Odmienne rozkład całkowitych zawartości rtęci wykazują gleby powiatu ząbkowickiego. Najwyższe koncentracje tego pierwiastka występują w rejonie północno-zachodnim oraz zachodnim, najniższe zaś pojawiają się w części wschodniej (rys. 4).

4. DYSKUSJA

Całkowite zawartości rtęci w próbkach glebowych pobranych z terenów powiatu jeleniogórskiego i ząbkowickiego są wyższe od zawartości tego pierwiastka opisywanych przez Dąbkowska-Naskręt [Dąbkowska-Naskręt i in. 2008] jako naturalne dla gleb obszaru Pomorza i Kujaw.

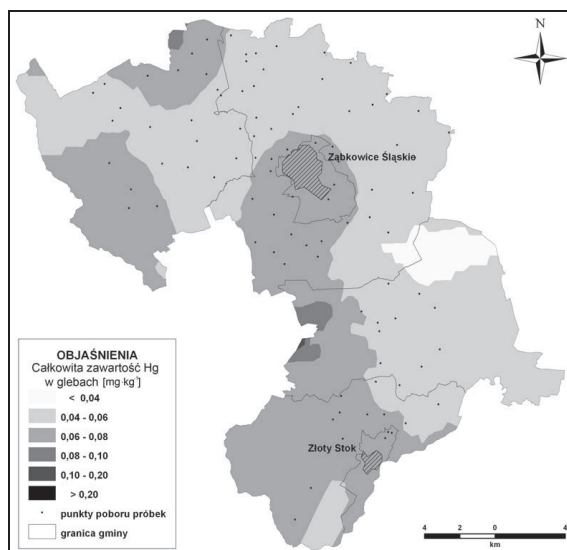
Niemniej jednak, z wyjątkiem dwóch próbek pobranych z użytków rolnych powiatu jeleniogórskiego, nie odnotowano przekroczeń dla wartości dopuszczalnej dla gleb grupy B, określonej w rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby [Rozporządzenie... 2002].

Wyraźnie wyższa średnia koncentracja rtęci w glebach powiatu jeleniogórskiego w porównaniu z glebami powiatu ząbkowickiego nie wynika z ich uziarnienia czy też odczynu. Gleby analizowanych powiatów (pomimo wykazanych pomiędzy nimi różnic) w większości zaliczają się do utworów gliniastych lub pylastych, a jak podaje wielu autorów [Dąbkowska-Naskręt, Malczyk, Kobierski 1999, Gworek, Rateńska 2009, Malczyk 2000] na ogół obserwuje się zwiększone ilości tego pierwiastka w glinach i ilach. Należałoby więc spodziewać się zbliżonych koncentracji rtęci w glebach obydwu powiatów. Niższa zaś średnia wartość pH oznaczona dla próbek pobranych z rejonu powiatu jeleniogórskiego powinna decydować o intensywniejszym procesie mobilizacji rtęci [Kabata-Pendias, Pendias 1999, Kowalik 2001], co w efekcie powinno skutkować zmniejszaniem się zawartości rtęci w tych glebach. W opisywanych powiatach jako źródło, które mogłoby tłumaczyć taki stan rzeczy należy raczej wykluczyć rolnictwo, gdyż w powiecie jeleniogórskim w porównaniu z powiatem ząbkowickim jest prawie dwukrotnie mniejsza powierzchnia użytkowana rolniczo [Stuczyński i wsp. 2007].



Rys. 3. Zróżnicowanie przestrzenne całkowitej zawartości rtęci w glebach użytków rolnych powiatu jeleniogórskiego

Fig. 3. Spatial differentiation of total mercury content in the investigated soil of arable land of the jeleniogórski district



Rys. 4. Zróżnicowanie przestrzenne całkowitej zawartości rtęci w glebach użytków rolnych powiatu ząbkowickiego

Fig. 4. Spatial differentiation of total mercury content in the investigated soil of arable land of the ząbkowicki district

Zdaniem autorów za wyższą średnią zawartość rtęci w glebach powiatu jeleniogórskiego w głównej mierze odpowiada zwiększona, w porównaniu z powiatem ząbkowickim, depozycja tego metalu z atmosfery zarówno współczesna, jak i ta, która występowała w przeszłości. Trzeba pamiętać, iż rtęć ma długi okres trwania w powietrzu (360 lat) i należy do pierwiastków śladowych o największym współczynniku kumulacji [Dąbkowska-Naskręt i in. 2008].

Jednym z podstawowych antropogenicznych źródeł zanieczyszczenia gleb rtęcią na terenie powiatu jeleniogórskiego może być spalanie węgla, gdyż, jak opisuje wielu autorów [Kiepas-Kokot i inni 2003, Dreher, Follmer 2004], spory wkład do puli zanieczyszczeń tym pierwiastkiem wnosi ciepłownictwo komunalne i indywidualne. Nie bez znaczenia są też obserwowane podwyższone koncentracje rtęci na terenach dawnego górnictwa, okolice Miedzianki i Kowar, oraz w rejonach lokalizacji zakładów przemysłu papierniczego i chemicznego związanego z produkcją farb ochronnych lub niektórych tworzyw sztucznych.

Pod uwagę należy wziąć również ładunek rtęci docierający z masami powietrza z różnych źródeł, zatrzymywany przez barierę orograficzną, jaką stanowią Karkonosze pełniące ekranizującą rolę w pochłanianiu zanieczyszczeń, o czym pisze Szopka za Niemyską-Łukaszką [Szopka i in. 2010]. Tego rodzaju zjawisko potwierdza w swoich badaniach Zechmeister [1995], dowodząc, iż większe opady w wyższych partiach górskich dostarczają większych ilości zanieczyszczeń metalicznych, w tym rtęci [Evans, Hutchinson 1996].

5. WNIOSKI

1. Całkowita zawartość rtęci w glebach użytkowanych rolniczo na terenach badanych powiatów, z wyjątkiem dwóch próbek, spełnia standardy jakości określone w rozporządzeniu dla gleb grupy B.
2. Stwierdzone koncentracje rtęci dla analizowanych powiatów mieściły się w przedziale oznaczonym za charakterystyczny dla gleb pyłowych i gliniastych Polski, ale były wyższe w porównaniu z zawartościami rtęci przyjętymi dla terenów Pomorza i Kujaw.
3. Oznaczone średnie zawartości rtęci dla gleb powiatu jeleniogórskiego w porównaniu z glebami powiatu ząbkowickiego były wyraźnie wyższe.
4. Analiza geostatystyczna wykazała wyższą zmienność w przestrzennym rozmieszczeniu rtęci w glebach powiatu jeleniogórskiego.

PIŚMIENICTWO I AKTY PRAWNE

ALEGRIA, A., BARBERA, R., BOLUDA, R., ERRECALDE, F., FARRE, R., AND LAGARDA, M.J. 1991. Environmental cadmium, lead and nickel contamination: possible relationship between soil and vegetable content. *Fresenius J. Anal. Chem.* 339, 654–657.

- BOLUDA, R., ANDREU, V., GILABERT, M.A., SOBRINO, P. 1993. Relation between reflectance of rice crop and indices of pollution by heavy metals in soils of Albufera Natural Park (Valencia, Spain). *Soil Techno.* 6: 351–363.
- BOSZKE L., KOWALSKI A., GŁOSIŃSKA G., SZAREK R., SIEPAK J. 2003. Environmental factors affecting speciation of mercury in the bottom sediments; an overview. *Polish Journal Environmental Studies* 12(1): 5–13.
- DĄBKOWSKA-NASKRĘT H., MALCZYK P., KOBIERSKI M. 1999. Profile differentiation of total mercury content in selected arable and forest soils in Poland. *ATR Bydgoszcz. Zesz. Nauk.* 220, *Rolnictwo* 44: 47–51.
- DREHER G.B., FOLLMER L.R. 2004. Mercury content of Illinois soils. *Water, Air, and Soil Pollution* 156: 299–315.
- DĄBKOWSKA-NASKRĘT H., BARTKOWIAK A., RÓŻAŃSKI S. 2008. Zawartość rtęci w glebach intensywnie użytkowanych rolniczo obszaru Pomorza i Kujaw. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, IOŚ, Warszawa*, 35/36: 153–156.
- ENGLE M.A., GUSTIN M.S., LINDBERG A.W., AND ARIYA P.A. 2005. The influence of ozone on atmospheric emissions of gaseous elemental mercury and relative gaseous mercury from substrates. *Atmos. Environ.* 39: 7506–7517.
- EVANS C.A., HUTCHINSON T.C., 1996. Mercury accumulation in transplanted moss and lichens at high elevation sites in Quebec. *Water Air Soil Pollution* 90(33): 475–488.
- FILIPEK T. 2003. Toksyczne pierwiastki (Cd, Pb, Hg, As) w glebach i roślinach w odniesieniu do dopuszczalnych ich zawartości w nawozach i środkach do odkwaszania. *Chemik* 11: 334–352.
- GIMENO-GARCIA E., ANDREU V., AND BOLUDA R. 1995. Distribution of heavy metals in rice farming soils. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 29: 476–483.
- GWOREK B., RATEŃSKA J. 2009. Migracja rtęci w układzie powietrze – gleba – roślina. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych IOŚ, Warszawa*, 41: 614–623.
- KABATA-PENDIAS A. 1992. Biogeochemia rtęci w różnych środowiskach. *Rtęć w środowisku – problemy ekologiczne i metodyczne. Ossolineum*, 7–18.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1999. *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. Wydawnictwo PWN, Warszawa.
- KIEPAS-KOKOT A., KUCHARSKA T., ZABŁOCKI Z. 2003. Zmiany akumulacji rtęci w szpilkach sosny i mchach na tle ilości spalanego węgla w elektrowni Dolna Odra. *Obieg pierwiastków w przyrodzie, t. II, IOŚ, Warszawa*: 290–295.
- KLOJZY-KARCZMARCZYK B., MAZUREK J. 2007. Rtęć w osadach dennych rzeki w strefie zasilania poziomu triasowego. *XIII Sympozjum „Współczesne problemy hydrogeologii”*, Kraków-Krynica, t. XIII cz. 3: 563–571.
- KOWALIK P. 2001. *Ochrona środowiska glebowego*. PWN, Warszawa.
- MALCZYK P. 2000. Forms of mercury in soils of selected forest ecosystems of Poland. *Mengen und Spurenelemente* 20: 529–535.

MALCZYK P., DŁUGOSZ J. 2009. Zmienność przestrzenna całkowitej zawartości rtęci w poziomie powierzchniowym gleb wybranego obszaru Równiny Sępolskiej. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 40: 39–48.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. z dnia 9 września 2002 r. (Dz.U. z 2002 r. Nr 165 poz. 1359).

SZOPKA K., KARCZEWSKA A., KABAŁA C., JEZIEŃSKI P., BOGACZ A. 2010. Zawartość rtęci w poziomach powierzchniowych gleb leśnych Karkonoskiego Parku Narodowego w rejonie Szklarskiej Poręby. 2010, *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, IOŚ, Warszawa, 42: 167–175.

STUCZYŃSKI T., BUDZYŃSKA K., GAWRYŚIAK L., KORZENIOWSKA-PUCUŁEK R., KOZA P., KOZYRA J., ŁOPATKA A., PUDEŁKO R., SIEBIELEC G. 2007. Stan i zmiany właściwości gleb użytkowanych rolniczo w województwie dolnośląskim w latach 2005–2007. Urząd Marszałkowski Województwa Dolnośląskiego, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach Instytut Badawczy, ss. 223.

WOJNAR K., WISZ J. 2006. Rtęć w polskiej energetyce. „Energetyka” – kwiecień 2006. www.epa.gov.

WITCZAK S., ADAMCZYK A.F. 1995. Katalog wybranych właściwości fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczenia wód podziemnych i metod ich oznaczania. Biblioteka Monitoringu Środowiska PIOŚ, Warszawa.

ZECHMEISTER H. G. 1995. Correlation between altitude and heavy metal deposition in the Alps. *Environmental Pollution* 89(1): 73–80.