

## MAKROELEMENTY W GLEBACH ORNYCH WYSOCZYNY SIEDLECKIEJ

*Krzysztof Pakuła, Dorota Kalembasa*

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

**Streszczenie.** Celem pracy było zbadanie zawartości ogólnej fosforu, potasu, wapnia, magnezu, sodu i siarki oraz ich rozmieszczenia w zróżnicowanych typologicznie 30 profilach gleb ornych Wysoczyzny Siedleckiej (gleby brunatne właściwe wylugowane – Dystric Cambisols, płowe typowe – Haplic Luvisols, płowe opadowo-glejowe – Stagnic Luvisols, deluwialne – Endogleyic Cambisols). W badanych glebach stwierdzono zróżnicowaną zawartość ogólną fosforu, potasu, wapnia, magnezu, sodu i siarki między poszczególnymi profilami glebowymi oraz w poszczególnych poziomach genetycznych danego profilu. Pierwiastki te można ułożyć w następujące szeregi malejących średnich zawartości ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ): w glebach brunatnych właściwych wylugowanych i płowych typowych  $\text{Ca} (9,97-13,6) > \text{Mg} (2,55-3,84) > \text{K} (2,13-2,68) > \text{P} (0,238-0,353) > \text{Na} (0,130-0,163) > \text{S} (0,076-0,103)$  oraz w glebach płowych opadowo-glejowych i deluwialnych  $\text{Ca} (2,00-3,75) > \text{K} (1,13-3,17) > \text{Mg} (1,06-2,76) > \text{P} (0,235-0,344) > \text{Na} (0,103-0,121) > \text{S} (0,093-0,106)$ . Najwięcej P, Ca, Mg i Na stwierdzono w glebach brunatnych właściwych wylugowanych, K – w glebach płowych opadowo-glejowych, a S – w glebach deluwialnych. Profilowe rozmieszczenie badanych makroelementów zróżnicowały procesy geologiczne, glebotwórcze i działalność antropogeniczna (w tym rolnicza). W poziomach próchnicznych zanotowano najwięcej P i S, w poziomach wzbogacania i skał macierzystych – K, w skałach macierzystych – Ca, Mg, Na. Obliczenia statystyczne wykazały istotne zależności (dodatnie i ujemne) pomiędzy N, P, K, Ca, Mg i S oraz wpływ wybranych właściwości gleby (pH,  $C_{\text{org}}$ , kationowej pojemności sorpcyjnej, frakcji ilowej) na akumulację i rozmieszczenie badanych makroelementów w omawianych glebach.

**Słowa kluczowe:** makroelementy, gleby brunatnoziemne, gleby deluwialne, Wysoczyzna Siedlecka

### WSTĘP

Naturalna zawartość pierwiastków chemicznych w glebie zależy od składu mineralogicznego skały macierzystej oraz procesów geogenicznych i pedogenicznych, kształtujących budowę i właściwości profilu glebowego. Gleba jest siedli-

skiem wzrostu i rozwoju roślin, stanowiąc podstawowy element agroekosystemu, ukształtowany pod wpływem rolniczej i pozarolniczej (gospodarczej) działalności człowieka. Uczestniczy ona w obiegu pierwiastków biogennych (węgla, azotu, fosforu, potasu, wapnia, magnezu, sodu, siarki), zachodzą w niej procesy rozkładu i syntezy związków mineralnych i organicznych oraz ich przemieszczanie i akumulacja w profilu glebowym. Zasobność gleb w składniki pokarmowe decyduje o jej żyzności, urodzajności i produktywności, warunkując ilość i jakość plonów uprawianych roślin (Szafranek 2000, Terelak i in. 2008). Wysoczyzna Siedlecka położona jest w strefie moren czołowych zlodowacenia środkowopolskiego stadiału Warty i jego faz recesyjnych. Na glinach morenowych i piaskach gliniastych wykształciły się gleby brunatnoziemne, które dominują w strukturze gleb uprawnych i stanowią podstawę produkcji rolniczej na tym terenie (Kalembasa 1997, Kondracki 2002).

Celem pracy było zbadanie zawartości ogólnej makroelementów i ich rozmieszczenia w użytkowanych rolniczo glebach brunatnych właściwych, płowych i deluwialnych Wysoczyzny Siedleckiej.

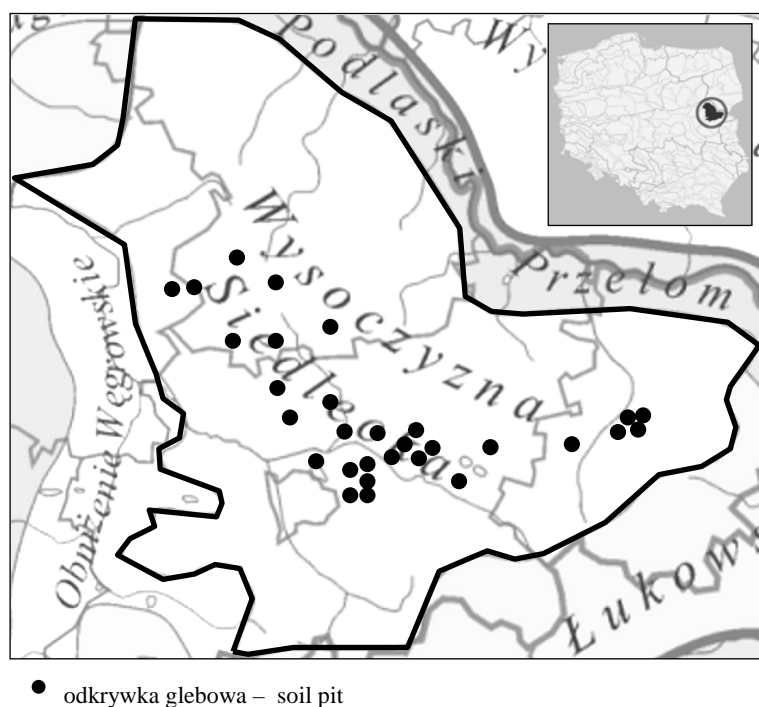
#### MATERIAŁ I METODY

Obiektem badań było 30 profili glebowych, zróżnicowanych typologicznie: gleby brunatne właściwe wylugowane Dystric Cambisols (6), płowe typowe Haplic Luvisols (5), płowe opadowo-glejowe Stagnic Luvisols (14), deluwialne Endogleyic Cambisols (5), użytkowanych jako grunty orne, zlokalizowane na Wysoczyźnie Siedleckiej, w środkowowschodniej części województwa mazowieckiego (rys. 1).

W powietrznie suchych próbkach gleby pobranych z poszczególnych poziomów genetycznych badanych profili glebowych oznaczono: skład granulometryczny według Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego (PTG 2009) – metodą areometryczną, pH w 1 mol KCl·dm<sup>-3</sup> – potencjometrycznie, węgiel związków organicznych (C<sub>org</sub>) – metodą oksydacyjno-miareczkową (Kalembasa, Kalembasa 1992), azot ogólny (N<sub>og</sub>) – metodą Kiejdahla, zawartość ogólną P, K, Ca, Mg, Na, S – metodą ICP-AES, po mineralizacji mikrofalowej w mieszaninie stężonego HCl i HNO<sub>3</sub> (3 :1). Kationową pojemność sorpcyjną gleby (KPW) obliczono na podstawie kwasowości całkowitej (hydrolitycznej – H<sub>cal</sub>) i sumy kationów zasadowych (S) – oznaczonych metodą Kappena.

Dla poszczególnych poziomów genetycznych badanych gleb obliczono wskaźnik wzbogacenia (w.w.) w analizowane pierwiastki (w stosunku do ich zawartości w skale macierzystej). Dla uzyskanych wyników podano średnie arytmetyczne, odchylenie standardowe (SD), współczynnik zmienności (RSD), a także najmniejszą (min.) i największą (max.) zawartość danego pierwiastka. Współzależność pomiędzy zawartością ogólną makroelementów i wybranymi właściwościami

badanych gleb oceniono za pomocą korelacji prostoliniowej. Obliczenia statystyczne wykonano za pomocą programu Statistica 9.1.



**Rys. 1.** Lokalizacja badanych gleb na Wysoczyźnie Siedleckiej  
**Fig. 1.** Location of investigated soils on the Siedlce Upland

#### WYNIKI I DYSKUSJA

Wybrane fizyczne, fizykochemiczne i chemiczne właściwości badanych gleb były typowe dla gleb wytworzonych z materiału zwałowego i fluwiogłacjalnego zlodowacenia środkowopolskiego (tab. 1). Gleby te charakteryzowały się odczynem kwaśnym i lekko kwaśnym (poziomy próchniczne, wymywania i wzbogacania) oraz obojętnym i zasadowym (poziomy skały macierzystej); znacznie mniejszą kationową pojemnością sorpcyjną poziomów powierzchniowych, niż poziomów głębiej leżących w profilu, akumulacją węgla związków organicznych ( $C_{org}$ ) i azotu ogólnego ( $N_{og}$ ) w poziomach próchnicznych oraz typowym dla glin zwałowych, pionowym zróżnicowaniem składu granulometrycznego (gliny piaszczyste, gliny lekkie, piaszczysto-ilaste, zwykłe, ilaste). Charakterystykę sorpcyjnych właściwości badanych gleb brunatnoziemnych i deluwialnych Wysoczyzny Siedleckiej przedstawiono w pracy Kalembasy i in. (2011). Podobne zależności

w glebach brunatnoziemnych stwierdzili Szafranek (2000), Raczuk (2001), Kobierski i Dąbkowska-Naskręt (2005), Kalembasa i Majchrowska-Safaryan (2007), Kalembasa i Pakuła (2009), Kalembasa i in. (2009), a w glebach deluwialnych – Kalembasa i Majchrowska-Safaryan (2007).

**Tabela 1.** Wybrane właściwości badanych gleb Wysoczyzny Siedleckiej  
**Table 1.** Some properties of the investigated soils of the Siedlce Upland

Poziom genetyczny Genetic horizon	Piasek Sand	Pył Silt	Il Clay	pH <sub>KCl</sub>	KPW CEC	C <sub>org</sub>	N <sub>og</sub>
	2-0,5	0,5-0,002	< 0,002		mmol (+)kg <sup>-1</sup>	g·kg <sup>-1</sup>	
% frakcji o średnicy w mm % fraction with diameter in mm							
Gleby brunatne właściwe wylugowane – Dystric Cambisols							
Ap	73	20	7	5,39	76,4	7,71	1,06
Bbr	44	28	29	5,45	168,0	2,40	0,402
Cca	48	31	21	7,40	221,0	1,11	0,180
Gleby płowe typowe – Haplic Luvisols							
Ap	67	25	8	5,14	84,9	8,13	0,836
Eet	66	27	7	5,27	81,1	2,04	0,387
Bt	47	29	24	5,90	157,0	1,69	0,223
Cca	52	28	22	7,21	166,0	0,97	0,169
Gleby płowe opadowo-glejowe – Stagnic Luvisols							
Ap	70	23	7	4,87	83,9	9,19	1,05
Eetg	75	20	5	4,68	59,8	2,59	0,366
EB	63	23	14	5,04	107,0	2,43	0,415
Btg	52	25	23	4,94	132,0	1,48	0,283
C	53	28	19	6,79	142,0	0,67	0,173
Gleby deluwialne – Endogleyic Cambisol							
A	56	38	6	5,58	131,0	14,0	1,42
AC	60	33	7	5,27	99,2	2,79	0,460
Cgg, G	66	25	9	6,65	106,0	0,96	0,205

KPW – kationowa pojemność sorpcyjna – CEC – cation exchangeable capacity.

W badanych glebach brunatnoziemnych i deluwialnych stwierdzono różnicowaną zawartość ogólną fosforu, potasu, wapnia, magnezu, sodu i siarki między poszczególnymi profilami glebowymi i w obrębie danego profilu (tab. 2 i 3). Pierwiastki te ułożono w następujące szeregi malejących średnich zawartości (g·kg<sup>-1</sup>): w glebach brunatnych właściwych wylugowanych Ca (13,6) > Mg (3,84) > K (2,68) > P (0,353) > Na (0,163) > S (0,103); w glebach płowych typowych Ca

(9,97) > Mg (2,55) > K (2,13) > P (0,238) > Na (0,130) > S (0,076); w glebach płowych opadowo-glejowych Ca (3,75) > K (3,17) > Mg (2,76) > P (0,344) > Na (0,103) > S (0,093); w glebach deluwialnych Ca (2,00) > K (1,13) > Mg (1,06) > P (0,235) > Na (0,121) > S (0,106) (tab. 3). Zbliżony układ makroelementów w glebach brunatnoziemnych podają Kalembasa i Majchrowska-Safaryan (2007) oraz Kalembasa i in. (2009).

Najwięcej fosforu (0,313-0,446 g·kg<sup>-1</sup>) stwierdzono w poziomach próchnicznych (Ap) badanych gleb i zawartość ta zmniejszała się w głąb profilu glebowego (tab. 2), najmniej – w poziomach wymywania (Eet) gleb płowych 0,148 i 0,169 g·kg<sup>-1</sup>. Zbliżone zawartości fosforu (0,174-0,489 g·kg<sup>-1</sup>) oraz podobne jego rozmieszczenie w profilach uprawnych gleb płowych Wysoczyzny Siedleckiej podaje Raczuk (2001). W poziomach próchnicznych gleb ornych wschodniej Polski, Raczuk (2003) zanotowała 0,273-0,438 g P·kg<sup>-1</sup> i była to zawartość około 2 krotnie mniejsza, w porównaniu z glebami innych krajów Europy. W mineralnych poziomach leśnych gleb płowych Niziny Południowopodlaskiej Pakuła i Kalembasa (2008) stwierdzili mniejszą zawartość fosforu w poziomach próchnicznych A (0,17-0,23 g·kg<sup>-1</sup>), a większą w poziomach wzbogacania Bt (0,27-0,34 g·kg<sup>-1</sup>) i skałach macierzystych C (0,38-0,48 g·kg<sup>-1</sup>).

Największą zawartość ogólną potasu (tab. 2) w glebach brunatnoziemnych stwierdzono w poziomach wzbogacania (B), gdzie wynosiła od 2,33 (gleby płowe typowe) do 3,65 g·kg<sup>-1</sup> (gleby płowe opadowo-glejowe), a najmniej w poziomach wyżej leżących (Ap, Eet) 1,08-1,20 g·kg<sup>-1</sup>. W glebach deluwialnych zawartość potasu była najmniejsza spośród analizowanych gleb (0,934-1,31 g·kg<sup>-1</sup>) i zwiększała się w głąb gleby. W poziomach ornych gleb użytków rolnych południowowschodniej Polski, Fotyma (2007) podaje, że zawartość potasu wynosiła od 0,321 (gleby bardzo lekkie) do 2,44 g·kg<sup>-1</sup> (gleby ciężkie) i zwiększała się wraz ze zwiększeniem wartości pH oraz ilości frakcji iłowej ( $\phi < 0,002$  mm). Szafranek (2000) oraz Kobierski i Dąbkowska-Naskręt (2005) stwierdzili zwiększanie się ilości potasu w głąb profilu, dowodząc, że jego podwyższona zawartość w poziomie wzbogacania gleb płowych może sugerować wpływ procesu glebotwórczego na rozmieszczenie tego składnika.

Najmniejszą zawartość wapnia i magnezu zauważono w poziomach próchnicznych gleb płowych (odpowiednio 0,839 i 0,961 g·kg<sup>-1</sup> i 0,756-0,834 g·kg<sup>-1</sup>) i zwiększała się ona w głąb profilu glebowego (tab. 2). Najwięcej tych makroelementów zanotowano w poziomach skały macierzystej gleb brunatnych właściwych i płowej typowej (27,8-32,4 g Ca·kg<sup>-1</sup>, 3,99-5,69 g Mg·kg<sup>-1</sup>). Brogowski i in. (2010a, 2010b) stwierdzili, że zawartość wapnia i magnezu zwiększa się w głąb profilu glebowego, a ich udział we frakcjach granulometrycznych jest odwrotnie proporcjonalny do średnicy frakcji. Zaobserwowali też, że w glebach brunatnoziemnych

**Tabela 2.** Profilowe rozmieszczenie wybranych makroelementów w badanych glebach Wysoczyzny Siedleckiej  
**Table 2.** Profile distribution of some macroelements in the investigated soils of the Siedlce Upland

Poziom genetyczny Genetic horizon	P (g·kg <sup>-1</sup> )	w.w.*	K (g·kg <sup>-1</sup> )	w.w.	Ca (g·kg <sup>-1</sup> )	w.w.	Mg (g·kg <sup>-1</sup> )	w.w.	Na (g·kg <sup>-1</sup> )	w.w.	S (g·kg <sup>-1</sup> )	w.w.
Gleby brunatne właściwe wylugowane – Dystric Cambisols												
Ap	0,376	1,18	1,16	0,45	1,49	0,05	0,882	0,16	0,092	0,47	0,182	2,68
Bbr	0,366	1,15	3,30	1,28	5,76	0,18	3,70	0,65	0,168	0,86	0,098	1,44
Cca	0,318	–	2,58	–	32,4	–	5,69	–	0,195	–	0,068	–
Gleby płowe typowe – Haplic Luvisols												
Ap	0,313	1,41	1,08	0,49	0,961	0,03	0,834	0,21	0,104	0,62	0,129	2,30
Eet	0,148	0,67	1,77	0,81	1,24	0,04	1,61	0,40	0,088	0,52	0,051	0,92
Bt	0,173	0,78	2,33	1,06	2,09	0,08	2,06	0,52	0,147	0,88	0,072	1,29
Cca	0,222	–	2,19	–	27,8	–	3,99	–	0,168	–	0,056	–
Gleby płowe opadowo-glejowe – Stagnic Luvisols												
Ap	0,446	1,35	1,20	0,35	0,839	0,13	0,756	0,23	0,068	0,53	0,155	2,54
Eetg	0,169	0,51	1,13	0,33	0,728	0,11	0,951	0,30	0,061	0,48	0,052	0,85
EB	0,212	0,64	2,19	0,63	1,73	0,26	2,07	0,64	0,081	0,63	0,070	1,15
Btg	0,264	0,80	3,65	1,05	2,46	0,37	3,02	0,94	0,088	0,69	0,083	1,36
C	0,331	–	3,46	–	6,62	–	3,22	–	0,128	–	0,061	–
Gleby deluwialne – Endoglejic Cambisol												
A	0,356	2,09	0,934	0,71	2,03	0,89	0,883	0,71	0,109	0,83	0,181	2,97
AC	0,174	1,02	1,07	0,82	1,53	0,67	0,952	0,76	0,120	0,92	0,082	1,34
Cgg, G	0,170	–	1,31	–	2,27	–	1,25	–	0,131	–	0,061	–

\*w.w. – wskaźnik wzbogacenia – enrichment coefficient.

około 50% zawartości ogólnej tych pierwiastków występuje we frakcji ilowej. Poziomy próchniczne gleb uprawnych ulegają zubożeniu w magnez wskutek pobierania go przez rośliny i wymywania do głębiej położonych poziomów glebowych (Szafranek 2000).

Zawartość ogólna sodu w badanych glebach była niewielka i wynosiła od 0,061 do 0,195 g·kg<sup>-1</sup> (tab. 2). Najwięcej sodu stwierdzono w poziomach skały macierzystej; większą w glebach brunatnych właściwych (0,195 g·kg<sup>-1</sup>) i płowych typowych (0,168 g·kg<sup>-1</sup>), a mniejszą – w glebach płowych opadowo-glejowych (0,128 g·kg<sup>-1</sup>) i deluwialnych (0,131 g·kg<sup>-1</sup>). Najmniej Na w glebach brunatnych właściwych (0,092 g·kg<sup>-1</sup>) i deluwialnych (0,109 g·kg<sup>-1</sup>) zanotowano w poziomach próchnicznych, a w glebach płowych – w poziomach wymywania (0,061 i 0,088 g·kg<sup>-1</sup>). Terelak i in. (1999) podają, że zawartość ogólna Na w poziomach próchnicznych gleb Polski wynosi od 0,02 do 1,11 g·kg<sup>-1</sup>. W uprawnych glebach płowych Niziny Południowopodlaskiej, Kalembasa i Majchrowska-Safaryan (2007) oraz Kalembasa i in. (2009) stwierdzili od 0,080 do 0,260 g Na·kg<sup>-1</sup>, a jego profilowe rozmieszczenie warunkował glebotwórczy proces przemywania. Podobne rozmieszczenie sodu w profilach gleb deluwialnych Wysoczyzny Siedleckiej ustaliły Kalembasa i Majchrowska-Safaryan (2007).

Siarka dominowała w poziomach próchnicznych badanych gleb (0,129-0,182 g·kg<sup>-1</sup>); najmniej było jej w poziomach wymywania Eet gleb płowych (0,051 i 0,052 g·kg<sup>-1</sup>) (tab. 2). Motowicka-Terelak i Terelak (1998, 2000) podają, że zawartość ogólna siarki w glebach Polski wynosi od 0,070 do 1,07 g·kg<sup>-1</sup> i zależy od rodzaju skały macierzystej, zawartości materii organicznej oraz nawożenia. W ornych glebach płowych Wysoczyzny Siedleckiej, Kalembasa i Godlewska (2005) stwierdziły mniej siarki (0,011-0,078 g·kg<sup>-1</sup>), której zawartość zmniejszała się wraz z głębokością.

Badania monitoringowe chemizmu gleb ornych Polski (Terelak i in. 2008) wykazały, w poziomach próchnicznych gleb, w punktach badawczych, zlokalizowanych na Wysoczyźnie Siedleckiej, zbliżoną zawartość K, Mg i S, większą – P, mniejszą Ca i Na w porównaniu do badanych gleb.

Rozmieszczenie makroelementów w profilach badanych gleb potwierdza wskaźnik wzbogacenia (w.w.), który największe wartości przyjmował w poziomach próchnicznych – dla P (1,18-2,09) i S (2,30-2,97) oraz w poziomach wzbogacania – dla K (1,05-1,28) i S (1,29-1,44) (tab. 2). Wysokie wartości wskaźnika (powyżej jedności) w tych poziomach wynikają z akumulacji biologicznej (powiązanej z biogeochemicznym obiegiem pierwiastków, a zwłaszcza węgla w agroekosystemach), specyfiki procesu glebotwórczego oraz małej zasobności skały macierzystej w badane pierwiastki. Niskie wartości wskaźnika wzbogacania (poniżej jedności) w poziomach powierzchniowych dla wapnia (0,03-0,89), magnezu (0,16-0,71), potasu (0,35-0,71) i sodu (0,47-0,83) wynikają z możliwości pobrania tych

pierwiastków przez rośliny, wymywania w głąb gleby na skutek zstępującego ruchu wody opadowej i dużej zasobności skały macierzystej w te pierwiastki.

**Tabela 3.** Zawartość ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) ogólna wybranych makroelementów w badanych glebach Wysoczyzny Siedleckiej

**Table 3.** Total content ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) of some macroelements in the investigated soils of the Siedlce Upland

Parameter statystyczny Statistical parameter	P	K	Ca	Mg	Na	S
Gleby brunatne właściwe wylugowane – Dystric Cambisols						
Średnia – Mean	0,353	2,68	13,6	3,84	0,163	0,103
Min	0,191	0,670	0,400	0,611	0,130	0,042
Max	0,870	4,33	55,0	10,5	0,268	0,266
*SD	0,14	1,02	16,8	2,43	0,25	0,06
**RSD	38,8	38,0	123,3	63,1	34,7	54,1
Gleby płowe typowe – Haplic Luvisols						
Średnia – Mean	0,238	2,13	9,97	2,55	0,130	0,076
Min	0,070	0,742	0,189	0,551	0,054	0,040
Max	0,358	3,36	46,1	6,62	0,230	0,230
*SD	0,08	0,92	14,4	1,67	0,04	0,04
**RSD	32,5	43,0	144,0	65,5	31,1	52,6
Gleby płowe opadowo-glejowe – Stagnic Luvisols						
Średnia – Mean	0,344	3,17	3,75	2,76	0,103	0,093
Min	0,092	0,473	0,302	0,389	0,019	0,03
Max	0,480	8,52	12,8	5,40	0,230	0,264
*SD	0,12	1,96	3,16	1,28	0,05	0,05
**RSD	36,3	62,0	84,3	46,3	46,2	57,6
Gleby deluwialne – Endogleyic Cambisol						
Średnia – Mean	0,235	1,13	2,00	1,06	0,121	0,106
Min	0,050	0,121	0,422	0,274	0,60	0,04
Max	0,570	2,97	5,70	2,55	0,170	0,240
*SD	0,14	0,72	1,29	0,69	0,03	0,06
**RSD	59,9	63,3	64,3	64,5	22,5	60,7
Suma badanych gleb – All of investigated soils						
Średnia – Mean	0,292	2,27	7,33	2,56	0,129	0,094
Min	0,050	0,120	0,190	0,270	0,019	0,030
Max	0,870	8,52	55,0	10,5	0,270	0,270
*SD	0,13	1,61	10,7	1,77	0,05	0,05
**RSD	41,3	62,3	157,8	62,2	43,3	54,8

\*SD – odchylenie standardowe, standard deviation; \*\*RSD – współczynnik zmienności, relative standard deviation.



Analiza korelacji uzyskanych wyników wykazała wiele zależności korelacyjnych pomiędzy badanymi parametrami (tab. 4). W badanych glebach stwierdzono istotną dodatnią i ujemną, zależność pomiędzy zawartością ogólną większości makroelementów (z wyjątkiem sodu). W glebach tych zanotowano także istotny wpływ: odczynu gleby na zawartość ogólną Ca (0,41) i Mg (0,30); kationowej pojemności sorpcyjnej gleby (KPW) – na zawartość ogólną N (–0,29), K (0,31), Ca (0,47), Mg (0,56), Na (0,37); węgla związków organicznych ( $C_{org}$ ) – na zawartość ogólną N (0,63), P (0,45), K (–0,37), Ca (–0,25), Mg (–0,42) i S (0,65) oraz frakcji ilowej ( $\phi < 0,002$  mm) – na zawartość ogólną N (–0,45), K (0,48), Ca (0,35), Mg (0,52), Na (0,36) i S (0,27).

**Tabela 4.** Współczynniki korelacji prostej ( $n = 156$ ) pomiędzy zawartością ogólną makroelementów i wybranymi właściwościami badanych gleb ornych Wysoczyzny Siedleckiej

**Table 4.** Correlation coefficients ( $n = 156$ ) between total content of macroelements and some properties of investigated arable soils of the Siedlce Upland

	N	P	K	Ca	Mg	Na	S
N	1						
P	0,46**	1					
K	–0,36**	n.i.	1				
Ca	–0,26**	0,35**	n.i.	1			
Mg	–0,41**	0,19*	0,62**	0,76**	1		
Na	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	1	
S	0,73**	0,30**	n.i.	–0,18*	–0,31**	n.i.	1
pH	n.i.	n.i.	n.i.	0,41**	0,30**	n.i.	n.i.
KPW, CEC	–0,29**	n.i.	0,31**	0,47**	0,56**	0,37**	n.i.
Corg	0,63**	0,45**	–0,37**	–0,25**	–0,42**	n.i.	0,65**
II; clay	–0,45**	n.i.	0,48**	0,35**	0,52**	0,36**	–0,27**

Istotne przy:  $\alpha = 0,05^*$  i  $\alpha = 0,01^{**}$  – significant at  $\alpha = 0,05^*$  and  $\alpha = 0,01^{**}$ ; n.i. – nie istotne – not significant, II – frakcja ilowa o  $\phi < 0,002$  mm, clay – clay fraction on  $\phi < 0,002$  mm; KPW – kationowa pojemność sorpcyjna, CEC – cation exchangeable capacity.

Analiza korelacji wykazała silniejsze związki korelacyjne pomiędzy zawartością N, P, Ca, Mg, K i S w poziomach próchnicznych (przy  $\alpha = 0,01$ ), niż w poziomach wymywania Eet (przy  $\alpha = 0,05$ ) oraz istotny (przy  $\alpha = 0,01$ ) wpływ  $C_{org}$  na zawartość N, P i S. W poziomach wzbogacania i skały macierzystej badanych gleb stwierdzono istotne (przy  $\alpha = 0,01$ ) wzajemne zależności pomiędzy zawarto-

ścią P, Ca, Mg i K, istotny wpływ (przy  $\alpha = 0,05$ ) ilości frakcji ilowej na zawartość Ca, Mg, Na i S, a także odczynu gleby na zawartość Ca i Mg oraz wartości KPW na ilość Na i S.

Istotne zależności korelacyjne pomiędzy zawartością ogólną P, K, Ca, Mg, Na i S oraz istotny wpływ właściwości gleby (pH, węgla związków organicznych, kationowej pojemności sorpcyjnej, frakcji ilowej) na zawartość makroelementów w glebach brunatnoziemnych i deluwialnych podają Szafranek (2000), Kobierski i Dąbkowska-Naskręt (2005), Fotyma (2007), Kalembasa i Godlewska (2008), Kalembasa i in. (2009).

#### WNIOSKI

1. W badanych glebach brunatnoziemnych i deluwialnych Wysoczyzny Siedleckiej stwierdzono zróżnicowaną zawartość ogólną fosforu, potasu, wapnia, magnezu, sodu i siarki między poszczególnymi profilami glebowymi i w obrębie danego profilu. Pierwiastki te ułożono w następujące szeregi malejących średnich wartości: w glebach brunatnych właściwych wyługowanych i płowych typowych  $Ca > Mg > K > P > Na > S$ ; w glebach płowych opadowo-glejowych i deluwialnych  $Ca > K > Mg > P > Na > S$ .

2. Najwięcej P, Ca, Mg i Na zaobserwowano w glebach brunatnych właściwych wyługowanych, K – w glebach płowych opadowo-glejowych, a S – w glebach deluwialnych.

3. Profilowe rozmieszczenie badanych makroelementów różnicowały procesy geologiczne, glebotwórcze oraz działalność rolnicza. Najwięcej P i S zanotowano w poziomach próchnicznych, K – w poziomach wzbogacania i skał macierzystych, Ca, Mg i Na – w skałach macierzystych.

4. Obliczenia statystyczne wykazały współzależność pomiędzy zawartością większości analizowanych makroelementów oraz istotny wpływ wybranych właściwości gleby (pH,  $C_{org}$ , KPW, frakcji ilowej) na rozmieszczenie tych pierwiastków w badanych glebach.

#### PIŚMIENNICTWO

- Brogowski Z., Uziak S., Komornicki T., 2010a. Quantitative distribution of total calcium in granulometric fractions of certain soils of Poland. *Polish J. Soil Sci.*, 43, 1, 21-35.
- Brogowski Z., Uziak S., Komornicki T., 2010b. Quantitative magnesium distribution in granulometric fractions of some soils. *Polish J. Soil Sci.*, 43, 2, 151-164.
- Fotyma M., 2007. Content of potassium in different forms in the soils of South-East Poland. *Polish J. Soil Sci.*, 40, 1, 19-32.
- Kalembasa D., 1997. Wykorzystanie warunków glebowych województwa siedleckiego w strategii rozwoju gospodarki żywnościowej. *Zesz. Nauk. WSRP w Siedlcach*, 49, 27-40.

- Kalembasa D., Godlewska A., 2005. Zawartość siarki całkowitej i siarczanowej w glebach położonych wzdłuż obwodnicy siedleckiej. *J. Elementol.*, 10(2), 303-308.
- Kalembasa D., Majchrowska-Safaryan A., 2007. Degradacja gleb na stoku morenowym Wysoczyzny Siedleckiej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 520, 83-92.
- Kalembasa D., Pakuła K., Jaremko D., 2011. Sorpcyjne właściwości gleb Wysoczyzny Siedleckiej. *Acta Agrophysica*, 18(2), 311-319.
- Kalembasa D., Pakuła K., 2009. Chrom w sekwencyjnie wydzielonych frakcjach z gleb brunatnoziemnych Wysoczyzny Siedleckiej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 542, 721-728.
- Kalembasa D., Pakuła K., Rzymowski D., 2009. Oddziaływanie osadu ściekowego na zawartość wybranych pierwiastków i właściwości gleby płowej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 535, 201-208.
- Kalembasa, S., Kalembasa, D. 1992. The quick method for the determination of C:N ratio in mineral soils. *Polish J. Soil Sci.*, 25, 1, 41-46.
- Kobierski M., Dąbkowska-Naskręt H., 2005. Potas w zróżnicowanych typologicznie glebach Równiny Inowrocławskiej. *Nawozy i Nawożenie*, 3(24), 172-181.
- Kondracki J., 2002. *Geografia regionalna Polski*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Motowicka-Terelak T., Terelak H., 1998. Siarka w glebach Polski - stan i zagrożenie. *Biblioteka Monitoringu Środowiska*, Warszawa, 106 ss.
- Motowicka-Terelak T., Terelak H., 2000. Siarka w glebach i roślinach Polski. *Folia Univ. Agric. Stetin.* 204, *Agricultura*, 81, 7-16.
- Pakuła K., Kalembasa D., 2008. Frakcje fosforu w leśnych glebach pływowych Niziny Południowopodlaskiej. *Rocz. Glebozn.*, 59, 161-166.
- Polskie Towarzystwo Gleboznawcze 2009. *Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych – PTG 2008*. *Rocz. Glebozn.*, 60, 2, 5-16.
- Raczuk J., 2001. Rozmieszczenie mineralnych związków fosforu w glebach pływowych Wysoczyzny Siedleckiej. W: *Związki fosforu w chemii, rolnictwie, medycynie*. Wyd. AE we Wrocławiu, 229-237.
- Raczuk J., 2003. Fosfor, żelazo oraz pierwiastki śladowe w poziomach próchnicznych gleb ornych Polski Wschodniej oraz wybranych krajów Europy. W: *Obieg pierwiastków w przyrodzie*. Monografia, II, Wyd. IOŚ w Warszawie, 135-140.
- Szafranek A., 2000. Właściwości oraz przydatność rolnicza gleb pływowych i rdzawych Wysoczyzny Kałuszyńskiej. *Rozprawy Naukowe i Monografie*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 135 s.
- Terelak H., Motowicka-Terelak T., Pondel H., Maliszewska-Kordybach B., Pietruch Cz., 1999. *Monitoring chemizmu gleb Polski*. Program badań i wyniki wstępne. *Biblioteka Monitoringu Środowiska*, Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, Wyd. IUNG Puławy, 70 s.
- Terelak H., Stuczyński T., Motowicka-Terelak T., Maliszewska-Kordybach B., Pietruch Cz., 2008. *Monitoring chemizmu gleb ornych Polski w latach 2005-2007*. *Biblioteka Monitoringu Środowiska*, Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa, 135 s.

## MACROELEMENTS IN ARABLE SOILS OF THE SIEDLCE UPLAND

*Krzysztof Pakuła, Dorota Kalembasa*

Department of Soil Science and Agricultural Chemistry,  
University of Natural Sciences and Humanities in Siedlce  
ul. Prusa 14, 08-110 Siedlce  
email: kalembasa@uph.edu.pl

**Abstract.** The aim of the study was to examine the contents of total phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sodium and sulphur and their distribution in type-differentiated 30 arable soil profiles on the Siedlce Upland (Dystric Cambisols, Haplic Luvisols, Stagnic Luvisols, Endogleyic Cambisols). In the investigated soils a variation was observed in the total content of phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sodium and sulphur in particular soil profiles and genetic horizons in these profiles. The content of the macroelements could be presented in the order of decreasing values ( $\text{g kg}^{-1}$ ): in Dystric Cambisols and Haplic Luvisols  $\text{Ca} (9.97-13.6) > \text{Mg} (2.55-3.84) > \text{K} (2.13-2.68) > \text{P} (0.238-0.353) > \text{Na} (0.130-0.163) > \text{S} (0.076-0.103)$ ; in Stagnic Luvisols, and Endogleyic Cambisols  $\text{Ca} (2.00-3.75) > \text{K} (1.13-3.17) > \text{Mg} (1.06-2.76) > \text{P} (0.235-0.344) > \text{Na} (0.103-0.121) > \text{S} (0.093-0.106)$ . The highest values of P, Ca, Mg and Na were determined in Dystric Cambisols, K – in Stagnic Luvisols, and S – in Endogleyic Cambisols. Profile distribution of analysed elements was differentiated by geological and soil forming processes, and anthropogenic activities (including agricultural). The highest content of P and S were determined in the humus horizons, K – in the enriched horizons, Ca, Mg, and Na – in the parent rock ones. Statistical analysis proved significant correlations (positive and negative) between N, P, K, Ca, Mg and S, and influence of some properties of soils (pH, Corg, CEC, clay fraction) on the accumulation and distribution of analysed macroelements in investigated soil profiles.

**Key words:** macroelements, Cambisols, Luvisols, the Siedlce Upland