

Piotr Malczyk*, Jacek Długosz*

**ZMIENNOŚĆ PRZESTRZENNA CAŁKOWITEJ ZAWARTOŚCI RTĘCI
W POZIOMIE POWIERZCHNIOWYM GLEB WYBRANEGO OBSZARU
RÓWNI NY SĘPOPOLSKIEJ**

**SPATIAL VARIABILITY OF TOTAL MERCURY CONTENT IN THE
SURFACE HORIZON OF A SEPOPOLSKA PLAIN AREA**

Key words: mercury, spatial variability, surface horizon, arable soils.

Słowa kluczowe: rtęć, zmienność przestrzenna, poziom powierzchniowy, gleby uprawne.

The aim of this paper was to present spatial variability of total mercury content in surface horizon of a Sepopolska Plain area. The investigated area was a 50 ha productive field located near Budniki village (North-East Poland). Soil samples were collected from 50 points located with the use of the GPS system. The total content of mercury was determined in solid samples with the AMA-254 spectrometer. The precision of the method was confirmed with a reference material TILL-3 for Hg determination.

Physicochemical properties of soils were determined by commonly used in soil science procedures. Relationships among total mercury content and pH in H₂O, pH in 1 M KCl, hydrolytic acidity, organic carbon, fraction <0,02 mm and <0,002 mm were evaluated by statistical calculations using Statistica 8 PL computer programme. The obtained results were compiled with geostatistical methods using the Surfer 8.0 computer program. The data obtained from written sources were transformed by the kriging method.

The results showed a small variability of total mercury content (0,0211–0,0767 mg·kg⁻¹) in the analysed surface horizon. Surface Hg distribution map prepared with the use of kriging of the investigated area showed the occurrence of the lowest amounts mercury in the surface horizon of the northern and western part of the analysed area. The highest content of

* Dr inż. Piotr Malczyk, dr hab. inż. prof. nadzw. UTP Jacek Długosz – Katedra Gleboznawstwa i Ochrony Gleb, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. J.J. Śniadeckich w Bydgoszczy; ul. Bernardyńska 6; 85-225 Bydgoszcz; tel.: 52 347 95 28; e-mail: malczyk@utp.edu.pl

this component was characteristic for the surface horizon of the south and central part investigated area. A significant positive correlation was found between the total mercury content and fractions <0,02 mm, <0,002 mm content and organic carbon content.

1. WPROWADZENIE

Występowanie rtęci (Hg) w środowisku glebowym, a zwłaszcza w powierzchniowych poziomach próchnicznych, związane jest zarówno z naturalną obecnością tego pierwiastka w litosferze i atmosferze, jak i z działalnością antropogeniczną. Zwiększone zawartości rtęci w glebach polskich rejestruje się lokalnie tam, gdzie znajdują liczne źródła emisji rtęci, 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: 0,05–0,3 mg·kg⁻¹, a zmienność przestrzenną rozmieszczenia rtęci charakteryzuje duża nierównomierność. Innym z potencjalnych źródeł przedostawania się tego metalu do środowiska może być również chemizacja rolnictwa, wskutek stosowania nawozów organicznych i mineralnych, herbicydów, insektycydów oraz osadów ściekowych [Fitzgerald, Lamborg 2005, Sloan i in. 2001].

Związki rtęci w środowisku przyrodniczym mogą występować w formach łatwo lotnych: Hg⁰, (CH₃)₂Hg, łatwo rozpuszczalnych w wodzie: Hg²⁺, HgCl₂, HgOH₃ i o formie trudno rozpuszczalnych kompleksów organicznych: CH₃Hg⁺, CH₃HgS⁻, CH₃HgCl, Hg(CN)₂, CH₃ – różnych grup alkilowych [Gworek 1998, Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Rtęć na drugim stopniu utlenienia (+2) tworzy bardzo toksyczne dla środowiska glebowego sole zawierające jon rtęciowy w postaci Hg²⁺, np. sublimat HgCl₂, które łatwo ulegają redukcji do +1 stopnia utlenienia, a nawet do wolnej rtęci [Dąbkowska-Naskręt, Malczyk, Kobierski 1999, Sienko, Plane 1999].

Zawartość rtęci w glebie w pewnym zakresie jest regulowana przez obieg rtęci w postaci pary w powietrzu glebowym oraz przez jej przechodzenie do atmosfery. Pary rtęci są łatwo absorbowane przez substancje organiczne oraz minerały ilaste (zwłaszcza z grupy montmorylonitu), co wpływa na akumulację rtęci w glebach. Zagrożenie ze strony rtęci znajdującej się w glebie występuje wówczas, gdy w drodze udostępniania przez roztwory glebowe lub unoszenia się w postaci par w powietrzu glebowym rtęć ulega włączeniu w cykle biologiczne [Kabata-Pendias, Pendias 1999].

W wyniku przemian rtęci w glebach powstają różne formy połączeń tego metalu. Kierunek przemian jest uzależniony od takich czynników, jak: ilość i formy, w jakiej rtęć została wprowadzona do gleby, skład granulometryczny, pojemność sorpcyjna i rodzaj sorbentów (w tym głównie substancji organicznej i ilitu koloidalnego), odczyn gleby, zawartość związków siarki, żelaza, manganu, glinu, warunki oksydacyjno-redukcyjne, aktywność mikrobiologiczna oraz wilgotność i temperatura [Boszke i in. 2003, Gabriel Williamson 2004, Rasmussen i in. 2000, Różański 2006, Sarkar, Essington, Mistra 2000, Schlüter 2000].

Celem pracy była ocena całkowitej zawartości rtęci w poziomie orno-próchnicznym gleby uprawnej we wsi Budniki, położonej w województwie warmińsko-mazurskim. Przedmiotem badań było także poznanie zróżnicowania przestrzennego występowania tego pierwiastka na wybranym obszarze i wygenerowanie mapy izoliniowej, przedstawiającej strefy zmienności zawartości rtęci.

W pracy podjęto statystyczną ocenę zależności między całkowitą zawartością rtęci w glebach i ich wybranymi właściwościami fizykochemicznymi, tj. składem granulometrycznym, zawartością węgla organicznego, a także kwasowością czynną, wymienną i hydrolytyczną.

2. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Obiektem badań było 50 ha pole uprawne, zlokalizowane niedaleko Lidzbarka Warmińskiego we wsi Budniki, położonej na południowym skraju Równiny Sępopolskiej (szer. geograf. 54° 11' 47" N, dł. geograf. 20° 38' 12" E). Na badanym obszarze występują gleby brunatne właściwe typowe i oglejone [Systematyka gleb Polski 1989], wytworzone z utworów zastoiskowych, zdeponowanych w krótkotrwałych jeziorach, które powstały na przedpolu cofającego się lądolodu zlodowacenia Wisły [Kondracki, Pietkiewicz 1967, Kondracki 1994].

Próbki glebowe z powierzchniowego poziomu próchnicznego pobierano z głębokości 0–20 cm, metodą siatki geometrycznej kwadratów o boku 100 m (rys. 1). Wokół każdego z 50 wyznaczonych punktów węzłowych pobrano 30 próbek indywidualnych. Z tak otrzymanej próbki zbiorczej, po jej uśrednieniu wydzielono do analiz próbkę laboratoryjną o masie ok. 1 kg.

Pobór próbek w promieniu 50 m od każdego punktu węzłowego zapewnił prawie całkowite opróbkowanie analizowanego pola. Położenie każdego punktu węzłowego zarejestrowano za pomocą odbiornika GPS, firmy Magellan. Do przetworzenia danych użyto program komputerowy eLMID-Agrar GIS, firmy eLMID pl sp. z o.o.

Pobrane próbki gleb, po wysuszeniu do stanu powietrznie suchego, roz tarto w móżdzierzu i przesiano przez sito o średnicy oczek 2 mm. Analizy składu granulometrycznego wykonano metodą areometryczną Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego [Dobrzański, Uziak 1972]. Kwasowość czynną (pH w H₂O) i kwasowość wymienną (pH w 1M KCl) oznaczono metodą potencjometryczną w zawiesinach gleba:woda/1 M KCl w stosunku 1:2,5, za pomocą pehametru CPC-551, firmy Elmetron, a kwasowość hydrolytyczną wyznaczono metodą Kappena [Ostrowska, Gawliński, Szczubiałka 1991]. Zawartość węgla organicznego oznaczono metodą Tiurina [Kalembasa, Niklewski 1979].

Całkowitą zawartość rtęci w próbkach glebowych oznaczono metodą spektrometrii absorpcji atomowej, za pomocą analizatora rtęci AMA 254 produkcji słowackiej. W celu sprawdzenia wiarygodności zastosowanej procedury analitycznej oznaczania rtęci do pomiarów

użyto również certyfikowanego materiału referencyjnego TILL-3 [Certificate of Analysis 1995]. Wszystkie oznaczenia wykonano w trzech powtórzeniach.



Rys. 1. Lokalizacja punktów poboru próbek glebowych

Fig. 1. Sampling sites

Mapę powierzchniowego zróżnicowania całkowitej zawartości rtęci na badanym obszarze sporządzono na podstawie danych wejściowych aproksymowanych metodą krigingu, wykorzystując do tego program komputerowy SURFER 8.0 firmy Golden Software. Obliczenia statystyczne zostały wykonane przy zastosowaniu programu komputerowego Statistica 8 PL.

3. OMÓWIENIE WYNIKÓW

Wyniki analiz całkowitej zawartości rtęci w próbkach gleb pobranych z poziomu orno-próchniczego oraz ich wybrane właściwości przedstawiono w tabeli 1.

Całkowita zawartość rtęci na analizowanym obszarze kształtowała się w granicach od 0,0211 do 0,0767 mg·kg⁻¹, a wyliczona średnia na poziomie 0,0428 mg·kg⁻¹.

Tabela 1. Wybrane właściwości fizyczne i chemiczne oraz całkowita zawartość rtęci w badanych glebach**Table 1.** Selected physical and chemical properties and total mercury content in the investigated soils

Próbka	Zawartość frakcji w %		pH H ₂ O	pH 1 M KCl	Kwasowość hydroli- tyczna w cmol·kg ⁻¹	C org. w g·kg ⁻¹	Hg w mg·kg ⁻¹
	<0,02 mm	<0,002 mm					
1	53	30	7,08	6,70	0,30	17,0	0,0481
2	52	31	6,41	5,51	1,95	16,7	0,0757
3	46	26	6,27	5,42	2,25	14,7	0,0622
4	31	18	5,81	4,77	2,78	11,3	0,0584
5	41	28	6,26	5,34	1,84	12,4	0,0437
6	33	19	5,53	4,47	3,49	13,5	0,0466
7	38	21	6,25	5,43	1,95	16,5	0,0435
8	41	30	6,88	6,60	0,26	14,0	0,0400
9	38	19	4,87	4,10	4,05	12,1	0,0383
10	36	20	5,46	4,46	9,00	16,4	0,0514
11	52	39	5,20	4,05	9,11	13,5	0,0407
12	28	15	4,94	3,96	5,74	14,5	0,0543
13	43	24	5,48	4,56	3,79	16,6	0,0478
14	39	18	5,40	4,20	3,98	12,4	0,0430
15	30	15	5,57	4,59	3,00	12,2	0,0430
16	35	17	6,48	5,84	1,46	14,2	0,0496
17	35	16	6,27	5,52	1,80	16,3	0,0482
18	41	21	5,97	5,01	2,74	15,7	0,0507
19	18	8	5,24	4,08	3,98	10,7	0,0382
20	41	23	6,01	5,07	2,44	14,4	0,0459
21	41	24	6,01	5,29	2,21	16,2	0,0434
22	41	25	6,17	5,38	1,65	12,2	0,0422
23	18	11	5,73	4,96	2,44	11,1	0,0445
24	49	30	6,18	5,35	3,45	31,7	0,0767
25	37	23	6,05	5,26	2,06	13,9	0,0513
26	56	30	6,53	5,89	0,94	12,6	0,0421
27	31	17	5,97	4,98	2,25	10,6	0,0357
28	31	17	6,10	5,28	1,91	10,0	0,0362
29	35	22	5,88	5,06	3,00	15,9	0,0499
30	30	17	5,45	4,32	3,90	11,3	0,0387
31	40	21	4,74	3,87	5,93	12,2	0,0283
32	42	22	5,64	4,63	2,63	8,5	0,0211
33	21	9	6,29	5,70	1,39	11,5	0,0278
34	40	21	6,38	5,66	1,58	13,0	0,0347
35	35	18	6,66	5,94	1,01	10,7	0,0257
36	31	17	5,96	5,11	2,03	9,3	0,0478
37	37	23	6,11	5,24	1,80	10,9	0,0337
38	31	19	6,13	5,34	1,84	10,8	0,0356
39	38	25	6,10	5,21	2,51	13,2	0,0445
40	31	19	6,11	5,12	2,21	11,4	0,0348
41	34	23	6,71	5,82	1,16	10,0	0,0369
42	35	19	5,71	4,61	2,74	10,0	0,0291
43	28	15	5,73	4,76	2,78	10,7	0,0318
44	36	21	6,23	5,36	1,91	11,7	0,0349
45	43	26	5,95	4,94	2,59	11,4	0,0366
46	47	27	6,59	5,99	1,24	14,3	0,0354
47	49	28	5,48	4,48	4,84	24,1	0,0525
48	22	11	5,54	4,46	2,96	10,6	0,0313
49	22	11	4,56	3,77	5,81	10,5	0,0521
50	16	11	4,60	3,79	6,34	12,5	0,0360

Na stężenie rtęci w glebach bezpośredni wpływ mają ich właściwości fizyczne i chemiczne, w tym przede wszystkim skład granulometryczny, odczyn i zawartość węgla organicznego.

Skład granulometryczny gleb analizowanego obszaru charakteryzowało zróżnicowane uziarnienie. Wytypowane do badań próbki zaliczono aż do siedmiu grup granulometrycznych wg PTG. Większość stanowiły gliny ciężkie, średnie i lekkie, niekiedy pylaste, a poza nimi piaski gliniaste mocne również pylaste [Długosz, Malczyk, Różański 2004].

W badaniach składu granulometrycznego odnotowano duży zakres zmienności zawartości frakcji ilastej, od 8 do 39% i frakcji spławialnej, od 16 do 56% (tab. 1). Powodem tego były zróżnicowany utwór macierzysty i procesy erozyjne zachodzące na badanym obszarze, który charakteryzują znaczne deniwelacje oraz zabiegi agrotechniczne [Długosz, Malczyk, Różański 2004]. Przeprowadzone obliczenia statystyczne wykazały, że pomiędzy całkowitą zawartością rtęci a zawartością frakcji $<0,02$ mm i $<0,002$ mm związki korelacyjne, wyrażone jako współczynniki Pearsona, mają charakter przeciętny (odpowiednio $r_{xy}=0,3195$ i $r_{xy}=0,3131$). Na ogół obserwuje się zwiększone ilości tego pierwiastka w glebach ciężkich, tj. glinach i iłach [Dąbkowska-Naskręt, Malczyk, Kobierski 1999, Dąbkowska-Naskręt, Różański 2007, Kabata-Pendias, Pendias 1999, Malczyk 2000].

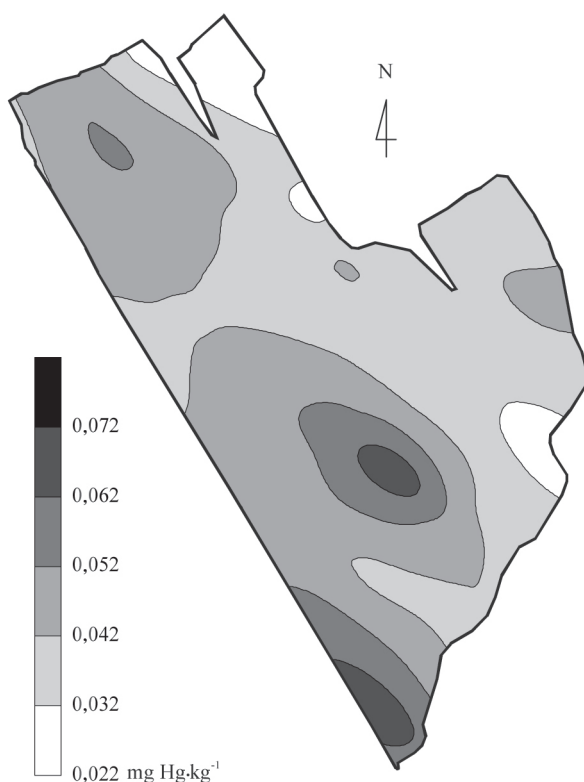
Zróżnicowanie zawartości próchnicy w poziomach orno-próchnicznych jest uzależnione od wielu czynników, między innymi od ilości i jakości związków organicznych dostających się do gleb, tempa ich humifikacji i mineralizacji próchnicy zawartej w glebach, ilości i jakości związków mineralnych [Alloway, Ayes 1999, Kowaliński 1993]. W badanych glebach zawartość węgla organicznego zmieniała się w zakresie od 8,5 do 31,7 g·kg⁻¹, a średnio wynosiła 13,4 g·kg⁻¹ (tab. 1). Zauważono, że skrajne wartości tego przedziału odpowiadają najmniejszej i największej całkowitej zawartości rtęci. Pomiedzy tymi zmiennymi stwierdzono wysoką korelację ($r_{xy}=0,6819$).

W glebach o odczynie lekko kwaśnym i obojętnym o wysokiej kationowej pojemności wymiennej występuje skłonność do unieruchamiania (immobilizacji) większości metali ciężkich, w tym również rtęci. W wyniku zmniejszenia wartości pH gleb najczęściej obserwuje się zjawisko prowadzące do uwolnienia się pierwiastków potencjalnie toksycznych, nawet jeżeli pierwotnie występowały one w postaci nieprzyswajalnej [O'Neill 1998, Pyłka-Gutowska 2000, Kowalik 2001].

Wyniki analiz kwasowości czynnej, wymiennej i hydrolitycznej wskazują na dużą zmienność tych parametrów glebowych. Próbki pobrane z badanego obszaru wykazywały odczyn od bardzo kwaśnego do obojętnego. Biorąc pod uwagę podział gleb w zależności od pH w 1-molowym roztworze KCl, okazało się, że 26 badanych próbek miało odczyn kwaśny (4,5<pH<5,5), 13 bardzo kwaśny (pH<4,5), a pozostałe lekko kwaśny i obojętny. Pomiar kwasowości czynnej (pH H₂O) wykazały, że połowa próbek miała odczyn bardzo kwaśny i kwaśny (tab. 1). Stwierdzono również dużą rozpiętość wyników kwasowości hydrolitycznej od 0,26 do 9,11 cmol·kg⁻¹. Według Kowalika [2001] oraz Pyłki-Gutowskiej [2000] kwaśny odczyn gleb

ma wpływ na wiązanie i zatrzymywanie metali ciężkich oraz na pojemność sorpcyjną, głównie w poziomach powierzchniowych. Analiza statystyczna nie wykazała istotnych korelacji pomiędzy poszczególnymi rodzajami kwasowości a całkowitą zawartością rtęci w badanych glebach.

W celu zobrazowania zróżnicowania przestrzennego całkowitej zawartości rtęci w badanych glebach wykreślono mapę, do wykonania której punktowe dane wejściowe zostały przekształcone geostatystycznie metodą krigingu (rys. 2). Z mapy wynika, że największa zawartość rtęci (od 0,062 do 0,072 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) i nieco mniejsza, ograniczona izolinia, 0,052 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, charakteryzowała niewielkie powierzchnie gleb położonych na południowym krańcu i w części środkowej analizowanego obszaru. Najmniejsze ilości tego pierwiastka zawierał natomiast poziom ornopróchniczny w północnej i zachodniej części badanego pola (rys. 2).



Rys. 2. Zróżnicowanie przestrzenne całkowitej zawartości rtęci w badanej glebie

Fig. 2. Spatial differentiation of total mercury content in the investigated soil

Obliczony na podstawie semiwariogramu empirycznego model sferyczny, wskazuje na mały wpływ zmienności krótkiego zasięgu (zmienności losowej) w zmienności całkowitej zawartości rtęci w poziomie powierzchniowym badanego pola. Dowodzi tego mała wartość

zmienności samorodka $1,09 \cdot 10^{-4} \text{ (mg} \cdot \text{kg}^{-1})^2$, jak również mały efekt samorodka, wynoszący jedynie 8,3%. Świadczyć to może o dużym rozproszeniu rtęci w obrębie analizowanego poziomu powierzchniowego.

Duży zasięg oddziaływania semiwariogramu (288 m) wskazuje na dobre skorelowanie uzyskanych wyników, ponieważ obejmowały ponad dwa sąsiednie punkty poboru. Potwierdzeniem niewielkiego zróżnicowania całkowitej zawartości rtęci w poziomie powierzchniowym badanego obszaru jest również wykreślona na podstawie semiwariogramu mapa rastrowa (rys. 2).

Biorąc pod uwagę rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi [Rozporządzenie Ministra Środowiska... 2002], nie stwierdzono przekroczenia dopuszczalnej całkowitej zawartości rtęci w badanych poziomach orno-próchnicznych. Stwierdzono, że zawartość tego metalu w badanych glebach jest zbliżona do poziomu tła geochemicznego.

4. WNIOSKI

Badania wykazały, że całkowita zawartość rtęci w analizowanym materiale glebowym, pochodzącym z poziomu orno-próchnicznego, wahała się w zakresie $0,0211 - 0,0767 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, z wartością średnią $0,0428 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Wyliczone współczynniki korelacji Pearsona wskazują na istotne zależności pomiędzy całkowitą zawartością rtęci w glebach, a zawartością frakcji spławialnej, iltu koloidalnego i węgla organicznego.

Wykreślona na podstawie semiwariogramu mapa rastrowa wskazuje na niewielkie zróżnicowanie całkowitej zawartości rtęci w poziomach orno-próchnicznych badanego obszaru.

Całkowita zawartość rtęci w poziomie orno-próchnicznym badanego pola, w świetle rozporządzenia Ministra Środowiska z 2002 r., w sprawie standardów jakości gleb oraz standardów jakości ziemi, nie przekracza wartości dopuszczalnych.

PIŚMIENNICTWO

- ALLOWAY B. J., AYRES D. C. 1999. Chemiczne podstawy zanieczyszczenia środowiska. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- 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 of Environmental Studies 12: 5–13.
- Certificate of Analysis TILL-3. 1995. Geochemical Soil and Till Reference Materials. Canada: 1–6.
- 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.

- DĄBKOWSKA-NASKRĘT H., RÓŻAŃSKI SZ. 2007. Mercury content in garden soils of urban agglomeration. *Global NEST Journal* 9, 3:237–241.
- DŁUGOSZ J., MALCZYK P., RÓŻAŃSKI SZ. 2004. Zmienność poziomu powierzchniowego gleb wybranego obszaru Równiny Sępopolskiej w świetle badań granulometrycznych. *Rocz. Glebozn. Warszawa. LV* 1: 99–106.
- DOBRZAŃSKI L., UZIAK ST. 1972. Rozpoznawanie i analiza gleb. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- FITZGERALD W. F., LAMBORG C. H. 2005. Geochemistry of mercury in the environment. *Environmental Geochemistry* 9: 108–147.
- GABRIEL M. C., WILLIAMSON D. G. 2004. Principal biogeochemical factors affecting the speciation and transport of mercury through the terrestrial environment. *Environmental Geochemistry and Health* 26: 421–434.
- GWOREK B. 1998. Rtęć w środowisku naturalnym i odpadach. *Ochrona Środowiska Zasobów Naturalnych i Leśnictwa* 14: 67–69.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- KALEMBASA ST., NIKLEWSKI M. 1979. Studia nad oznaczaniem zawartości węgla organicznego w glebach i nad efektywnością nawożenia azotowego. PWN, Warszawa, *Societas Scientiarum Stetinesis t. XLVI*, 1: 79–96.
- KONDRACKI J. 1998. Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa.
- KONDRACKI J., PIETKIEWICZ S. 1967. Czwartorzęd północno-wschodniej Polski. W: Galon R., Dylak J. (red.) *Czwartorzęd Polski*. PWN, Warszawa.
- KOWALIK P. 2001. Ochrona środowiska glebowego. PWN, Warszawa.
- KOWALIŃSKI S. 1993. Substancja organiczna gleby i jej przeobrażenia. *Gleboznawstwo, PWRiL*, Warszawa.
- MALCZYK P. 2000. Forms of mercury in soils of selected forest ecosystems of Poland. *Mengen und Spurenelemente* 20: 529–535.
- O'NEILL P. 1998. Chemia środowiska. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Wrocław.
- OSTROWSKA A., GAWLIŃSKI S., SZCZUBIAŁKA Z. 1991. Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. *Katalog. IOŚ*, Warszawa: 48–53.
- Systematyka gleb Polski.** 1989. *PTG*, Warszawa; 40, 3/4: 47–49.
- PYŁKA-GUTOWSKA E. 2000. Ekologia z ochroną Środowiska. Wydawnictwo Oświata, Warszawa.
- RASMUSSEN L.D., SØRENSEN S.J., TURNER R.R., BARKAY T. 2000. Application of a merlux biosensor for estimating bioavailable mercury in soil. *Soil Biology & Biochemistry* 32: 639–646.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi.** *Dz.U.* Nr 165, poz. 1359.

- RÓŻAŃSKI SZ. 2006. Rtęć w profilach gleb uprawnych zróżnicowanych pod względem typologii i genezy wybranych regionów Pojezierza Południowobałtyckiego. Praca doktorska. ATR, Bydgoszcz: 13, 18.
- SARKAR D., ESSINGTON M. E., MISTRA K. C. 2000. Adsorption of mercury (II) by kaolinite. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1968–1975.
- SCHLÜTER K. 2000. Review: evaporation of mercury from soil. An integration and synthesis of current knowledge. *Environ. Geol.* 39:249–271.
- SIENKO M. J., PLANE R. A. 1999. *Chemia podstawy i zastosowania*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- SLOAN J. J., DOWDY R. H., BALOGH S. J., NATER E. 2001. Distribution of mercury in soil and its concentration in runoff from a biosolids-amended agricultural watershed. *J. Environ. Qual.* 30:2173–2179.