

## DYNAMIKA ZMIAN ZAWARTOŚCI MIEDZI W GLEBACH ORAZ W SEKWENCYJNIE WYDZIELONYCH FRAKCJACH

*Dorota Kalembasa, Anna Majchrowska-Safaryan, Magdalena Chromińska*

Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej  
Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach  
ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce  
e-mail: kalembasa@uph.edu.pl

**Streszczenie.** Celem pracy była ocena zawartości ogólnej miedzi oraz we frakcjach wydzielonych z gleb, położonych na stoku morenowym Wysoczyzny Siedleckiej. Sekwencyjne frakcjonowanie przeprowadzono metodą Zeiena i Brümmera. Analiza specjacyjna wykazała, iż metal ten był związany z różnymi częściami fazy stałej gleby. Największy procentowy udział miedzi stwierdzono we frakcji rezydualnej (F7), w poziomach skały macierzystej, a najmniejszy we frakcji łatwo rozpuszczalnej (F1) i wymiennej (F2). W badanych glebach, w transekcie A i B zanotowano istotne związki korelacyjne między udziałem miedzi w wydzielonych frakcjach, a jej zawartością ogólną, zawartością węgla związków organicznych a frakcją organiczną (F4), pojemnością sorpcyjną CEC oraz frakcją ilową gleby (< 0,002 mm).

**Słowa kluczowe:** miedź, frakcje, Wysoczyzna Siedlecka, metoda Zeiena i Brümmera

### WSTĘP

Metale ciężkie znajdujące się w glebie występują w postaci szeregu związków i wchodzi w skład różnych minerałów. W skład ich ogólnej zawartości wchodzi różne formy (frakcje) o zróżnicowanej rozpuszczalności i mobilności, wykazujące odmienną dynamikę przechodzenia w rozmaite formy zaabsorbowania (Kabata-Pendias i Pendias 1999, Kalembasa i Pakuła 2006). Metody frakcjonowania sekwencyjnego pozwalają na ilościowe oznaczenie poszczególnych połączeń metali ciężkich w glebie, umożliwiając tym samym lepszą jakościową ocenę dostępności i potencjalnej toksyczności pierwiastków dla biotycznych elementów łańcucha troficznego (Zenie i Brümmer 1989). Na zachowanie się miedzi w glebach, jej rozpuszczalność, przemieszczanie i przyswajalność wpływa głównie: odczyn gleby, obecność związków Fe, Al i Mn, minerały ilaste oraz zawartość substancji organicznej (Hlavay i in. 2004).

Celem pracy było zbadanie zawartości ogólnej miedzi oraz we frakcjach wydzielonych z różnych typologicznie gleb, położonych na stoku morenowym Wysoczyzny Siedleckiej.

#### MATERIAŁ I METODY

Badania glebowe przeprowadzono na stoku pagórkowatej moreny czołowej (wystawa zachodnia) zlodowacenia środkowopolskiego, stadiału Warty, na Wysoczyźnie Siedleckiej, w obrębie Nizin Środkowopolskich (o współrzędnych geograficznych 22° 43'E i 52° 13'N). Wykonano sześć odkrywek glebowych w dwóch

**Tabela 1.** Schemat metody ekstrakcji sekwencyjnej metali według metody Zeiena, Brümmera  
**Table 1.** Sequential extraction of heavy metals by the Zeien and Brümmer method

Fracja Fraction	Nazwa Name	Odczynnik ekstrakcyjny Extraction reagent	Czas ekstrakcji Extraction time (h)	pH
F1	Łatwo rozpuszczalna Easily soluble	1 mol $\text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot \text{dm}^{-3}$	24	naturalne natural
F2	Wymienna Exchangeable	1 mol $\text{CH}_3\text{COONH}_4 \cdot \text{dm}^{-3}$	24	6,00
F3	Związana z $\text{MnO}_x$ Bound with $\text{MnO}_x$	1 mol $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl} \cdot \text{dm}^{-3} +$ 1 mol $\text{CH}_3\text{COONH}_4 \cdot \text{dm}^{-3}$	0,5	6,00
F4	Organiczna Organic	0,025 mol $\text{C}_{10}\text{H}_{22}\text{N}_4\text{O}_8 \cdot \text{dm}^{-3}$	1,5	4,60
F5	Okludowana na amorficznych $\text{FeO}_x$ Occluded on amorphous $\text{FeO}_x$	0,2 mol $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{dm}^{-3} +$ 0,2 mol $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{dm}^{-3}$	4	3,25
F6	Okludowana na krystalicznych $\text{FeO}_x$ Occluded on crystalline $\text{FeO}_x$	0,2 mol $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{dm}^{-3} +$ 0,2 mol $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{dm}^{-3} + 0,1$ mol $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6 \cdot \text{dm}^{-3}$	0,5	3,25
F7	Rezydualna (poekstrakcyjna pozostałość) Residual (post-extraction residue)	obliczono z różnicy pomiędzy ogólną zawartością danego metalu a sumą jego frakcji calculated from the difference between the total content of a certain metal and the sum of its fractions	–	–

Stosunek gleba: roztwór 1 g: 10  $\text{cm}^3$  – soil : solution ratio 1 g : 10  $\text{cm}^3$ .

transektach (odległych od siebie o około 700 m) transekt A: na szczycie (gleba płowa bielnicowana – I) i dwie na zboczu (gleba brunatna wyługowana – II i deluwialna próchniczna – III); transekt B: na wierzchołku (gleba regulówkowa – IV), na zboczu (gleba płowa typowa – V) i u podnóża stoku (gleba deluwialna właściwa). Z poszczególnych poziomów genetycznych badanych gleb pobrano materiał glebowy, w którym oznaczono zawartość ogólną Cu metodą ICP–AES (na aparacie Optima 3200 RL, firmy Perkin Elmer), po uprzedniej mineralizacji badanego materiału (na sucho) w temperaturze 450°C i sporządzeniu wyciągu w 20% HCl. Frakcje miedzi wydzielono według metody Zeiena i Brümmera (1989) (tab. 1).

Metoda ta umożliwia wydzielenie siedmiu frakcji metalu, różniących się aktywnością w środowisku glebowym. Analizę prowadzono w trzech powtórzeniach. Dla oceny poprawności oznaczeń stosowano materiały referencyjne: WEPAL Soil Reference Material RTH 911 (Swiss Less Soil), firmy Perkin Elmer oraz wewnętrzne.

W celu określenia współzależności między zawartością ogólną miedzi oraz we frakcjach, a także wybranymi właściwościami gleb (frakcją  $\phi < 0,002$  mm, C org, CEC,  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  – obliczono wartość współczynnika korelacji prostej Pearsona, wykorzystując program statystyczny „Statistica 2007”.

#### WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Wybrane fizyczne i fizykochemiczne właściwości badanych gleb na stoku moreny czołowej zlodowacenia środkowopolskiego zamieszczono w pracy Kalebasy i Majchrowskiej-Safaryan (2007).

Zawartość ogólna miedzi w badanych poziomach genetycznych różniła się między profilami i w ich obrębie i wynosiła: dla transektu A  $1,08\text{--}11,3$   $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (średnio  $5,10$   $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) i transektu B  $0,29\text{--}4,70$   $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (średnio  $1,71$   $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) (tab. 2). W powierzchniowych poziomach próchnicznych zawartość miedzi w transekcie A była wyższa ponad dwukrotnie, niż w transekcie B, i kształtowała się w granicach (odpowiednio):  $1,59\text{--}4,99$   $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (średnio  $3,17$   $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ );  $0,81\text{--}2,21$   $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (średnio  $1,34$   $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). Zawartości te nie przekraczały dopuszczalnych stężeń miedzi dla użytków rolnych (Rozporządzenie MŚ 2002) i mieściły się w przedziale zawartości „naturalnych” (Kabata-Pendias i in. 1995). Najwięcej miedzi  $5,81\text{--}11,3$   $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  stwierdzono w poziomach wzbogacenia (Bbr, Bt, EB) gleby brunatnej wyługowanej (profil II) i gleb płowych (profil I i V). Wynika to prawdopodobnie z oddziaływania glebotwórczych procesów, kształtujących te gleby, powodujących wymywanie tego metalu z górnych do poziomów niżej leżących (Dąbkowska-Naskręt i in. 1996). W glebach deluwialnych (profil II i VI), leżących w transektach najniżej, najwięcej miedzi stwierdzono w poziomach próchnicznych (IIA, A2), położonych poniżej 40 cm w profilu.

**Tabela 2.** Zawartość ogólna miedzi ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) oraz procentowy jej udział (w tej zawartości) we frakcjach badanych gleb transektu A i B

**Table 2.** Total content ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) and percentage contribution of copper fractions in the investigated soils in transect A and B

Poziom Horizon	Głębokość Depth (cm)	Fracja – Fraction							Zawartość ogólna Total content ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )
		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	
Transekt A – Transect A									
I. Gleba płowa bielcowana – Albic Luvisol (flat)									
A	0-25	6,16	6,29	13,5	20,1	13,6	13,7	26,5	1,59
Eet, fe	25-40	4,84	5,93	12,9	19,5	12,8	15,5	28,5	1,55
Bt, fe	40-60	3,21	3,55	10,8	11,3	5,36	16,3	45,2	4,20
Bt	60-90	3,13	3,44	12,9	9,24	8,52	17,3	45,5	5,81
C	90-120	0,92	1,39	11,2	5,37	10,6	17,5	53,1	1,08
Średnia – Mean		3,65	4,12	12,3	13,1	10,2	16,0	39,8	2,85
II. Gleba brunatna wylugowana – Dystric Cambisol (slope)									
A	0-24	3,80	4,93	9,25	14,3	10,6	10,1	46,9	2,94
ABbr(fe)	24-37	3,09	3,40	10,6	10,6	6,24	17,8	48,3	4,47
Bbr 1	37-47	3,01	2,82	12,6	8,74	6,92	18,4	45,8	6,31
Bbr 2	47-75	2,87	2,83	11,7	6,15	7,42	21,1	47,8	6,96
Bbr 3	75-100	1,87	2,76	8,25	4,77	8,22	23,4	47,9	7,23
Bbr 4	100-140	1,32	1,99	7,58	2,91	13,5	22,0	50,8	7,58
Średnia – Mean		2,66	3,12	9,99	7,90	8,81	18,8	47,9	5,91
III. Gleba deluwialna próchniczna – Mollic Fluvisol (slope)									
IA1	0-15	2,90	3,25	9,95	9,72	6,55	19,8	47,6	4,99
IA2	15-35	2,84	2,95	11,4	6,53	10,2	10,2	44,5	6,61
IA3	35-46	2,53	2,88	8,52	5,82	11,6	9,31	59,3	5,10
IIA	46-68	2,79	1,92	11,7	6,17	12,4	9,95	48,8	11,3
AC	68-78	2,76	2,73	10,8	4,44	9,37	18,3	51,5	7,23
IC	78-100	1,73	2,14	10,4	3,92	11,4	8,57	61,2	4,34
IICG	100-125	1,72	1,96	11,2	3,71	11,6	6,03	63,6	6,22
Średnia – Mean		2,47	2,56	10,6	5,75	10,4	11,7	53,9	6,54

Transekt B – Transect B									
IV. Gleba regulówkowa (rigosol) – Anthropic Regosol (flat)									
Aan	0-25	1,83	2,84	12,1	27,0	10,3	8,99	36,9	1,09
AanA	25-50	1,80	3,01	9,04	11,1	11,7	16,3	40,5	0,83
Ees	50-80	1,74	2,17	7,60	3,69	12,4	23,7	48,7	0,46
Bhfe	80-110	1,72	1,87	7,02	2,68	12,2	23,6	50,9	1,98
C	110-150	1,40	1,60	11,9	2,56	12,8	25,5	44,2	2,93
Średnia – Mean		1,70	2,30	9,53	9,40	11,9	19,6	44,2	1,46
V. Gleba płowa typowa – Haplic Luvisol (slope)									
A	0-25	2,10	3,70	8,51	14,2	12,3	14,9	44,2	0,81
Eet	25-50	1,82	2,00	7,64	3,45	7,82	21,3	56,0	0,55
EB	50-80	2,72	2,80	6,70	3,85	9,62	15,9	58,3	4,70
Bt	80-120	2,18	2,25	9,77	3,64	12,2	18,7	51,2	3,07
C1	120-150	1,28	1,91	5,74	2,98	10,4	20,2	57,4	0,47
C2	150-180	1,03	1,38	4,14	2,76	5,17	8,67	76,9	0,29
Średnia – Mean		1,85	2,34	7,08	5,15	9,58	16,6	57,2	1,65
VI. Gleba deluwialna właściwa – Haplic Phaeozem (foot-slope)									
A1	0-40	5,14	5,42	11,2	10,6	12,1	20,0	35,4	2,12
A2	40-64	4,65	5,30	13,8	4,78	15,3	19,2	36,9	2,30
AC	64-74	4,14	4,58	9,04	4,78	12,6	10,9	44,6	1,57
CG	74-90	2,18	3,22	10,3	1,18	10,7	22,5	49,8	2,11
Średnia – Mean		4,03	4,63	11,1	5,33	12,7	20,2	41,7	2,02

Analiza specjacyjna miedzi w badanych glebach na stoku wykazała, iż metal ten związany był z różnymi częściami fazy stałej gleby (tab. 2). W badanych glebach transektu A i B najmniejszy procentowy udział miedzi (w zawartości ogólnej) stwierdzono we frakcjach bioprzyswajalnych, (łatwo rozpuszczalnej – F1 i wymiennej – F2); wynosił on średnio dla wszystkich gleb: F1 – 2,72% (1,70-4,03%) i F2 – 3,17% (2,30-4,63%). Jest to zgodne z ogólnie przyjętym poglądem (Alloway 1995, Kabata-Pendias i Pendias 1999, Kalembasa i Pakuła 2006), że tylko niewielka część miedzi występuje w tych frakcjach, świadczących o jej ruchliwości w środowisku glebowym. W formach tych na ogół, największy udział miedzi zanotowano w powierzchniowych poziomach próchnicznych – średnio, odpowiednio: dla F1 3,65% (1,83-6,16%), dla F2 4,40% (2,84-6,29%). Największy udział Cu w tych frakcjach, w poziomie próchnicznym, wystąpił w glebie płowej

bielicowanej (profil I). Udział tego metalu zmniejszał się wraz z głębokością gleb, z wyjątkiem gleby deluwialnej próchnicznej, przyjmując najniższe wartości w poziomach skał macierzystych. Kabata-Pendias i Pendias (2001) podają, że miedź jest silnie wiązana w powierzchniowych poziomach glebowych i nie podlega przemieszczeniu w głąb profilu glebowego. Obniżenie przyswajalności miedzi w glebach może nastąpić w obecności związków wapnia (Karczewska 1996).

Procentowy udział miedzi we frakcjach związanych z tlenkami i wodorotlenkami manganu F3 (7,48-13,5%), amorficznymi F5 (5,36-13,6%) oraz krystalicznymi F6 (6,03-23,4%) tlenkami i wodorotlenkami żelaza, była zróżnicowana między badanymi glebami oraz poszczególnymi poziomami genetycznymi tych gleb.

We frakcji organicznej (F4) największy udział miedzi zanotowano w powierzchniowych poziomach próchnicznych gleb obydwu transektów – średnio 16,0% (9,72-27,0%). Szczególne powinowactwo miedzi do połączeń z substancją organiczną podkreślają w swoich pracach Ramos i in. (1994), Karczewska (1996), Filipek-Mazur (2004). Mocek i Owczarzak (1993) podają, że w poziomach próchnicznych gleb udział połączeń organicznych miedzi wynosi 41-68% jej zawartości całkowitej. Kalembasa i in. (2008), badając gleby położone wzdłuż obwodnicy miasta Siedlce, stwierdzili od 10,1 do 29,9% miedzi we frakcji organicznej. We wszystkich badanych glebach procentowy udział miedzi w tej frakcji stopniowo zmniejszał się w głąb profilu.

Największy procentowy udział miedzi w zawartości ogólnej stwierdzono w formach nierozpuszczalnych (frakcja rezydualna F7). W transekcje A wynosił on 39,8-53,9% (średnio 47,2%); najwięcej w glebie deluwialnej próchnicznej, w poziomach leżących najniżej, a w transekcje B 41,7-57,2% (średnio 47,7%) – najwięcej w poziomie skały macierzystej gleby płowej typowej. Miedź w tej frakcji dominowała w poziomach skały macierzystej wszystkich profili (49,8-76,9%), z wyjątkiem gleby regulówkowej (profil IV). Waclawek i Moćko (2001) stwierdzili w powierzchniowych poziomach badanych przez siebie gleb, dominujący udział miedzi we frakcji rezydualnej (średnio około 85% całkowitej zawartości). Znacznie mniej Cu tej frakcji (28,4% zawartości całkowitej) w poziomach próchnicznych gleb mineralnych podaje Bogacz i in. (1996). Mocek (1989) zanotował, że udział Cu frakcji rezydualnej zwiększa się w głąb profilu glebowego.

W badanych glebach położonych na stoku, w transekcje A i B zanotowano istotne związki korelacyjne między udziałem miedzi w wydzielonych frakcjach, a jej zawartością ogólną, zawartością węgla związków organicznych, a frakcją (F4), pojemnością sorpcyjną CEC oraz frakcją iltu koloidalnego (< 0,002 mm), (tab. 3). Najsilniejsze związki korelacyjne stwierdzono pomiędzy miedzią zwią-

zaną tlenkami manganu (F3) oraz frakcją rezydualną (F7), a wybranymi właściwościami badanych gleb.

**Tabela 3.** Współczynniki korelacji pomiędzy zawartością miedzi w wydzielonych frakcjach a jej zawartością ogólną oraz wybranymi właściwościami badanych gleb

**Table 3.** Correlation coefficients between the fractions of copper and some properties of investigated soils

Parametr Parameter	Frakcje – Fractions						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Transekt A – Transect A							
Ogólna zawartość Total content	0,82*	0,81*	0,94*	0,52	0,89*	0,76*	0,97*
Corg – Org C	0,31	0,21	0,12	0,57*	0,14	–0,02	0,09
pH <sub>KCl</sub>	–0,11	–0,17	0,12	–0,34	0,30	0,10	0,23
CEC	0,66*	0,53	0,67*	0,38	0,51	0,29	0,67*
$\phi < 0,002$	0,45	0,54*	0,56*	0,32	0,34	0,58*	0,56*
Transekt B – Transect B							
Ogólna zawartość Total content	0,82*	0,25	0,90*	0,38	0,97*	0,95*	0,97*
Corg – Org C	0,38	0,47	0,21	0,73*	0,10	–0,06	–0,15
pH <sub>KCl</sub>	0,32	0,32	0,02	–0,01	–0,03	–0,06	–0,11
CEC	0,94*	0,55*	0,91*	0,50	0,92*	0,83*	0,78*
$\phi < 0,002$	0,39	0,21	0,77*	0,14	0,75*	0,74*	0,55*

CEC – pojemność sorpcyjna – cation exchange capacity,

$\phi < 0,002$  – zawartość procentowa frakcji iłu – percentage fraction of clay;

\*poziom istotności  $\alpha = 0,05$  – \*significant at  $\alpha = 0.05$ .

## WNIOSKI

1. Zawartość ogólna miedzi w poszczególnych poziomach genetycznych sześciu gleb, położonych w dwóch transektach na stoku morenowym Wysoczyzny Siedleckiej, była zróżnicowana między poszczególnymi profilami i w ich obrębie. Więcej tego metalu stwierdzono w glebach transektu A, niż transektu B; najwięcej w glebie brunatnej wylugowanej i deluwialnej próchnicznej. Zawartości te nie przekraczały dopuszczalnych stężeń zawartych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska i mieściły się w przedziale zawartości naturalnych.

2. Sekwencyjne frakcjonowanie miedzi w poziomach genetycznych badanych gleb, metodą Zeiena i Brümmera, wykazało zróżnicowaną zawartość metalu w wydzielonych frakcjach. W biodostępnych frakcjach łatwo rozpuszczalnej (F1) i wymiennej (F2) stwierdzono najmniejszy udział tego metalu w zawartości ogólnej, a największy we frakcji rezydualnej (F7). W powierzchniowych poziomach próchnicznych i podpróchnicznych największy udział miedzi zanotowano we frakcji organicznej (F4).

3. Procentowy udział miedzi w wydzielonych frakcjach, w odniesieniu do zawartości ogólnej gleb obydwu transektów, układał się podobnie, w następującym szeregu malejących wartości:  $F7 > F6 > F3 \leftrightarrow F5 > F4 > F2 > F1$ .

4. Współczynniki korelacji dla badanych cech wskazują na istotne dodatnie zależności między udziałem miedzi w wydzielonych frakcjach a jej zawartością ogólną, frakcją łąkową i pojemnością sorpcyjną.

#### PIŚMIENNICTWO

- Alloway B.J., 1995. Heavy metals in soils. Blackie Academic and Professional, London.
- Bogacz W., Verloo M., Kasperska J., 1996. Badania nad formami mikroelementów w glebach Belgii. Cz. II. Wpływ składu granulometrycznego wybranych gleb Flandrii na zawartość różnych form mikroelementów. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 434, 1017-1023.
- Dąbkowska-Naskręt H., Jaworska H., Dymińska M., 1996. Miedź i cynk w wybranych glebach płowych z Ziemi Dobrzyńskiej. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 434, 499-503.
- Filipek-Mazur B., 2004. Występowanie i toksyczność metali ciężkich w środowisku. [W:] Diagnostyka gleb i roślin w rolnictwie zrównoważonym. Monografie 54, AP Siedlce., 116-130.
- Hlavay J., Prohaska T., Weisz M., Wenzel W.W., Stinger G.J., 2004. Determination of trace elements bound to soils and sediment fractions (IUPAC technical report). Pure Appl. Chem., 76 (23), 415-442.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa, 398.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 2001. Trace Elements in Soil and Plants. CRC Press, Boca Raton.
- Kabata-Pendias A., Piotrowska M., Motowiecka-Terelak H., Maliszewska-Kordybach B., Filipek K., Krakowiak A., Pietrzak C., 1995. Podstawy oceny chemicznego zanieczyszczenia gleb. Biblioteka Monitoringu Środowiska. IOŚ, Warszawa, 41.
- Kalembasa D., Majchrowska-Safaryan A., 2007. Degradacja gleb na stoku morenowym na Wysoźnie Siedleckiej. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 520, 83-92.
- Kalembasa D., Pakuła K., 2006. Fractions of zinc and copper in the forest luvisols of the South Podlasie Lowland. Polish J. of Environ. Stud., 15 (2a), 98-103.
- Kalembasa D., Pakuła K., Becher M., Jaremko D., 2008. Frakcje metali ciężkich w glebach położonych wzdłuż obwodnicy miasta Siedlce. Roczniki Gleboznawcze, 59 (2), 85-92.
- Karczewska A., 1996. Formy miedzi w silnie zanieczyszczonych glebach LGOM-u oraz ich przemiany związane z warunkami zawodnienia. Zeszyty Naukowe Komitetu „Człowiek i Środowisko”, 14, 240-246.
- Mocek A., 1989. Możliwości racjonalnego zagospodarowania gleb chemicznie skażonych w przemysłowych strefach ochrony sanitarnej. Roczniki AR Poznań, Rozprawa Naukowa, 185.



- Mocek A., Owczarzak W., 1993. Wiązanie Cu, Pb, Zn przez próchnicę w glebach zanieczyszczonych emisjami hut miedzi. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 411, 293-298.
- Ramos L., Hernandez L.M., Gonzales M.J., 1994. Sequential fractionation of copper, lead, cadmium and zinc in soils from Donana National Park. J. Environ. Qual., 23, 50-57.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 roku w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. Dz. U. nr 165, poz. 1359.
- Wacławek W., Moćko A., 2001. Relationships between heavy metal contents in the soils of garden allotments and some physico-chemical parameters. Chemia i Inżynieria Ekologiczna, 8(1/2), 1277-1281.
- Zeien H., Brümmer G.W., 1989. Chemische Extraction zur Bestimmung Schwermetallbindungsformen in Böden. Mitteling. Dtsch. Bondenkundl. Gesellsch, 59 (1), 505-510.

## DYNAMICS OF CHANGE IN THE TOTAL CONTENT OF COPPER IN SOILS AND IN SEQUENTIAL-SEPARATED FRACTIONS

*Dorota Kalembasa, Anna Majchrowska-Safaryan, Magdalena Chromińska*

Department of Soil Science and Plant Nutrition,  
Siedlce University of Natural Sciences and Humanities  
ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce  
e-mail: kalembasa@uph.edu.pl

**Abstract.** The research was aimed at evaluating the total contents of copper and its fractions in soils situated on a moraine slope in Siedlce Upland. Sequential fractionation was carried out according to the Zeien and Brümmer method. The speciation analyses indicate that the metal was bound to different parts of the soils' solid phase. The highest copper content was found in the residual fraction (F7) in mother rock, and the lowest in the easily soluble (F1) and exchangeable (F2) fractions. In soils of transect A and B the correlation coefficients demonstrated that the amounts of copper in separated fractions showed a significant correlation with the total content of copper, fraction of clay, sorption capacity, organic carbon content and organic fraction (F4).

**Keywords:** copper, fractions, Siedlce Upland, Zeien and Brümmer method