

Józef Chojnicki*, Magdalena Kowalska*

**ROZPUSZCZALNY Zn, Cu, Pb I Cd W UPRAWNYCH GLEBACH
PŁOWYCH, WYTWORZONYCH Z POKRYWOWYCH UTWORÓW
PYŁOWYCH RÓWNINY BŁOŃSKO-SOCHACZEWSKIEJ**

**SOLUBLE Zn, Cu, Pb AND Cd IN CULTIVATED LUVISOLS
DEVELOPED FROM SUPERFICIAL SILTS
OF THE BŁONIE-SOCHACZEW PLAIN**

Słowa kluczowe: rozpuszczalne metale ciężkie, gleby płowe uprawne.

Key words: soluble heavy metals, cultivated luvisols.

The research include 5 profiles of intensively cultivated luvisols, developed from youngest loesses of the Błonie-Sochaczew Plain. Three profiles were classified as haplic luvisols and two profiles as anthropogenic luvisols. The contents of soluble forms Zn, Cu, Pb, Cd was determined in 0,1 M HCl and basic analysis of soils were elaborated using methods commonly applying in soil science laboratories. Average concentration the soluble forms of elements in the studied soils in $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ of soil were: Zn – 3,0; Cu – 0,9; Pb – 3,5; Cd – 0,04, and average contribution of soluble forms in their total contents were following: Zn – 8,8; Cu – 10,7; Pb – 22,2 and Cd – 19,5%. Most intensively used of anthropogenic luvisols indicated significant greater contents of soluble zinc, copper, cadmium and their degree of mobility in humus horizons. In humus horizons of all soils were stated biggest contents of soluble forms of investigated elements and their degree of mobility. The contents of soluble forms investigated elements has been positively correlated with their total contents and amount of organic carbon. From agricultural point of view the humus horizons indicated medium and high content of zinc and low, medium and high content of copper.

* *Dr hab. Józef Chojnicki prof. nadzw., mgr Magdalena Kowalska – Katedra Nauk o Środowisku Glebowym, Wydział Rolnictwa i Biologii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, ul. Nowoursynowska 159/37, 02-776 Warszawa; tel.: 22 59 326 00; e-mail: jozef_chonicki@sggw.pl.*

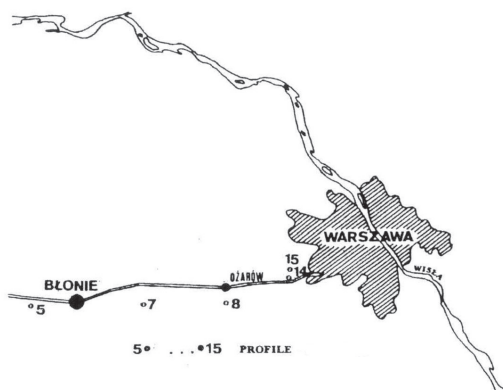
1. WPROWADZENIE

Badania zawartości formy rozpuszczalnej pierwiastków śladowych w glebach mają bardzo duże znaczenie praktyczne w prawidłowym żywieniu roślin uprawnych [Czekała, Jakubus 2006; Korzeniowska, Stanisławska-Glubiak 2008] oraz w ocenie możliwości ich oddziaływania na środowisko. Zawartość form rozpuszczalnych pierwiastków śladowych i stopień ich uruchomienia (udział formy rozpuszczalnej w całkowitej) są wskaźnikami określającymi ich mobilność w środowisku, w tym także łatwość wejścia w łańcuch pokarmowy [Karczewska, Bortniak 2008; Kabała, Singh 2006].

Celem prezentowanych w niniejszym opracowaniu badań było określenie zawartości rozpuszczalnego Zn, Cu, Pb i Cd oraz stopnia ich uruchomienia w glebach płowych Równiny Błońsko-Sochaczewskiej. Zbadano również zależności między zawartością rozpuszczalnej formy badanych pierwiastków i stopniem ich uruchomienia a niektórymi właściwościami gleb.

2. MATERIAŁ I METODY

Badaniami objęto 5 profili intensywnie użytkowanych gleb płowych, wytworzonych z najmłodszych lessów położonych na obszarze od Warszawy do Błonia (rys. 1). Gleby w profilach 5, 7 i 8 zaklasyfikowano jako gleby płowe typowe, a w profilach 14 i 15 jako gleby płowe antropogeniczne, intensywnie użytkowanych pod uprawę warzyw.



Rys. 1. Rozmieszczenie profili glebowych

Fig. 1. Locality of soil profiles

Podstawowe analizy gleb wykonano powszechnie stosowanymi metodami w laboratoriach gleboznawczych. Zawartość rozpuszczalnej formy Zn, Cu, Pb, Cd oznaczono w 0,1 M HCl (przy stosunku gleby do roztworu 1 : 10). W uzyskanych roztworach zawartość pierwiastków oznaczono techniką ASA. Zawartości ogółem badanych pierwiastków do obliczenia stopnia ich uruchomienia wykorzystano z pracy Chojnickiego, Czarnowskiej [1993].

3. WYNIKI BADAŃ

Badane gleby wytworzyły się z utworów pyłowych zwykłych (tab. 1). Najczęściej są to gleby niecałkowicie podścielone gliną lekką (profile 14 i 15), piaskiem luźnym (profil 8) lub łem (profil 5). W poziomach powierzchniowych wykazują odczyn kwaśny, a w głębszych – najczęściej słabo kwaśny. Pojemność sorpcyjna badanych gleb waha się od 3,5 do 6,0 cmol(+)kg⁻¹ gleby, a stopień wysycenia kationami zasadowymi kompleksu sorpcyjnego od 60 do 90%. Gleby pól antropogeniczne wykazują większą zawartość węgla organicznego w poziomach próchnicznych niż gleby pól typowe.

Zawartość rozpuszczalnego cynku była zdecydowanie najwyższa w poziomie próchnicznym gleby pól antropogenicznej (profil 15), w pozostałych glebach natomiast wahała się od 0,4 do 21 mg·kg⁻¹, średnio wynosiła 3 mg·kg⁻¹ gleby (tab. 2). Podobnie bardzo duży stopień uruchomienia tego pierwiastka stwierdzono w profilu 15 (82%), w pozostałych glebach wynosił on od 1,6 do 37,5%, średnio 8,8%.

Tabela 1. Niektóre właściwości fizykochemiczne gleb

Table 1. Some physicochemical properties of soils

Miejscowość Nr profilu	Poziom	Głęb. [cm]	pH	Zawartość frakcji				cmol(+)kg ⁻¹ gleby T CEC	Vs BS	C
				1–0,1	0,1–0,02	< 0,02	< 0,002			
Gleby pól typowe										
Piorunów 5	Ap	0–25	5,1	32	49	18	2	3,43	62,97	0,67
	ApEet	30–40	6,0	28	52	20	3	2,72	87,50	0,18
	Eet	45–65	6,4	31	51	18	1	1,70	88,82	0,08
	Bt	75–90	6,4	18	58	24	12	8,96	97,87	0,11
	IIC	120–140	6,3	58	30	12	8	4,87	95,27	0,09
	C	140–170	5,9	24	57	19	6	5,82	96,73	0,20
	IIIC	190–205	5,8	28	16	56	21	14,67	98,70	0,11
Płochocin 7	Ap	0–20	4,3	26	54	20	5	5,02	69,32	0,89
	Eet	30–45	5,3	25	58	17	2	2,81	87,90	0,16
	Bt	65–80	5,5	33	57	10	7	6,92	94,50	0,10
	C	110–120	5,3	33	56	11	7	5,45	92,48	0,08
	C	145–160	4,5	31	49	20	7	7,36	91,30	0,06
Duchnice 8	Ap	0–25	5,2	20	55	25	6	6,79	86,16	0,72
	Eet	35–45	5,5	19	54	27	5	5,24	92,17	0,22
	Bt	50–65	5,6	13	56	31	11	7,95	94,84	0,16
	IIC	85–100	6,3	95	4	1	1	1,60	90,62	0,09
	IIC	130–140	6,2	95	4	1	1	1,11	90,09	0,03
Gleby pól antropogeniczne										
Mory 14	Ap	0–20	5,6	18	53	29	7	5,68	87,50	1,48
	Eet	30–40	5,8	13	57	30	6	3,01	91,36	0,26
	EetBtg	40–50	6,0	9	57	31	11	5,72	95,45	0,05
	Btg	65–80	6,0	20	48	32	13	9,89	96,56	0,13
	IICg	95–105	5,6	56	22	22	12	7,76	95,61	0,15
	IICg	135–150	7,0	45	23	32	14	13,62	100,0	0,11
Mory 15	Ap	0–20	5,3	31	46	23	6	21,87	89,20	4,97
	Ap	20–40	6,0	16	56	28	5	12,67	95,03	1,60
	Eet	48–65	5,9	11	61	28	6	4,96	92,54	0,22
	EetBtg	65–80	5,4	28	45	27	9	7,00	92,57	0,08
	Btg	80–100	5,1	23	48	29	10	10,37	92,76	0,08
	IICg	1400–155	4,1	45	28	27	12	8,71	90,93	0,08

Największe zawartości rozpuszczalnej formy cynku i jego uruchomienie w przekroju profilowym gleb występowało w poziomach próchnicznych, a najmniejsze w większości poziomów płowienia (Eet), co jest spowodowane zachodzeniem procesu glebotwórczego płowienia.

Największa zawartość rozpuszczalnej miedzi występuje – podobnie jak cynku – w poziomie próchnicznym gleby płowej antropogenicznej (profil 15), w pozostałych glebach zaś średnio jej zawartość wynosi 0,9 mg·kg⁻¹ gleby, przy wahaniami od 0,1 do 5,6 mg·kg⁻¹ gleby. Zdecydowanie największe uruchomienie tego pierwiastka występowało także w poziomie próchnicznym profilu 15 (63%). W pozostałych glebach średnio wynosiło 10,78%, przy wahaniami od 0,9 do 40,6%. Z wyjątkiem profilu 5 i 7 największe zawartości rozpuszczalnej formy miedzi i jej uruchomienie w przekroju profilowym gleb stwierdzono w poziomach próchnicznych.

Tabela 2. Zawartość ogółem cynku (Zn_t), miedzi (Cu_t), ołowiu (Pb_t), cadmu (Cd_t), rozpuszczalnego cynku (Zn_s), miedzi (Cu_s), ołowiu (Pb_s), cadmu (Cd_s) oraz stopień ich uruchomienia (Zn_s/Zn_tx100, Cu_s/Cu_tx100, Pb_s/Pb_tx100, Cd_s/Cd_tx100)

Table 2. Total content of zinc (Zn_t), copper (Cu_t), lead (Pb_t), cadmium (Cd_t), soluble zinc (Zn_s), copper (Cu_s), lead (Pb_s), cadmium (Cd_s) and their degree of mobility (Zn_s/Zn_tx100, Cu_s/Cu_tx100, Pb_s/Pb_tx100, Cd_s/Cd_tx100)

Miejscowość Nr profilu	Poziom	Głęb. [cm]	Zn			Cu			Pb			Cd		
			Zn _t mg·kg ⁻¹	Zn _s mg·kg ⁻¹	Zn _s / Zn _t x100	Cu _t mg·kg ⁻¹	Cu _s mg·kg ⁻¹	Cu _s / Cu _t x100	Pb _t mg·kg ⁻¹	Pb _s mg·kg ⁻¹	Pb _s / Pb _t x100	Cd _t mg·kg ⁻¹	Cd _s mg·kg ⁻¹	Cd _s / Cd _t x100
Gleby płowe typowe														
Piorunów 5	Ap	0–25	26	6,0	23,1	8,0	0,2	2,5	16	5,0	31,2	0,11	0,02	18,2
	ApEet	30–40	18	0,9	5,0	6,8	0,1	1,5	10	2,3	23,0	0,12	0,02	16,7
	Eet	45–65	16	0,4	2,5	6,6	0,1	1,5	8	1,3	16,2	0,11	0,01	9,1
	Bt	75–90	25	1,4	5,6	9,8	0,3	3,1	12	2,2	18,3	0,03	0,02	66,7
	IIC	120–140	18	1,2	6,6	6,8	0,3	4,4	10	1,7	17,0	0,03	0,01	33,3
	C	140–170	48	1,9	3,9	7,4	0,3	4,0	12	2,1	17,5	0,08	0,01	12,5
Płochocin 7	III C	190–205	65	4,2	6,4	22,3	0,2	0,9	26	2,7	10,4	0,10	0,01	10,0
	Ap	0–20	49	13,5	27,5	10,1	0,2	2,0	23	9,5	41,3	0,40	0,17	42,5
	Eet	30–45	14	0,7	5,0	3,0	0,3	10,0	6	1,5	25,0	0,19	0,02	10,5
	Bt	65–80	24	1,1	4,6	6,6	0,2	3,0	7	1,3	18,6	0,16	0,01	6,2
	C	110–120	22	1,2	5,4	6,8	0,2	2,9	7	1,6	22,8	0,14	0,04	28,6
Duchnice 8	C	145–160	26	1,7	6,5	7,8	0,1	1,3	7	1,7	24,3	0,32	0,02	6,2
	Ap	0–25	56	21,0	37,5	13,8	5,6	40,6	24	10,0	41,6	0,35	0,20	57,1
	Eet	35–45	24	2,1	8,7	6,2	1,5	24,2	30	2,5	8,3	0,14	0,01	7,1
	Bt	50–65	26	2,0	7,7	9,4	1,3	13,8	32	2,0	6,2	0,18	0,02	11,1
	IIC	85–100	8	0,6	7,5	3,0	0,5	16,7	8	1,1	13,7	0,14	0,01	7,1
Mory 14	IIC	130–140	6	0,6	10,0	2,0	1,1	55,0	6	3,1	51,7	0,12	0,01	8,3
	Ap	0–20	150	6,0	4,0	27,5	5,3	19,3	40	21,0	52,5	0,68	0,23	33,8
	Eet	30–40	56	1,3	2,3	5,4	0,2	3,7	16	2,7	16,9	0,19	0,02	10,5
	EetBtg	40–50	30	1,8	6,0	12,0	0,3	2,5	18	2,3	12,8	0,52	0,01	1,9
	Btg	65–80	23	1,5	6,5	8,8	0,2	2,3	18	2,9	16,1	0,65	0,01	1,5
	IICg	95–105	30	1,8	6,0	11,5	0,2	1,7	18	2,1	11,7	0,37	0,01	2,7
Mory 15	IICg	135–150	31	0,5	1,6	10,1	0,1	1,0	12	2,3	19,2	0,40	0,19	47,5
	Ap	0–20	103	96,0	93,2	23,4	18,7	79,9	36	12,8	35,5	no	0,36	-
	Ap	20–40	140	99,0	70,7	21,8	10,0	45,9	38	13,3	35,0	no	0,35	-
	Eet	48–65	17	1,6	9,4	4,0	1,3	32,5	10	3,2	32,0	no	0,04	-
	EetBtg	65–80	20	1,2	6,0	7,8	1,3	16,7	9	2,0	22,2	no	0,03	-
	Btg	80–100	18	1,4	7,7	10,0	1,1	11,0	15	2,2	14,7	no	0,01	-
IICg	1400–155	18	2,5	13,9	9,6	1,1	11,5	14	2,0	14,3	no	0,01	-	

Objaśnienie: no – nie oznaczano.

Z rolniczego punktu widzenia badane gleby wykazują średnią (profile 5, 7 i 14) i dużą (profile 8 i 15) zawartość cynku oraz małą (profile 5 i 7), średnią (profile 8 i 14) i dużą (profil 15) zawartość miedzi [Zalecenia nawozowe 1990].

Przeciętna zawartość rozpuszczalnego ołowiu w badanych glebach wynosiła $3,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, przy zakresie wahań od $1,1$ do $21 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby. Udział formy rozpuszczalnej ołowiu w zawartości ogółem stanowił średnio 22,2% i był największy wśród badanych pierwiastków. Wyraźnie największe zawartości rozpuszczalnej formy ołowiu i jego uruchomienie w przekroju profilowym stwierdzono w poziomach próchnicznych gleb. Także bardzo duże jego uruchomienie wykazuje piasek luźny jako skała podścielająca w profilu 8.

Najwyższą zawartość rozpuszczalnego kadmu stwierdzono w poziomie próchnicznym gleby płowej antropogenicznej (profil 15), a jego zawartość w pozostałych glebach wahała się od $0,01$ do $0,23 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, średnio $0,04 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby. Z pewnymi wyjątkami (profil 5), największe zawartości rozpuszczalnej formy kadmu i jego uruchomienie w przekroju profilowym występują w poziomach próchnicznych gleb i wraz z głębokością się zmniejszają. Stopień uruchomienia kadmu jest zbliżony do ołowiu i wynosi średnio 19,5%, wahając się w zakresie od 1,5 do 66,7%.

Analiza statystyczna wyników badań wykazała (tab. 3) wysoko istotną pozytywną korelację między zawartością rozpuszczalnej formy badanych pierwiastków a ich ilością ogółem i węgla organicznego. Także wysoko istotnie skorelowany z zawartością węgla organicznego okazał się stopień uruchomienia cynku i miedzi oraz w mniejszym stopniu ołowiu i kadmu. W wysokim stopniu istotną korelację stwierdzono również między stopniem uruchomienia cynku i jego zawartością ogółem.

Tabela 3. Współczynniki korelacji (r) między zawartością rozpuszczalnego Zn_s , Cu_s , Pb_s , Cd_s i stopniem ich uruchomienia ($\text{Zn}_s/\text{Zn}_t \times 100$, $\text{Cu}_s/\text{Cu}_t \times 100$, $\text{Pb}_s/\text{Pb}_t \times 100$, $\text{Cd}_s/\text{Cd}_t \times 100$) a niektórymi właściwościami gleb ($n=20$)

Table 3. Coefficients of correlation between content soluble of Zn, Cu, Pb, Cd, their of mobility ($\text{Zn}_s/\text{Zn}_t \times 100$, $\text{Cu}_s/\text{Cu}_t \times 100$, $\text{Pb}_s/\text{Pb}_t \times 100$, $\text{Cd}_s/\text{Cd}_t \times 100$) and some properties of soils

Zmienna	Zn_s	Cu_s	Pb_s	Cd_s	$\text{Zn}_s/\text{Zn}_t \times 100$	$\text{Cu}_s/\text{Cu}_t \times 100$	$\text{Pb}_s/\text{Pb}_t \times 100$	$\text{Cd}_s/\text{Cd}_t \times 100$
<0,02	0,087	0,081	0,156	0,142	0,033	-0,129	-0,235	0,051
<0,002	-0,125	-0,121	-0,130	-0,079	-0,154	-0,302	-0,421	0,122
C	0,836**	0,945**	0,693**	0,802**	0,867**	0,715**	0,434*	0,398*
pH_{KCl}	-0,062	-0,091	-0,163	-0,034	-0,146	-0,019	-0,156	0,058
Ogółem								
Zn	0,692**	-	-	-	0,585**	-	-	-
Cu	-	0,656**	-	-	-	0,324	-	-
Pb	-	-	0,762**	-	-	-	0,227	-
Cd	-	-	-	0,555**	-	-	-	0,004

Objaśnienie: *, ** – istotne odpowiednio przy $p = 0,05$ i $p = 0,01$.

4. DYSKUSJA

Badane gleby płowe wykazały zbliżone zawartości rozpuszczalnego cynku i miedzi oraz podobny stopień ich uruchomienia jak w glebach płowych wytworzonych z glin zawalowych zlodowacenia środkowopolskiego i bałtyckiego [Gworek 1986] oraz w glebach płowych wytworzonych z pyłów północno-wschodniej Polski [Gworek 1985]. Uzyskano również podobne istotne korelacje między występowaniem formy rozpuszczalnej cynku i miedzi a zawartością węgla organicznego i ich zawartością ogółem.

W madach środkowej Wisły i Żuław [Czarnowska, Szymanowska-Sieńczyńska 1999] natomiast uzyskano znacznie większe zawartości rozpuszczalnego cynku, miedzi i przede wszystkim kadmu oraz nieco mniejsze ilości ołowiu niż w badanych glebach. Stopień uruchomienia kadmu i ołowiu w madach był zbliżony do stopnia uruchomienia tych pierwiastków w badanych glebach, natomiast cynku i szczególnie miedzi – znacznie większy. Opracowanie statystyczne wyników badań obu prac wykazało bardzo duże podobieństwo uwarunkowań występowania form rozpuszczalnych badanych pierwiastków, czyli wysoko istotną korelację między ich ilością rozpuszczalną a ich zawartością ogółem i węgla organicznego.

Znaczne zawartości form rozpuszczalnych cynku i miedzi oraz wysoki stopień ich uruchomienia wraz z ołowiem w poziomie próchnicznym gleby płowej antropogenicznej (profil 15) jest skutkiem intensywnego użytkowania tej gleby oraz jej lokalizacji w sąsiedztwie aglomeracji warszawskiej. Wspomniane wyżej zmiany nastąpiły tylko w poziomie próchnicznym i nie objęły głębiej położonych poziomów. Należy podkreślić, że są to charakterystyczne zmiany wzrostu ilościowego występowania i stopnia uruchomienia pierwiastków śladowych, jakie zachodzą w glebach poddanych znacznemu oddziaływaniu człowieka [Bieniek, Bieniek 2008; Czarnowska, Kozanecka 2001].

Podobnie jak w innych badaniach [Kalembasa i in. 2008] stwierdzono stosunkowo duży udział form rozpuszczalnych badanych pierwiastków w ich zawartości ogółem w piasku luźnym jako skale podścielającej. Zjawisko to, biorąc pod uwagę znaczną ilość gleb wytworzonych z piasków w Polsce, może stanowić potencjalne zagrożenie dla środowiska i organizmów łańcucha pokarmowego.

5. WNIOSKI

1. Gleby płowe Równiny Błońsko-Sochaczewskiej średnio zawierają rozpuszczalnych form w $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$: Zn–3,0; Cu–0,9; Pb–3,5; Cd–0,04, natomiast średni procentowy udział formy rozpuszczalnej w ich ogólnej zawartości był następujący: Zn–8,8; Cu–10,7; Pb–22,2 i Cd–19,5.
2. Najintensywniej użytkowane gleby płowe antropogeniczne wykazały znacznie większe zawartości rozpuszczalnego cynku, miedzi i kadmu oraz stopień ich uruchomienia w poziomach próchnicznych.

3. Zawartości rozpuszczalnej formy badanych pierwiastków są pozytywnie skorelowane z ich ilością ogółem i ilością węgla organicznego.
4. W poziomach próchnicznych badanych gleb występowały największe zawartości badanych pierwiastków i udział ich formy rozpuszczalnej w ilości ogółem. Stwierdzono w nich zawartość średnią i wysoką cynku oraz niską, średnią i wysoką miedzi.

PIŚMIENNICTWO

- BIENIEK A., BIENIEK B. 2008: Metale ciężkie w glebach wzdłuż arterii komunikacyjnych Olaszyna. *Rocz. Glebozn.* 59, 3/4: 23–31.
- CHOJNICKI J., CZARNOWSKA K. 1993: Zmiany zawartości fosforu ogółem i rozpuszczalnego oraz Zn, Cu, Pb, Cd w glebach intensywnie użytkowanych rolniczo. *Rocz. Glebozn.* 44, 3/4: 99–111.
- CZARNOWSKA K., SZYMANOWSKA-SIEŃCZEWSKA W. 1999: Zawartość rozpuszczalnych form Mn, Zn, Cu, Pb, i Cd w glebach aluwialnych doliny Wisły i Żuław. *Rocz. Glebozn.* 50, 1/2: 85–97.
- CZARNOWSKA K., KOZANECKA T. 2001: rozpuszczalne formy metali ciężkich w glebach antropogenicznych z terenu Warszawy. *Rocz. Glebozn.* 52, 3/4: 45–51.
- CZEKAŁA J., JAKUBUS M. 2006: Influence of Long-Term Plant Cultivation and Nitrogen Fertilization on the Content of Soluble Forms of trace Elements in a Lessive Soil. *Pol. J. Environ. Stud.* 15, 2a: 36–42.
- GWOREK B. 1985: Pierwiastki śladowe w glebach wytworzonych z utworów pyłowych północno-wschodniego regionu Polski. *Rocz. Glebozn.* 36, 3: 41–51.
- GWOREK B. 1986: Zawartość rozpuszczalnych pierwiastków śladowych w glebach wytworzonych z glin zwałowych. *Rocz. Glebozn.* 37, 1: 79–90.
- KABAŁA C., SINGH B. R. 2006: Distribution and Forms of Cadmium in Soils Near a Copper Smelter. *Pol. J. Environ. Stud.* 15, 2a: 90–98.
- KALEMBASA D., PAKUŁA K., BECHER M., JAREMKO D. 2008: Frakcje metali ciężkich w glebach położonych wzdłuż obwodnicy miasta Siedlce. *Rocz. Glebozn.* 59, 2: 85–93.
- KALEMBASA D., PAKUŁA K. 2006: Fractions of zinc and copper in the forest luvisols of the South Podlasie lowland. *Pol. J. Environ. Stud.* 15, 2a: 98–103.
- KARCZEWSKA A., BORTNIAK M. 2008: Chrom i inne metale ciężkie w glebach wrocławskich terenów wodonośnych w sąsiedztwie hały żużla żelazochromowego w Siechnicach. *Rocz. Glebozn.* 59, 1: 106–111.
- KORZENIOWSKA J., STANISŁAWSKA-GLUBIAK E. 2008: Przydatność niektórych roztworów ekstrakcyjnych do oceny zawartości przyswajalnych form mikroelementów w glebie. *Rocz. Glebozn.* 59, 3/4: 152–160.
- ZALECENIA NAWOZOWE. Cz. I. 1990: Liczby graniczne do wyceny zawartości w glebach makro- i mikroelementów. IUNG. Wyd. 2: 26.