

ARKADIUSZ TUJAKA, HENRYK TERELAK, CZESŁAW PIETRUCH

ÓŁÓW W POZIOMACH ORNO-PRÓCHNICZNYCH GLEB ROLNICZYCH POLSKI

LEAD CONTENT IN HUMIC HORIZONS OF AGRICULTURAL SOILS OF POLAND

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach

Abstract: The paper presents results of studies on the content of lead in 0–20 cm layer of agricultural soils in Poland and the correlation between lead content in soils and content of granulometric fractions <0.02 and <0.002 mm, organic matter and pH_{KCl} . Determined Pb content in soils varies 0.1 – 5000.0 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Mediana, arithmetical and geometric mean amount to: 12.6, 17.5 and 13.6 $\text{mg Pb} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively. The lead content in unpolluted soils (≤ 70 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) correlates with soil granulometric fraction <0.02 mm ($R=0.47$), with <0.002 mm ($R=0.35$), soil organic matter content ($R=0.30$) and pH_{KCl} . Approximately 97% of state's agricultural soils are not contaminated with lead (0°). About 2.4% of soils represent the elevated (1°) lead content. Soils with different degree of Pb pollution (II° – IV°) represent only 0.67% of farm-land soils and are situated sporadically in małopolskie, śląskie and dolnośląskie voivodeships.

Słowa kluczowe: gleba, ołów, zanieczyszczenie gleb.

Key words: soil, lead, pollution.

WSTĘP

Występowanie ołowiu w poziomach powierzchniowych gleb użytków rolnych jest bardzo zróżnicowane i ma bezpośredni związek z ich składem granulometrycznym i mineralogicznym oraz wpływem czynników antropogenicznych, tj. emisji komunikacyjnych i przemysłowych, stosowaniem różnego rodzaju odpadów przemysłowych, ścieków i osadów ściekowych jako substancji użyźniających [Czarnowska 1984, 1996, Dudka 1992, Kabata-Pendias, Pendias 1999, Mocek 1989].

Ołów ze względu na stosunkowo słabą rozpuszczalność minerałów, w których występuje, jest w środowisku glebowym mało mobilny [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Kwaśny odczyn, mała zawartość próchnicy oraz słabe właściwości sorpcyjne gleb sprzyjają nadmiernemu pobieraniu ołowiu przez rośliny i przechodzeniu do łańcucha

żywnościowego [Ruszkowska, Wojciecka-Wyskupajtyś 1996]. Wapnowanie, nawożenie fosforem oraz nawożenie organiczne ograniczają pobieranie ołowiu przez rośliny [Kabata-Pendias, Pendias 1999].

Do chwili obecnej nie wykazano niezbędności ołowiu dla normalnego wzrostu i rozwoju roślin [Ruszkowska, Wojciecka-Wyskupajtyś 1996]. Z toksycznym wpływem ołowiu na organizmy żywe mamy do czynienia na terenach zanieczyszczonych tym pierwiastkiem, szczególnie na terenach wydobywania i przetwórstwa rud ołowiu [Kabata-Pendias, Pendias 1999, Mocek 1989, Terelak i in. 1997a].

W pracy przedstawiono zawartość ołowiu w 0–20 cm warstwie gleb użytków rolnych kraju oraz zależności między zawartością tego pierwiastka w glebach a zawartością frakcji <0,02 i <0,002 mm, zawartością substancji organicznej oraz odczynem. Omówiono również zanieczyszczenie gleb ołowiem w ujęciu dla kraju, województw i regionów o różnym stopniu przemysłowości.

MATERIAŁ I METODY

W pracy wykorzystano wyniki oznaczeń laboratoryjnych zawartości ołowiu ogółem w 48 590 średnich próbek glebowych pobranych z 0–20 cm warstwy gleb użytków rolnych Polski oraz północno-wschodniego (NE) regionu rolniczego (6 266 próbek) i południowo-zachodniego (SW) regionu silnie uprzemysłowionego (9 059 próbek) w latach 1992–1997. Próbką średnią składała się z 15–20 próbek pojedynczych pobranych z powierzchni 10×10 m (1 ar). W próbkach glebowych oznaczono, metodami powszechnie stosowanymi w laboratoriach agrochemicznych, skład granulometryczny, odczyn (pH_{KCl}) i zawartość próchnicy oraz ogólną zawartość ołowiu w glebach metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej po zagęszczeniu do fazy organicznej z użyciem pirolidynodwukarbaminianu amonu w roztworze po rozkładzie gleby w wodzie królewskiej [Bolibrzuch i in. 1978].

Zawartość ołowiu w glebach wynoszącą do $70 \text{ mg Pb} \cdot \text{kg}^{-1}$ przyjęto, zgodnie z ustalonymi stopniami zanieczyszczenia tym metalem [Kabata-Pendias i in. 1993], jako zawartość naturalną. W badanej zbiorowości przyjęte stężenie ołowiu wykazało 44 771 próbek glebowych. Dla zbioru tego obliczono takie wskaźniki, jak: zawartość oczekiwana, mediana oraz średnia arytmetyczna i geometryczna. Obliczono również liniowy model zależności zawartości ołowiu w glebach i zawartości frakcji < 0,02 oraz <0,002 mm, substancji organicznej i odczynu (pH_{KCl}), a także współczynniki korelacji prostej (R) i determinacji (R^2) dla analizowanych cech gleby i stężenia ołowiu.

WYNIKI I DYSKUSJA

Zawartość ołowiu w glebach Polski jest bardzo zróżnicowana i zależy od wielu czynników, przy czym skład granulometryczny i mineralogiczny, pochodzenie skał macierzystych gleb oraz działalność gospodarcza człowieka są tu czynnikami decydującymi [Czarnowska 1984, 1996, Dudka 1992, Kabata-Pendias, Pendias 1999, Mocek 1989]. Dane zamieszczone w tabeli 1 wskazują, że stwierdzone zawartości

TABELA 1. Zawartość ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) ołowiu w 0–20 cm warstwie gleb użytków rolnych Polski i wydzielonych regionów

TABLE 1. Lead content ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) in 0–20 cm layer of agricultural soils in Poland and chosen regions

Region Region	Liczba próbek No. of soil samples	Średnia – Mean values		Mediana Mediana	Zakres wahań – Ranges	
		arytm. arithmetic	geometr. geometric		stwierdzony determined	oczekiwany expected
Polska	48 590	17,5	13,6	12,6	0,1–5000,0	7,4–25,0
Region NE	6 266	11,9	11,0	10,7	1,0–105,0	6,1–17,9
Region SW	9 089	35,7	26,2	24,3	1,2–5000,0	1,7–121,2

Region SW – woj. (voivodeship): dolnośląskie, małopolskie, opolskie, śląskie;

Region NE – woj. (voivodeship): mazowieckie, podlaskie, warmińsko-mazurskie.

ołowiu w glebach użytków rolnych Polski wahają się w granicach 0,1–5000,0 mg/kg , a wartości średniej arytmetycznej, geometrycznej i mediany wynoszą odpowiednio: 17,5, 13,6 i 12,6 $\text{mg Pb} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby. Po odrzuceniu 5% stwierdzonych skrajnych wyników zakres ten jest znacznie węższy i waha się w przedziale 7,4–25,0 $\text{mg Pb} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby (tab. 1). Wskazuje to, że zarówno bardzo niskie, jak i bardzo wysokie zawartości ołowiu w poziomach powierzchniowych gleb użytków rolnych kraju występują sporadycznie [Terelak i in. 1997b, Terelak i in. 2000]. Zakres oczekiwany zawartości ołowiu w glebach Polski wynoszący 7,4–25,0 $\text{mg Pb} \cdot \text{kg}^{-1}$ stanowi miarodajną ocenę ilości tego pierwiastka w glebie i nie przekracza wartości uznanej za tło geochemiczne gleb świata [Dudka 1992, Kabata-Pendias, Pendias 1999].

Dane zamieszczone w tabeli 1 wskazują, że gleby regionu słabo uprzemysłowionego (NE) charakteryzują się znacznie niższymi zawartościami ołowiu w porównaniu z glebami obszaru całego kraju, jak też regionu silnie uprzemysłowionego (SW). Odwrotna sytuacja istnieje w przypadku gleb regionu silnie uprzemysłowionego (SW). Gromadzenie ołowiu w glebach tego regionu ma charakter bardzo złożony i wynika w głównej mierze z zanieczyszczenia gleb spowodowanych pyłami metalonośnymi pochodzącymi z przemysłu wydobywania i przetwórstwa rud metali kolorowych, znacznej ilości gleb zwięzłych, stosowania w celach nawozowych różnego rodzaju odpadów przemysłowych i osadów ściekowych, często zanieczyszczonych ołowiem [Terelak i

TABELA 2. Naturalna zawartość ($\leq 70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) ołowiu w 0–20 cm warstwie gleb użytków rolnych Polski

TABLE 2. Natural lead content ($\leq 70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) in 0–20 cm layer of agricultural soils in Poland

Liczebność próbek No. of soil samples	Średnia – Mean value		Mediana Mediana	Zakres wahań – Ranges	
	arytmetyczna arithmetic	geometryczna geometric		stwierdzony determined	oczekiwany expected
44 711	15,4	13,2	12,5	0,1–70,0	5,6–32,6

in. 1997a, b, 2000). Stosunkowo niska zawartość ołowiu w glebach użytków rolnych Polski, nie przekraczająca średnio $17,5 \text{ mg Pb} \cdot \text{kg}^{-1}$ (średnia arytmetyczna), wynika w głównej mierze z dużego udziału gleb bardzo lekkich i lekkich zawierających do 20% części spławialnych oraz słabym zanieczyszczeniu antropogenicznym gleb tym metalem [Terelak i in. 1997a].

W glebach o naturalnej zawartości ołowiu ($\leq 70 \text{ mg Pb} \cdot \text{kg}^{-1}$), a więc w glebach nie zanieczyszczonych tym metalem [Kabata-Pendias i in. 1993] średnia arytmetyczna i geometryczna dla zawartość ołowiu oraz mediana wynoszą odpowiednio: 15,4, 13,2 i 12,5 $\text{mg Pb} \cdot \text{kg}^{-1}$, a zakresy: stwierdzony i oczekiwany mieszczą się w granicach odpowiednio: 0,1–70,0 i 5,6–32,6 $\text{mg Pb} \cdot \text{kg}^{-1}$ (tab. 2). Wartości te są nieco niższe niż dane uzyskane dla zbiorowości próbek reprezentujących gleby obszaru całego kraju (tab. 1).

Analiza statystyczna danych wykazała istnienie korelacji (R) między zawartością naturalną ołowiu w glebach ($\leq 70,0 \text{ mg Pb} \cdot \text{kg}^{-1}$) a zawartością w nich frakcji $<0,02$ i $<0,002$ mm oraz zawartością materii organicznej i odczynem (pH_{KCl}). Wartość współczynnika korelacji (R) dla wymienionych cech gleby wynosi odpowiednio: 0,47; 0,35; 0,30, a współczynnika determinacji (R^2) odpowiednio: 22,5; 12,0; 9,2; 48,2 (tab. 3).

Uzyskane wartości współczynników determinacji (R^2) wskazują na stosunkowo niski (poza pH) wpływ analizowanych cech gleby na zawartość ołowiu. Fakt ten można wyjaśnić równoczesnym oddziaływaniem na badaną zależność (przy tak dużej liczbie danych) innych czynników towarzyszących, które mogą osłabiać wzajemne związki między badanymi parametrami. Czynnikiem tymi mogą być: pochodzenie geologiczne skał macierzystych, skład mineralogiczny i chemiczny gleb, kierunek i tempo przebiegu procesu glebotwórczego, zmiany właściwości gleb zachodzące pod wpływem stosowanej agrotechniki itp. [Dudka 1992].

TABELA 3. Zależność między zawartością naturalną ($\leq 70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) ołowiu w 0–20 cm warstwie gleb użytków rolnych a ich właściwościami
TABLE 3. Relationship between natural content ($\leq 70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) of lead in 0–20 cm layer of agricultural soils and their properties

Model zależności Model of relationship	R	R^2 [%]
$Y = 8,1172 + 0,3454 F_3$	0,47	22,5
$Y = 11,4499 + 0,6090 F_4$	0,35	12,0
$Y = 10,1443 + 2,3493 \text{ M.O.}$	0,30	9,2
$Y = 49,6747 - 12,146 \cdot \text{pH} + 1,024 \cdot \text{pH}^2$	–	48,2

R – współczynnik korelacji prostej – simple correlation coefficient,

R^2 – współczynnik determinacji wyrażony w % – determination coefficient in %, F_3 – frakcja $< 0,02$ mm – fraction < 0.02 mm,

F_4 – frakcja $< 0,002$ mm – fraction < 0.002 mm, M.O. – materia organiczna – organic matter

TABELA 4. Zawartość ołowiu ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) w 0–20 cm warstwie gleb użytków rolnych i zanieczyszczenie gleb tym pierwiastkiem
 TABLE 4. Lead content ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) in 0–20 cm layer of agricultural soils in Poland and the degree of soil pollution with this element

Lp. No	Województwo Voivodeship	Liczba próbek No. of soil samples	Śred- nia geo- metr. Geo- met- ric mean	Zakres – Ranges		Udział gleb w stopniach zanieczyszczenia [%] Percentage of soils in pollution degrees							
				stwierdzony determined	oczeki- wany expec- ted	0	I	II	III	IV	V	0+I	II-V
1.	Dolnośląskie	3 319	20,6	1,2–370,0	12,5–34,2	95,57	3,95	0,45	0,03	0	0	99,52	0,48
2.	Kujawsko-Pomorskie	3 042	11,7	2,4–73,2	7,9–17,4	99,77	0,23	0	0	0	0	100,00	0
3.	Lubelskie	4 148	10,8	1,1–345,0	7,0–16,5	99,57	0,34	0,07	0,02	0	0	99,91	0,09
4.	Lubuskie	1 424	9,9	0,6–61,7	5,8–16,9	99,16	0,84	0	0	0	0	100,00	0
5.	Łódzkie	3 426	13,9	0,8–177,5	8,8–22,2	98,19	1,55	0,23	0,03	0	0	99,74	0,26
6.	Małopolskie	2 593	29,1	2,4–2787,0	16,2–52,1	88,26	9,31	1,19	1,12	0,12	0	97,57	2,43
7.	Mazowieckie	5 971	9,3	0,1–136,7	5,9–14,6	99,33	0,65	0,02	0	0	0	99,98	0,02
8.	Opolskie	1 746	20,9	4,7–236,4	14,3–30,5	96,05	3,72	0,23	0	0	0	99,77	0,23
9.	Podkarpackie	2 548	17,5	1,4–107,7	11,3–27,1	99,72	0,24	0	0,04	0	0	99,96	0,04
10.	Podlaskie	3 075	10,2	2,8–30,0	7,8–13,3	100,0	0	0	0	0	0	100,00	0
11.	Pomorskie	2 383	12,2	1,3–188,5	7,4–20,4	98,69	1,31	0	0	0	0	100,00	0
12.	Śląskie	2 187	39,8	3,6–5000,0	19,1–83,0	69,17	21,08	5,58	3,89	0,23	0,05	90,25	9,75
13.	Świętokrzyskie	2 133	13,8	1,5–100,2	8,3–23,1	97,80	2,06	0,14	0	0	0	99,86	0,14
14.	Warmińsko-Mazurskie	3 337	12,2	1,0–105,0	7,9–18,7	99,58	0,36	0,06	0	0	0	99,94	0,06
15.	Wielkopolskie	4 463	10,1	0,2–206,7	6,6–15,7	99,28	0,54	0,09	0,09	0	0	99,82	0,18
16.	Zachodniopomorskie	2 795	12,6	0,2–135,0	7,3–21,6	98,34	1,62	0,04	0	0	0	99,96	0,04
Polska		48 590	13,6	0,1–5000,0	7,4–25,0	96,89	2,44	0,40	0,25	0,02	0	99,33	0,67

Uzyskane wyniki badań (tab. 4) wskazują, że stosunkowo niska zawartość ołowiu w glebach użytków rolnych Polski nie stwarza większego zagrożenia dla produkowanych w kraju ziemiopłodów, a powierzchnia użytków rolnych kraju zanieczyszczonych tym pierwiastkiem jest znacznie mniejsza niż się na ogół uważa. Wyniki te potwierdzają wcześniejsze obserwacje i dane literaturowe [Kabata-Pendias, Pendias 1999, Mocek 1989, Terelak i in. 2000], że poza rejonami uprzemysłowionymi, w tym szczególnie z silnie rozwiniętym hutnictwem miedzi i innych metali kolorowych oraz obszarami o naturalnie podwyższonej ilości tego pierwiastka w skałach macierzystych gleb, zanieczyszczenie ołowiem terenów rolniczych praktycznie nie ma w kraju większego znaczenia.

Blisko 97% (tab. 4) gleb użytków rolnych kraju wykazuje naturalną (0°) zawartość ołowiu (gleby niezanieczyszczone). Na glebach tych mogą być uprawiane wszystkie rośliny polowe i ogrodnicze. Około 2,4% gleb ma podwyższoną (I°) zawartość ołowiu. Gleby te występują głównie w uprzemysłowionej południowo-zachodniej części kraju i mogą być przeznaczone pod wszystkie uprawy polowe z ograniczeniem uprawy warzyw i owoców z przeznaczeniem ich surowców do bezpośredniej konsumpcji przez dzieci lub na przetwory. Gleby słabo (II°) i średnio (III°) zanieczyszczone ołowiem stanowią odpowiednio 0,40 i 0,25% powierzchni użytków rolnych. Występują one punktowo w różnych województwach, przy czym najwięcej w województwach: śląskim, małopolskim i dolnośląskim. Na glebach tych zachodzi już obawa zanieczyszczenia surowców roślinnych ołowiem i niezbędna jest tu kontrola produkowanych surowców na zawartość w nich tego metalu. W Polsce, praktycznie rzecz biorąc, nie występują większe obszary użytków rolnych zanieczyszczonych silnie (IV°) i bardzo silnie (V°) ołowiem.

Wyniki badań przedstawione w tabeli 4 dotyczące występowania ołowiu w glebach rolniczych kraju oraz ich zanieczyszczenia tym pierwiastkiem wskazują jednoznacznie, że metal ten nie decyduje w większym stopniu o jakości konsumpcyjnej i paszowej produkowanych ziemiopłodów.

WNIOSKI

1. Zawartość ołowiu ogółem w powierzchniowym (0–20 cm) poziomie gleb użytków rolnych kraju waha się w zakresie od 0,1 do 5000,0 mg · kg⁻¹, a w oczekiwanym (po odrzuceniu 5% wartości skrajnych) od 7,4 do 25,0 mg Pb · kg⁻¹ gleby. Wartości średniej arytmetycznej, geometrycznej i mediany wynoszą odpowiednio: 17,5; 13,6; 12,6 mg Pb · kg⁻¹ gleby.
2. Stwierdzono istotną zależność między naturalną zawartością ołowiu ($\leq 70,0$ mg Pb · kg⁻¹) a zawartością frakcji <0,02 mm ($R^2 = 22,5\%$), frakcji <0,002 mm ($R^2 = 12,0\%$), substancji organicznej ($R^2 = 9,2\%$) i pH_{KCl} ($R^2 = 48,2$). Wyniki te wskazują, że zawartość ołowiu w glebach determinowana jest również innymi właściwościami takimi np., jak: pochodzenie geologiczne skał macierzystych gleb, skład mineralogiczny i chemiczny, kierunek i tempo przebiegu procesu glebotwórczego itp.
3. Gleby użytków rolnych północno-wschodniej części Polski (Region NE) zawierają nieco mniej ołowiu w porównaniu z glebami całego kraju. Odwrotna sytuacja istnieje w przypadku gleb uprzemysłowionej południowo-zachodniej (Region SW) części kraju w znacznym stopniu zanieczyszczonych pyłami metalonośnymi zawierającymi ołów.

4. Spośród gleb użytków rolnych Polski 96,9% charakteryzuje się naturalną (0°), a 2,4% – podwyższoną (1°) zawartością ołowiu. Tylko około 0,7% gleb jest w różnym stopniu (II–V) zanieczyszczone ołowiem. Zawartość ołowiu w glebach Polski nie jest czynnikiem ograniczającym produkcję wysokiej jakości ziemioplodów.

LITERATURA

- BOLIBRZUCH E., GAŁCZYŃSKA B., KABATA-PENDIAS A., PIOTROWSKA M., TARŁOWSKI P., WIĄCEK K. 1978: Oznaczanie pierwiastków śladowych i siarki w glebach i roślinach metodami kolorymetrycznymi i spektrometrii atomowej. Wyd. IUNG Puławy: 1–71.
- CZARNOWSKA K. 1984: Wpływ skały macierzystej na zawartość metali ciężkich w glebach. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* **242**: 21–30.
- CZARNOWSKA K. 1996: Ogólna zawartość metali ciężkich w skałach macierzystych gleb jako tło geochemiczne gleb. *Rocz. Glebozn.* **57**, supl.: 43–50.
- DUDKA S. 1992: Ocena całkowitych zawartości pierwiastków śladowych w powierzchniowej warstwie gleb Polski. Wyd. IUNG Puławy, R (293): 1–71.
- KABATA-PENDIAS A., MOTOWICKA-TERELAK T., PIOTROWSKA M., TERELAK H., WITTEK T. 1993: Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką. Ramowe wytyczne dla rolnictwa. Wyd. IUNG Puławy, P (35): 1–20.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1999: Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa: 1–348.
- MOCEK A. 1989: Możliwości racjonalnego zagospodarowania gleb chemicznie skażonych w przemysłowych strefach ochrony sanitarnej. *Rocz. AR Poznań, Rozpr. Nauk.*, **185**: 1–98.
- RUSZKOWSKA M., WOJCIESKA-WYSKUPAJTYS U. 1996: Mikroelementy – fizjologiczne i ekologiczne aspekty ich niedoborów i nadmiarów. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* **434**: 1–11.
- TERELAK H., STUCZYŃSKI T., MOTOWICKA-TERELAK T., PIOTROWSKA M. 1997a: Zawartość Cd, Cu, Ni, Pb, Zn i S w glebach województwa katowickiego i Polski. *Arch. Ochr. Środ.* **23**, 3–4: 167–180.
- TERELAK H., STUCZYŃSKI T., PIOTROWSKA M. 1997b: Heavy metals in agricultural soils in Poland. *Pol. J. Soil Sci.* **30/2**: 35–42.
- TERELAK H., MOTOWICKA-TERELAK T., STUCZYŃSKI T., PIETRUCH CZ. 2000: Trace elements (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) in agricultural soils of Poland. *Biblioteka Monitoringu Środowiska*: 1–69.

dr inż. Arkadiusz Tujaka
Zakład Żywienia Roślin i Nawożenia IUNG,
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy

