

WPLYW NAWOŻENIA NA ZAWARTOŚĆ MOBILNYCH FORM  
WYBRANYCH MIKROELEMENTÓW W GLEBIE  
ORAZ ICH WYMYWANIE W DOŚWIADCZENIU WAZONOWYM

*Krzysztof Gondek*

Katedra Chemii Rolnej, Uniwersytet Rolniczy  
Al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków  
e-mail: rrgondek@cyf-kr.edu.pl

**Streszczenie.** Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu zastosowanego nawożenia mineralnego, odpadem po produkcji siarczanu magnezu oraz wapnowania na zawartość wybranych mikroelementów w odciekach glebowych. Badania prowadzono w 3 letnim okresie (2004-2006), w wazonach wyposażonych w system do odprowadzania odcieków glebowych, mieszczących 22 kg powietrznie suchego materiału glebowego. W glebie nie wapnowanej zawartość mobilnych form miedzi, cynku i manganu była większa. Wapnowanie zmniejszyło zawartość mobilnych form badanych mikroelementów oraz spowolniło proces zakwaszenia gleby. Spośród badanych pierwiastków w największych ilościach, zarówno z gleby nie wapnowanej jak i wapnowanej wymywany był cynk, a najmniej w odciekach glebowych oznaczono miedzi. W warunkach przeprowadzonych badań istotny wpływ na wymywanie badanych mikroelementów miał odczyn gleby, a wapnowanie na ogół istotnie zmniejszyło zawartość, miedzi, cynku i manganu w odciekach glebowych.

**Słowa kluczowe:** gleba, nawożenie, mikroelementy, wymywanie

WSTĘP

Wśród składników mineralnych suchej masy roślin znajdują się zarówno pierwiastki niezbędne dla ich wzrostu i rozwoju, jak i o nieznanych dotąd funkcjach fizjologicznych oraz zbyteczne czy wręcz szkodliwe. W produkcji rolniczej uzyskanie wysokiego plonu dobrej jakości jest uwarunkowane nie tylko odpowiednim zaopatrzeniem rośliny uprawnej w makroelementy, ale również pokryciem jej zapotrzebowania na mikroelementy. Pierwiastki te wpływają bowiem między innymi na efektywność wykorzystania azotu, fosforu i pozostałych makroskładników przez rośliny (Stanisławska-Głubiak i Korzeniowska 2007).

W wyniku drastycznego, w ostatnim czasie zmniejszenia się ilości stosowanego obornika, zużycia nawozów mineralnych zawierających tzw. balast, ograniczenia ilości emisji zanieczyszczeń przemysłowych, a także strat wynikających z wymywania istnieje możliwość występowania niedoborów mikroelementów w glebach.

Czynnikami, głównie decydującymi o dostępności mikroelementów dla roślin są właściwości chemiczne każdego pierwiastka oraz właściwości gleby (Basta i in. 2005). Pogarszające się właściwości gleby spowodowane nie zrównoważonym nawożeniem prowadzą do zmian dostępności składników pokarmowych, w tym mikroelementów, których jony mogą migrować w głąb profilu glebowego, a w efekcie do wód podziemnych powodując ich zanieczyszczenie (Ruszkowska i in. 1989).

Określenie strat mikroelementów z gleby na drodze wymywania jest nie tylko istotne dla zapewnienia ich optymalnego poziomu dla roślin, ale może być istotnym czynnikiem obciążającym środowisko naturalne, a szczególnie zasoby wodne. Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu zastosowanego nawożenia mineralnego, odpadem po produkcji siarczanu magnezu oraz wapnowania na zawartość wybranych mikroelementów w odciekach glebowych.

#### MATERIAŁ I METODY

Ocenę zawartości mobilnych form miedzi, cynku i manganu w glebie oraz ich ilości wymywanych przeprowadzono w hali wegetacyjnej w wazonach wyposażonych w system do odprowadzania odcieków. Do badań użyto materiału glebowy (glinę średnią pylastą zawierającą 44% frakcji granulometrycznej o średnicy > 0,02 mm) pobrany z warstwy 0-30 cm użytku ornego. Charakterystykę wybranych właściwości chemicznych materiału glebowego podano w tabeli 1.

Badania prowadzono w 3 letnim okresie (2004-2006), w wazonach z tworzywa sztucznego o średnicy 28 cm i wysokości 38 cm, mieszczących 22 kg powietrznie suchego materiału glebowego. Doświadczenie obejmowało 4 obiekty w trzech powtórzeniach i dwóch seriach, nie wapnowanej (0 Ca) i wapnowanej (+ Ca): gleba bez nawożenia – (0), gleba nawożona azotem, fosforem i potasem – (NPK), gleba nawożona azotem, fosforem, potasem i siarką – (NPKS), gleba nawożona azotem, fosforem, potasem oraz odpadem po produkcji siarczanu magnezu – (NPK,,O’’).

Przed założeniem doświadczenia glebę stopniowo nawilżano doprowadzając ją do wilgotności 30% maksymalnej pojemności wodnej. Po nawilżeniu część materiału glebowego zwapnowano, w celu podwyższenia pH, w każdym wazonie oddzielnie. Zabieg ten przeprowadzono przy użyciu czystego chemicznie CaO ustalając dawkę na podstawie kwasowości hydrolitycznej gleby. Następnie materiał glebowy niezwapnowany i zwapnowany pozostawiono na 4 tygodnie, uzupełniając okresowo straty wody. Po tym czasie wprowadzono nawożenie mine-

ralne oraz odpad po produkcji siarczanu magnezu, i wymieszano je z glebą. Zawartość suchej masy w badanym odpadzie wynosiła  $630 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , azotu ogólnego  $0,09 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m., a przewodność elektrolityczna wynosiła  $14,9 \text{ m S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Pozostałe właściwości chemiczne odpadu przedstawiono w tabeli 1. Dawka azotu wynosiła  $0,14 \text{ g N}$ , fosforu  $0,10 \text{ g P}$ , potasu  $0,15 \text{ g K}$ , a siarki  $0,04 \text{ g S}\cdot\text{kg}^{-1}$  s. m. gleby. Nawożenie podstawowe w obiektach (NPK), oraz (NPKS) oraz uzupełniające w obiekcie (NPK"O") zastosowano w formie roztworów czystych chemicznie soli, odpowiednio: N –  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , P –  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2\cdot\text{H}_2\text{O}$ , K – KCl, S –  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ .

**Tabela 1.** Wybrane właściwości chemiczne gleby i odpadu użytego w doświadczeniu  
**Table 1.** Selected chemical properties of soil and waste used in experiment

Oznaczenie Determination	Gleba Soil	Oznaczenie Determination	Odpad Waste
pH H <sub>2</sub> O	6,33	pH H <sub>2</sub> O	9,53
pH KCl	5,70	Sucha masa Dry matter ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	630
Hh ( $\text{mmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. – d.m.)	23,9	Popiół – Ash ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. - d.m.)	726
Material organiczna – Organic matter ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. – d.m.)	58,9	Formy ogólne – Total forms ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. – d.m.)	
Cu ogólna – Total Cu ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. – d.m.)	8,12	Cu	4,93
Zn ogólny – Total Zn ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. – d.m.)	89,5	Zn	34,8
Mn ogólny – Total Mn ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. – d.m.)	1567	Mn	2606

Rośliną uprawianą w każdym roku doświadczenia była pszenica jara odmiany „Nawra”. Obsada roślin w wazonie wynosiła 28 sztuk. W roku drugim i trzecim azot, fosfor i potas zastosowano w formie roztworów czystych chemicznie soli: N- $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ; P- $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  oraz K-KCl. Uzupełniające dawki składników nawozowych, oprócz siarki w drugim i trzecim roku były jednakowe i wynosiły:  $0,10 \text{ g N}$ ;  $0,02 \text{ g P}$  oraz  $0,14 \text{ g K}\cdot\text{kg}^{-1}$  s. m. gleby. Ze względu na możliwy efekt następczego działania nawozowego siarki zawartej w badanym odpadzie zaniechano uzupełniającego nawożenia tym pierwiastkiem. Pszenicę zbierano w fazie dojrzałości pełnej ziarna. Długość okresu wegetacji roślin wynosiła: w pierwszym roku 109 dni; w drugim 104 dni, a w trzecim roku 96 dni. Podczas trwania eksperymentu rośliny podlewano wodą destylowaną do 50% maksymalnej pojemności wodnej gleby.

W okresie wegetacji, w odstępach 30-dniowych, przemyto wodą destylowaną bryłę glebową w lizymetrowazonie, symulując opad w wysokości 36 mm. Uzyskane przesącze glebowe zbierano z każdego przemycia i przechowywano w temperaturze 4°C.

W przesączach, nie utrwalonych oznaczono pH – potencjometrycznie, przewodność elektrolityczną (EC) – konduktometrycznie. W materiale utrwalonym, po odparowaniu odcieku i roztworzeniu pozostałości w rozcieńczonym kwasie azotowym 1:2 (v/v) oznaczono zawartość miedzi, cynku i manganu metodą ICP-AES.

W materiale glebowym, pobranym po każdym zakończonym sezonie wegetacji roślin (wysuszonym i przesianym przez sito o średnicy oczek 1 mm) oznaczono odczyn w zawiesinie gleby i roztworu KCl o stężeniu 1 mol·dm<sup>-3</sup> – potencjometrycznie (Ostrowska i in. 1991) oraz zawartość mobilnych form badanych mikroelementów po ekstrakcji roztworem NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> o stężeniu 1 mol·dm<sup>-3</sup> (Del Casthilo i Rix 1992). W uzyskanych ekstraktach zawartość miedzi, cynku i manganu oznaczono metodą ICP-AES na aparacie JY 238 Ultrace, a uzyskane zawartości przeliczono na suchą masę (105°C przez 12 godz.).

Analizy odcieków glebowych i materiału glebowego prowadzono w trzech powtórzeniach, a wynik uznawano za wiarygodny, jeżeli względny błąd oznaczenia nie przekraczał 5%. Dla weryfikacji uzyskanych wyników gleby wyjściowej i materiału odpadowego do serii analitycznej dołączono próbkę glebową materiału referencyjnego *EnviroMAT*, SS-2 (SCP Science).

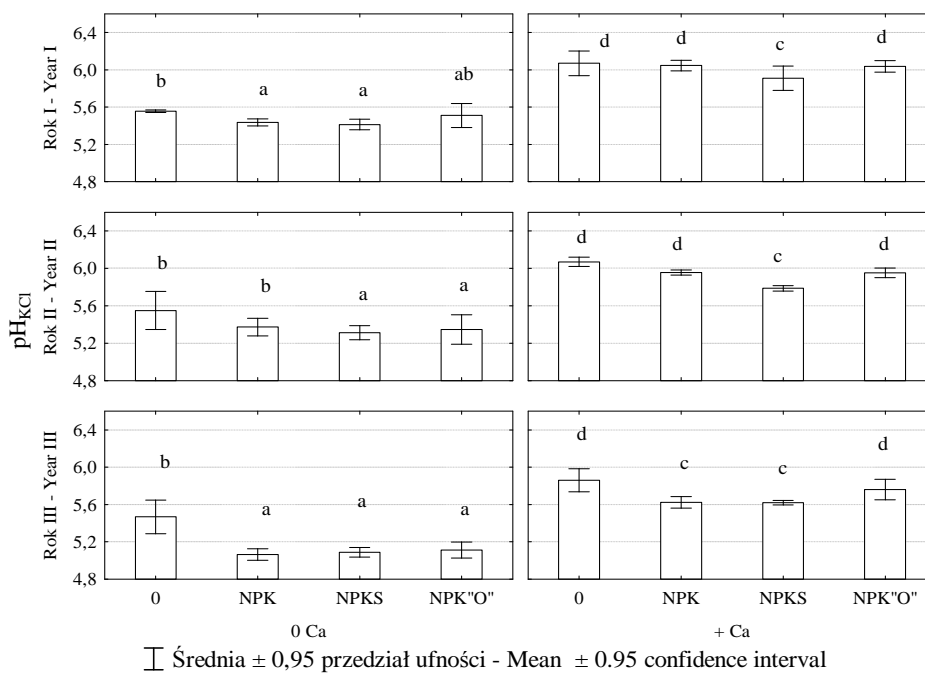
Uzyskane wyniki opracowano statystycznie według modelu stałego gdzie czynnikiem było nawożenie i wapnowanie. W obliczeniach statystycznych uwzględniono analizę wariancji dwuczynnikową, a istotność różnic oszacowano testem t-Tukeya, przy poziomie istotności  $\alpha < 0,05$  (Stanisz 1998). Dla scharakteryzowania zmian zawartości badanych pierwiastków w odciekach glebowych pomiędzy poszczególnymi latami badań obliczono odchylenie standardowe (SD) oraz współczynnik zmienności (V%).

## WYNIKI I DYSKUSJA

### pH i zawartość mobilnych form mikroelementów w glebie

Wartości pH zmierzone w zawiesinie gleby i KCl o stężeniu 1 mol·dm<sup>-3</sup>, po pierwszym roku badań mieściły się w przedziale, dla gleby z serii nie wapnowanej (0 Ca) od 5,41 do 5,56, a dla gleby z serii wapnowanej (+ Ca) od 5,91 do 6,07 (rys. 1). Wapnowanie spowodowało istotne zwiększenie wartości pH gleby (Ruszkowska i in. 1996a, Strączyńska 1998). Niezależnie od serii doświadczenia (0 Ca, + Ca) i nawożenia w kolejnych latach badań wartości pH gleby z poszczególnych obiektów sukcesywnie się zmniejszały, przy czym wapnowanie spowol-

niło proces zakwaszenia. Najmniejsze zakwaszenie stwierdzono w glebie z obiektów nie nawożonych, obu serii. Zastosowanie do nawożenia odpadu po produkcji siarczanu magnezu (NPK"O") spowodowało istotne zwiększenie wartości pH w glebie serii wapnowanej (+ Ca) w porównaniu do wartości pH gleby nawożonej azotem, fosforem, potasem i siarką (NPKS). Niekorzystny wpływ nawożenia mineralnego, zwłaszcza niezrównoważonego na pH gleby jest zjawiskiem dobrze udokumentowanym w literaturze przedmiotu (Dechnik 1987, Kuszelewski i Łąbetowicz 1991, Kaniuczak 1994, Kaniuczak 1998). W warunkach kwaśnego odczynu gleby zwiększa się dostępność mobilność pierwiastków śladowych, w tym mikroelementów, co z jednej strony zwiększa ich bioprzyswajalność, ale może również przyczynić się do większego ich przemieszania w głąb profilu glebowego, a w efekcie ich wymycia.

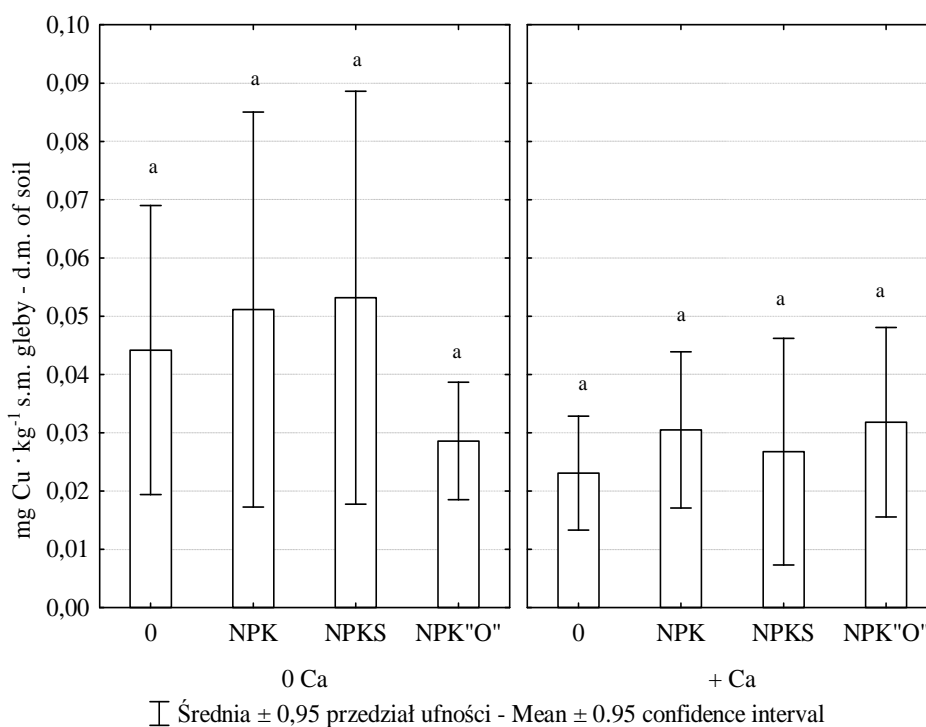


**Rys. 1.** Odczyn Wartość (pH) gleby. Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy  $\alpha < 0,05$  według testu Tukeya; czynniki: nawożenie  $\times$  wapnowanie

**Fig. 1.** Reaction Value(pH) of soil pH. Means followed by the same letters do not differ significantly at  $\alpha < 0.05$  according to the Tukey test; factors: fertilization  $\times$  liming

Średnia (z trzech lat) zawartość mobilnych form miedzi w glebie była niewielka, a wapnowanie, pomimo braku istotności spowodowało zmniejszenie zawartości mobilnych form tego pierwiastka w glebie (poza glebą do której na tle

nawożenia mineralnego wprowadzono odpad po produkcji siarczanu magnezu NPK"O") (rys. 2). Stosunkowo mała mobilność miedzi w glebie mogła wynikać z jej silnej sorpcji, przez minerały ilaste, tlenki i hydroksytlenki metali, a wreszcie przez substancję organiczną gleby, która ma największe znaczenie dla sorpcji tego pierwiastka (Swift i McLaren 1991, Gondek i Kopeć 2004).

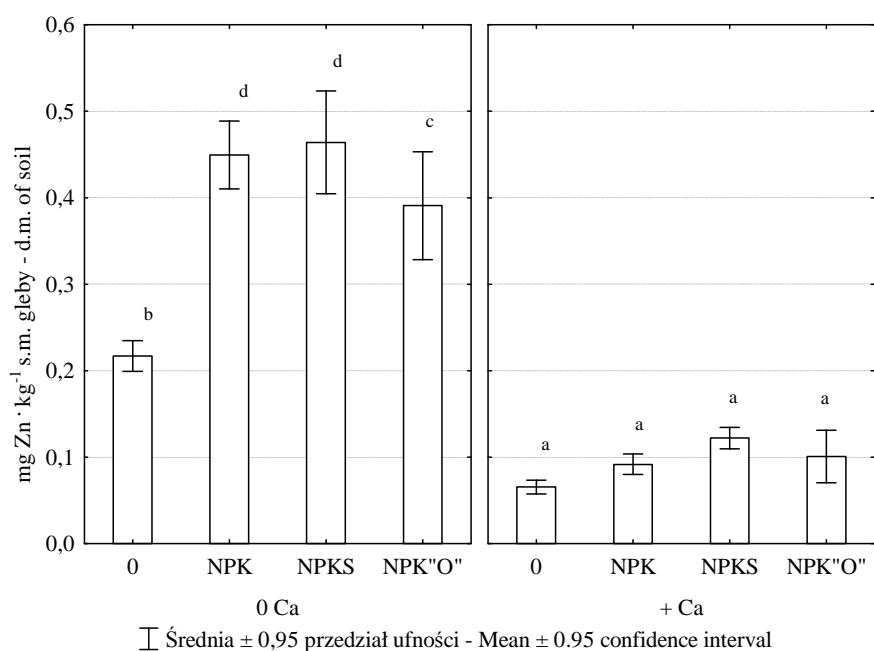


**Rys. 2.** Zawartość mobilnych form miedzi w glebie. Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy  $\alpha < 0,05$  według testu Tukeya; czynniki: nawożenie  $\times$  wapnowanie

**Fig. 2.** Content of mobile forms of copper in soil. Means followed by the same letters do not differ significantly at  $\alpha < 0.05$  according to the Tukey test; factors: fertilization  $\times$  liming

Istotnie zwiększyła się zawartość mobilnych form cynku w glebie serii nie-wapnowanej (0 Ca) obiektów, w których zastosowano nawożenie w porównaniu do zawartości oznaczonej w glebie obiektu bez nawożenia (rys. 3). W glebie obiektu, w którym zastosowano odpad po produkcji siarczanu magnezu, na tle nawożenia mineralnego (NPK"O") zawartość mobilnych form cynku była istotnie mniejsza od zawartości oznaczonych w glebie obiektów nawożonych azotem, fosforem i potasem (NPK) oraz dodatkowo siarką (NPKS) tej serii. Wapnowanie istotnie zmniejszyło zawartość mobilnych form cynku, przy braku istotnego zróżnicowania pomiędzy poszczególnymi obiektami, w obrębie serii (+ Ca). Przemiany

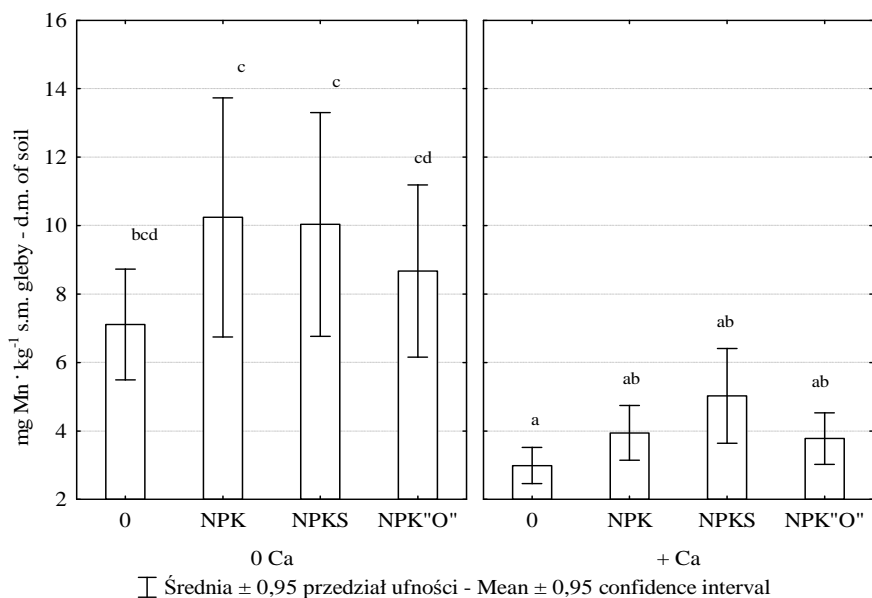
i dostępność cynku są uwarunkowane właściwościami gleby, a także właściwościami chemicznymi tego pierwiastka. Jakubus i in. (1996) wykazali, że odczyn gleby miał istotny wpływ na zawartość cynku we frakcjach najbardziej mobilnych. Ponadto cytowani autorzy stwierdzili, że nawożenie mineralne, w porównaniu do nawożenia obornikiem zwiększyło udział, badanych pierwiastków we frakcjach najbardziej dostępnych dla roślin, co znajduje wytłumaczenie w większym zakwaszeniu gleby.



**Rys. 3.** Zawartość mobilnych form cynku w glebie. Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy  $\alpha < 0,05$  według testu Tukeya; czynniki: nawożenie  $\times$  wapnowanie

**Fig. 3.** Content of mobile forms of zinc in soil. Means followed by the same letters do not differ significantly at  $\alpha < 0.05$  according to the Tukey test; factors: fertilization  $\times$  liming

Najwięcej spośród badanych mikroelementów w glebie oznaczono mobilnych form manganu (rys. 4). Większe zakwaszenie gleby niewapnowanej istotnie sprzyjało zawartości mobilnych form tego pierwiastka. Stwierdzono, niezależnie od zastosowanego nawożenia o ponad 100% więcej mobilnych form manganu w glebie serii niewapnowanej w porównaniu do zawartości w glebie serii wapnowanej. Również Ruskowska i in. (1996b), Jakubus i in. (1996) oraz Gondek (2008) wykazali, że odczyn gleby miał istotny wpływ na zawartość mobilnych form manganu w glebie.



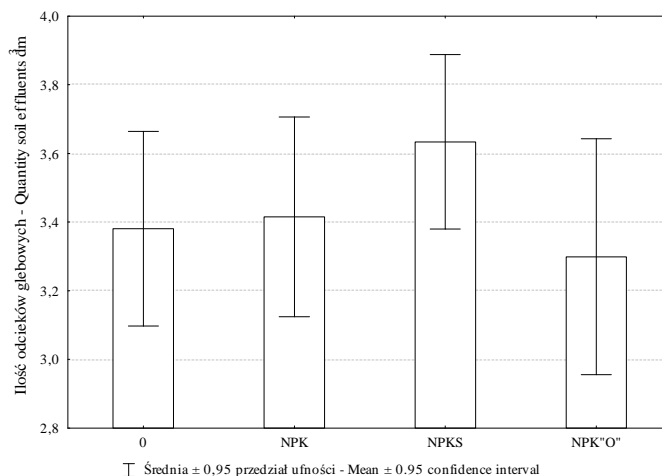
**Rys. 4.** Zawartość mobilnych form manganu w glebie. Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy  $\alpha < 0,05$  według testu Tukeya; czynniki: nawożenie  $\times$  wapnowanie  
**Fig. 4.** Content of mobile forms of manganese content in soil. Means followed by the same letters do not differ significantly at  $\alpha < 0.05$  according to the Tukey test; factors: fertilization  $\times$  liming

### pH i zawartość wybranych mikroelementów w odciekach glebowych

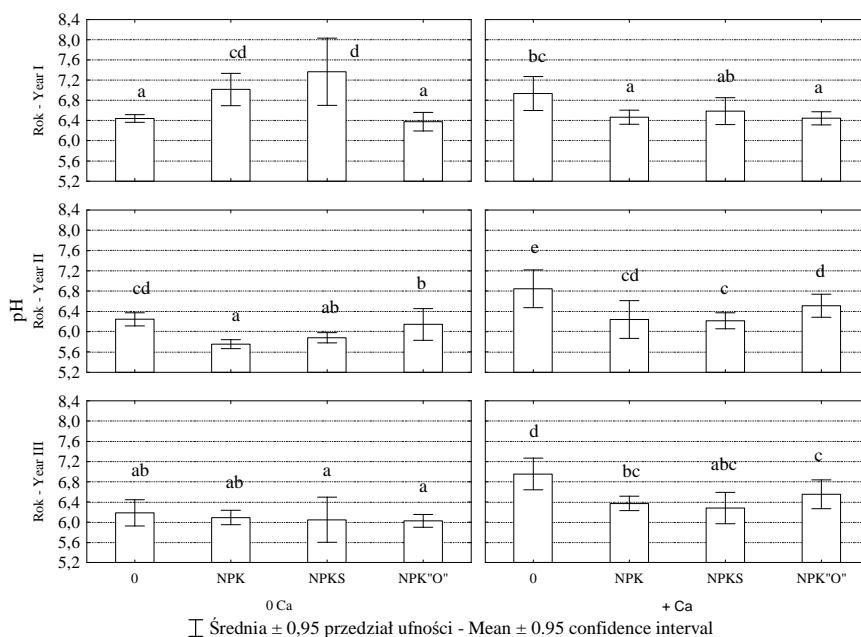
Ilości odcieków glebowych uzyskane w poszczególnych obiektach były zróżnicowane (rys. 5). Niezależnie od roku badań i serii najwięcej odcieków glebowych uzyskano w obiekcie, w którym zastosowano nawożenie azotem, fosforem i potasem (NPK), jak również siarką (NPKS), najmniej zaś w obiekcie, w którym na tle nawożenia czystymi chemicznie solami mineralnymi azotu, fosforu i potasu zastosowano odpad po produkcji siarczanu magnezu (NPK,,O").

Wartości pH odcieków glebowych, po pierwszym roku badań, w obiektach (NPK) i (NPKS) były większe w serii nie wapnowanej (0 Ca), w porównaniu do wartości pH oznaczonego w odciekach glebowych z obiektów nie nawożonego (0) i nawożonych odpadem po produkcji siarczanu magnezu na tle nawożenia mineralnego (NPK,,O") (rys. 6). Większe wartości pH odcieków glebowych z obiektów nawożonych (NPK) oraz (NPKS) wynikały ze znacznie większej w nich zawartości wapnia i magnezu, głównie po pierwszym roku badań. Istotnie mniejsze wartości pH odcieków glebowych w dwóch kolejnych latach badań, niezależnie od zastosowanego nawożenia stwierdzono w obiektach z serii nie wapnowanej (0 Ca).





**Rys. 5.** Ilość odcieków glebowych, średnia dla 3 lat i dwóch serii (0 Ca, + Ca)  
**Fig. 5.** Quantity of soil effluents, mean for 3 years and two series (0 Ca, + Ca)



**Rys. 6.** Odczyn (Wartość pH) odcieków glebowych w poszczególnych latach badań. Średnie oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie przy  $\alpha < 0,05$  według testu Tukeya; czynniki: nawożenie  $\times$  wapnowanie  
**Fig. 6.** Reaction Value (pH) of soil effluents pH in each year of investigations. Means followed by the same letters do not differ significantly at  $\alpha < 0.05$  according to the Tukey test; factors: fertilization  $\times$  liming

Spośród badanych mikroelementów najmniejszą mobilnością w glebie charakteryzowała się miedź, co znalazło odzwierciedlenie w koncentracji tego pierwiastka w odciekach glebowych (tab. 2). Nawożenie niezależnie od serii doświadczenia (0 Ca, + Ca) nie zwiększyło zawartości miedzi w odciekach glebowych, w porównaniu do zawartości tego pierwiastka w odciekach z obiektów nie nawożonych. Wyliczone wartości współczynnika zmienności charakteryzujące zróżnicowanie wymycia tego składnika w poszczególnych latach były największe dla obiektów nie nawożonych.

Cynk spośród badanych mikroelementów był składnikiem wymywanym w największych ilościach (tab. 2). W glebie z obiektów, w których zastosowano nawożenie azotem, fosforem i potasem (NPK) oraz azotem, fosforem, potasem i siarką (NPKS), niezależnie od serii doświadczenia stwierdzono największą zawartość mobilnych form cynku, co znalazło odzwierciedlenie w zawartości Zn w odciekach glebowych z tych obiektów.

**Tabela 2.** Średnia ważona zawartość mikroelementów w przesączach glebowych  
**Table 2.** Average weighted content of microelements in soil effluents

Obiekty Objects	0 Ca			+ Ca				
	$\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ ( $\pm$ SE)	SD	V%	$\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ ( $\pm$ SE)	SD	V%		
Cu								
0	29,4 d	$\pm$ 6,4	19,1	65	17,5 ab	$\pm$ 3,1	9,3	53
NPK	22,9 c	$\pm$ 4,1	12,4	54	14,2 a	$\pm$ 2,4	7,3	51
NPKS	20,3 bc	$\pm$ 2,9	8,8	43	16,9 a	$\pm$ 2,9	8,6	51
NPK,,O''	19,1 bc	$\pm$ 2,7	8,2	43	15,1 a	$\pm$ 2,5	7,7	49
Zn								
0	75,6 c	$\pm$ 17,0	50,9	67	39,4 ab	$\pm$ 8,3	24,9	63
NPK	72,6 c	$\pm$ 8,9	26,5	37	40,5 ab	$\pm$ 3,4	10,1	25
NPKS	68,0 c	$\pm$ 4,5	13,6	20	46,5 b	$\pm$ 8,7	26,1	66
NPK,,O''	49,3 b	$\pm$ 4,2	12,5	25	35,2 a	$\pm$ 1,4	4,1	12
Mn								
0	54,9 d	$\pm$ 6,7	20,0	36	36,4 bc	$\pm$ 7,0	21,0	58
NPK	40,9 c	$\pm$ 3,5	10,6	26	26,1 ab	$\pm$ 2,0	6,0	23
NPKS	31,7 bc	$\pm$ 3,3	10,0	32	29,9 abc	$\pm$ 5,4	16,1	54
NPK,,O''	32,1 bc	$\pm$ 4,1	12,2	28	18,8 a	$\pm$ 2,3	6,8	36

Średnie oznaczone tymi samymi literami w kolumnach nie różnią się istotnie przy  $\alpha < 0,05$  według testu Tukeya; czynniki: nawożenie  $\times$  wapnowanie – Means followed by the same letters in columns do not differ significantly at  $\alpha < 0.05$  according to the Tukey test; factors: fertilization  $\times$  liming, SE błąd standardowy średniej – standard error mean; SD odchylenie standardowe dla lat – standard deviation for years; V% współczynnik zmienności dla lat – coefficient of variation coefficient for years.

Mangan był składnikiem wymywanym w nieco mniejszych ilościach niż cynk, pomimo większych zawartości mobilnych jego form w glebie (tab. 2). Najwięcej manganu, niezależnie od serii doświadczenia (0 Ca, + Ca) oznaczono w odciekach glebowych z obiektów nie nawożonych, co nie wynikało z największej mobilności Mn w glebie tych obiektów, a raczej było wynikiem stosunkowo małego pobrania tego pierwiastka z plonem biomasy pszenicy. Mniej manganu oznaczono w odciekach, zarówno z serii nie wapnowanej (0 Ca) jak i wapnowanej (+ Ca) z obiektów nawożonych azotem, fosforem, potasem i siarką (NPKS) oraz odpadem po produkcji siarczanu magnezu na tle nawożenia mineralnego N, P i K (NPK"O").

Wielkość strat mikroelementów przez wymywanie może być bardzo różna. Stosowanie składników nawozowych w dawkach przewyższających wymagania pokarmowe roślin może doprowadzić do zmian równowagi jonowej roztworu glebowego i spowodować przemieszczenie składników do wód podziemnych. Spośród badanych mikroelementów największa koncentracja w przesączach glebowych dotyczyła cynku. Również Kopec i in. (1991) i Ruszkowska i in. (1996b) stwierdzili duże koncentracje tego pierwiastka w wodach lizymetrycznych. W przeprowadzonych badaniach własnych kluczowy wpływ na mobilność i zawartość cynku w przesączach glebowych miał odczyn gleby. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono istotnie większe wartości pH gleby z serii wapnowanej, co wyraźnie ograniczyło mobilność badanych mikroelementów w glebie, a w konsekwencji ich wymycie. Również Wojcieszczuk i in. (1996) stwierdzili znacznie większą zawartość cynku i manganu w odciekach z gleby bez dodatku i z najmniejszym dodatkiem popiołu z węgla kamiennego, co należy wiązać z odczynem gleby.

#### WNIOSKI

1. W glebie nie wapnowanej zawartość mobilnych form miedzi, cynku i manganu była większa. Wapnowanie zmniejszyło zawartość mobilnych form badanych mikroelementów oraz spowolniło proces zakwaszenia gleby.
2. Spośród badanych pierwiastków w największych ilościach, zarówno z gleby niewapnowanej jak i wapnowanej wymywany był cynk, a najmniej w odciekach glebowych oznaczono miedzi.
3. W warunkach przeprowadzonych badań istotny wpływ na wymywanie badanych mikroelementów miał odczyn gleby. Wapnowanie na ogół istotnie zmniejszyło zawartość, miedzi, cynku i manganu w odciekach glebowych.

## PIŚMIENNICTWO

- Basta N. T., Ryan J. A., Chaney R. L., 2005. Trace element chemistry in residual-treated soil: Key concept and metal bioavailability. *Environ. Qual. J.*, 34, 49-63.
- Dechnik I., 1987. Wpływ nawożenia na właściwości gleby. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 324, 81-106.
- Del Casthilo P., Rix J., 1992. Ammonium acetate extraction for soil heavy metal speciation; model aided soil test interpretation. *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 51, 59-64.
- Gondek K., 2008. The contents of manganese in maize and soils fertilized with organic materials. *Chem. Inż. Ekol.*, (w druku)
- Gondek K., Kopeć M., 2004. Heavy metal binding by humus in soil of long-term static fertilizer experiment at Czarny Potok. *Chem. Inż. Ekol.*, 11(7), 561-572.
- Jakubus M., Czekala J., Bleharczyk A., 1996. Wpływ wieloletniego nawożenia na frakcje mikroelementów w glebie. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 434, 443-448.
- Kaniuczak J., 1994. The effect of various systems of mineral fertilisation on the acidification of Bbrown soil formed from loess. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 413, 173-178.
- Kaniuczak J., 1998. Zakwaszenie gleb lessowych w zależności od sposobów użytkowania, wapnowania i nawożenia mineralnego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 456, 113-118.
- Kopeć S., Nowak K., Smoroń S., 1991. Straty składników nawozowych przez wymywanie w zależności od nawożenia i uprawianej rośliny. *Roczn. Glebozn.* XLII, 3/4, 109-114.
- Kuszelewski L., Łabętowicz J., 1991. Skutki niezrównoważonego nawożenia mineralnego w świetle trwałego doświadczenia polowego. *Roczn. Glebozn.*, XLII, 3/4, 9-17.
- Ostrowska A., Gawliński A., Szczubiałka Z., 1991. Metody analizy i oceny gleb i roślin. *Wyd. IOŚ Warszawa*, ss 324.
- Ruszkowska M., Kusio M., Sykut S., Motowiecka-Terelak T., 1996a. Zmiany zawartości pierwiastków śladowych w glebach w warunkach doświadczenia lizymetrycznego. *Roczn. Glebozn.* XLVII, 1/2, 23-32.
- Ruszkowska M., Kusio M., Sykut S., 1996b. Wymywanie pierwiastków śladowych z gleby w zależności od jej rodzaju i nawożenia (badania lizymetryczne). *Roczn. Glebozn.* XLVII, 1/2, 11-22.
- Ruszkowska M., Rębowska Z., Wójcikowska-Kapusta A., Kusio M., 1989. Bilans mikroelementów w doświadczeniu lizymetrycznym. *Cz. I. Bilans B, Mn, Cu, Zn i Mo w latach 1981-1985. Pam. Puł.*, 94, 41-57.
- Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J., 2007. Zasady nawożenia mikroelementami roślin uprawnych. [W]: *Efektywne i bezpieczne metody regulacji zachwaszczenia, nawożenia i uprawy roli. Studia i Raporty IUNG – PIB*, 8, 99-110.
- Stanisz A., 1998., *Przystępny kurs statystyki w oparciu o program Statistica PL na przykładach z medycyny. Wyd. Statsoft Polska*, ss. 362
- Strączyńska S., 1998. Zmiany odczynu i właściwości sorpcyjnych gleb piaszczystych pod wpływem wieloletniego nawożenia mineralnego, organicznego i organiczno-mineralnego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 456, 165-168.
- Swift R., McLaren R., 1991. Micronutrient adsorption by soils and soil colloids. [In]: *Interactions at the soil colloid-soil solution interface. Eds. Bolt G. Kluwer Ac. Publishers*, 257-292.
- Wojcieszczuk T., Niedźwiecki E., Meller E., 1996. Zmiany w składzie chemicznym gleby i uzyskanych z niej przesączów pod wpływem zróżnicowanego nawożenia popiołem z elektrowni „Dolna Odra”. *Roczn. Glebozn.* XLVII, 3/4, 213-221.

THE EFFECT OF FERTILIZATION ON THE CONTENT OF MOBILE  
FORMS OF SELECTED MICROELEMENTS IN SOIL AND THEIR  
LEACHING IN A POT EXPERIMENT

*Krzysztof Gondek*

Department of Agriculture Chemistry, Agricultural University  
Al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków  
e-mail: kgondek@ar.krakow.pl

**Abstract.** The investigations were conducted to determine the effect of applied mineral fertilization, treatment with a waste of magnesium sulphate production on the content of selected microelements in soil effluents. The experiment was conducted for three years (2004-2006) in PVC pots with 22 kg of air-dried soil material equipped with soil effluent draining system. In the non-limed soil the contents of mobile forms of copper, zinc and manganese were higher. Liming diminished the contents of the analysed element mobile forms and slowed the soil acidification process. From among the studied elements the greatest amounts of zinc were leached from both limed and non-limed soils, whereas the smallest quantities of copper were registered in the soil effluents. Under the conditions of conducted experiment a significant effect of soil pH on leaching of the analysed microelements was observed, whereas liming generally decreased the contents of copper, zinc and manganese in the soil effluents.

**Key words:** soil, fertilization, microelements, leaching