



## **MOBILNOŚĆ CYNKU I MIEDZI W GLEBIE LEKKIEJ W ZALEŻNOŚCI OD STOSOWANIA WIELOLETNIEGO NAWOŻENIA AZOTEM I POTASEM**

**Barbara Murawska, Karolina Joanna Lipińska, Katarzyna Mitura,  
Aleksandra Piekut, Justyna Jachymska,**  
*Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. J. i J. Śniadeckich w Bydgoszczy*

### **MOBILITY OF ZINC AND COPPER IN LIGHT SOIL DEPENDING ON LONG-TERM NITROGEN AND POTASSIUM FERTILIZATION**

#### ***Streszczenie***

Jednym z największych problemów polskiego rolnictwa jest zakwaszenie gleb a tym samym niska zawartość makro – i mikrośladników w tym m.in. cynku i miedzi. Badania zostały przeprowadzone w oparciu o wieloletnie doświadczenie polowe zlokalizowane na terenie Stacji Badawczej UTP w Wierchucinku założone w 1974 roku na glebie biellicowej – Podzolis (WRB 2014). W doświadczeniu nie stosowano nawożenia naturalnego oraz środków wapnujących. Skutkiem stosowania przez 38 lat zwiększonych dawek azotu ( $N_{83}$ ,  $N_{167}$ ,  $N_{250}$ ) i potasu ( $K_0$ ,  $K_{53}$ ,  $K_{105}$ ,  $K_{158}$ ) oraz uprawa roślin w płodozmianie pastewno-przemysłowym było zakwaszenie gleby. Zastosowane w doświadczeniu nawożenie istotnie determinowało zawartość przyswajalnych form miedzi i cynku w badanej glebie. Średnio niezależne od zastosowanej dawki potasu najwyższe wartości badanych parametrów stwierdzono po zastosowaniu najwyższych dawek azotu ( $N_{250}$ ). Stwierdzono również istotne korelacje pomiędzy zawartością badanych mikroelementów a podstawowymi parametrami badanych próbek glebowych. Zawartości

przyswajalnego cynku i miedzi były zdecydowanie niższe od średniej krajowej, ale wszystkie mieściły się w niskiej lub średniej klasie zasobności.

**Słowa kluczowe:** doświadczenie wieloletnie, nawożenie NPK, zawartość Cu i Zn, wskaźniki zakwaszenia

### *Summary*

*One of the most important problem of the Polish agriculture is soil acidification and the low content of basic nutrients as well as high mobility of heavy metals. The research was conducted on the basis of a long-term (38 years) field experiment, which was located on the area of the UTP Research Station in Wierzchucinek that was found in 1974 on Podzolis (WRB 2014). Natural fertilizing or liming were not applied in the research. The effect of the 38 years' application of high doses of nitrogen ( $N_{83}$ ,  $N_{167}$ ,  $N_{250}$ ) and potassium ( $K_0$ ,  $K_{53}$ ,  $K_{105}$ ,  $K_{158}$ ) as well as the fodder-industrial crop rotation was soil acidification. The fertilization applied in the experiment significantly determined the contents of the assimilable forms of copper and zinc in the examined soil. On average, independent of a dose of potassium applied, the highest values of the parameters observed were found after the highest doses of nitrogen ( $N_{250}$ ) were applied. Essential correlations between the contents of the examined microelements in soil samples and their basic chemical parameters were also determined. The contents of the assimilable zinc and copper were significantly lower than the national average, but they all were in the low and average soil fertility class.*

**Key words:** long-term experiment, NPK fertilization, contents of Cu and Zn, acidification rates

### WSTĘP

Intensywna produkcja rolnicza oraz rozwój przemysłu (czynniki antropogeniczne), jak również oddziaływanie czynników naturalnych mogą sprzyjać procesowi zakwaszenia (Filipek 1998, Pasieczna 2008). Szczególnie podatne na ten proces są gleby lekkie i bardzo lekkie, ze względu na małe właściwości buforowe i niewielki kompleks sorpcyjny w porównaniu do gleb średnich, czy też ciężkich (Łabętowicz i in. 1998, Murawska i Spychaj-Fabisiak 2003). Zakwaszenie gleb jest jednym z głównych problemów polskiego rolnictwa (Kaczor 2002). W warunkach kwaśnego odczynu wzrasta przyswajalność mikroelementów, które w nadmiarze mogą być toksyczne dla roślin, jak również, maleje przyswajalność makroelementów (Badora 2002). Znaczenie mikroskładników w aktualnych uwarunkowaniach produkcji rolniczej wzrasta, co związane jest

m.in. z wyższym plonowaniem nowych odmian roślin uprawnych i stosowaniem nawozów wieloskładnikowych, co wskazuje, że badania w tym aspekcie są istotne i nabierają coraz większego znaczenia (Kucharzewski i Dębowski 2000, Strączyński i Wróbel 2000, Gondek 2009).

W związku z powyższym celem badań było określenie na ile i w jakim stopniu współdziałanie wieloletniego (38 lat), zróżnicowanego nawożenia azotem i potasem oraz zmianowanie roślin wpływało na zmiany wskaźników zakwaszenia gleby (Hh i pH), a także na zawartość przyswajalnych form cynku i miedzi.

## MATERIAŁ I METODY

Badania prowadzono w oparciu o doświadczenie polowe założone w 1974 roku na terenie Stacji Badawczej UTP w Wierzchucinku na glebie bielicowej – Podzolis (WRB 2014). Według klasyfikacji agronomicznej (PTG 2009) jest to gleba lekka – piasek gliniasty o zawartości 18% frakcji pyłowej. Właściwości chemiczne gleby przed założeniem doświadczenia oraz w roku prowadzenia badań przedstawiono w tabeli 1. Dwuczynnikowe doświadczenie założono w trzech replikacjach, obiektami pierwszego czynnika były poziomy nawożenia azotem ( $n=3$ ;  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ), natomiast obiektami drugiego czynnika były poziomy nawożenia potasem ( $n=4$ ;  $K_0$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ ) (Tab. 2). W doświadczeniu zastosowano jednolite nawożenie fosforowe w ilości  $35 \text{ kg} \cdot \text{P} \cdot \text{ha}^{-1}$  w formie superfosfatu potrójnego (20%). Nawozy azotowe stosowano w formie saletry amonowej (34%), natomiast nawożenie potasem w formie soli potasowej (50%). W badaniach nie stosowano nawożenia naturalnego ani środków wapnujących. Wykaz uprawianych roślin i wysokość zastosowanych dawek nawozów mineralnych przedstawiono w tabeli 2. W roku prowadzenia badań w doświadczeniu uprawiano kukurydzę przeznaczoną na kiszonkę odmiany 'Nekta' (FAO 250). Wszystkie zabiegi pielęgnacyjne wykonane zostały zgodnie z wymogami poprawnej agrotechniki badanej rośliny. Po zbiorach roślin pobrano próbki glebowe, w których wykonano następujące oznaczenia: wartości kwasowości wymiennej w  $1 \text{ mol KCl} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{dm}^{-3}$  – metodą potencjometryczną, kwasowości hydrolitycznej (Hh) – metodą Kappena oraz zawartości: węgla organicznego ( $C_{\text{org}}$ ) – metodą wolumetryczną przy użyciu  $0,4 \text{ mol K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot \text{dm}^{-3}$ , azotu ogółem ( $N_t$ ) – metodą Kiejdahla, azotu amonowego – metodą destylacyjną oraz zawartości przyswajalnych form Cu oraz Zn po ekstrakcji roztworem  $1 \text{ mol HCl} \cdot \text{dm}^{-3}$ , według procedury Karczewskiej i Kabały (2008) metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej (AAS) za pomocą spektrometru PU 9100X.

Otrzymane wyniki badań opracowano statystycznie przy użyciu testu Tukey'a oraz obliczono zależności pomiędzy badanymi parametrami ( $N_t$ ,  $N\text{-NH}_4$ ,  $C_{\text{org}}$ ) przy użyciu programu Statistica 8.0.

**Tabela 1.** Właściwości chemiczne gleby przed założeniem doświadczenia w 1974 i w 2012 roku

**Table 1.** The chemical properties of the soil before starting the experiment in 1974 and in 2012

Parametr gleby		Jednostka	Lata	
			1974	2012
C-ogółem		g·kg <sup>-1</sup>	13,00	6,6
N-ogółem			1,00	0,92
Wg Egnera-Riehma (DL)	P	mg·kg <sup>-1</sup>	68,8	50,73
	K		166,70	64,97
pH w KCl		-	5,9-6,0	3,7-4,7
Kwasowość hydrolityczna (Hh)		mmol(+)-kg <sup>-1</sup>	14,30	30,52

Źródło: wyniki własne; Source: own research data

**Tabela 2.** Wykaz uprawianych roślin i wysokość zastosowanych dawek NPK w doświadczeniu

**Table 2.** The list of planted plants and the amounts of the NPK doses applied in the experiment

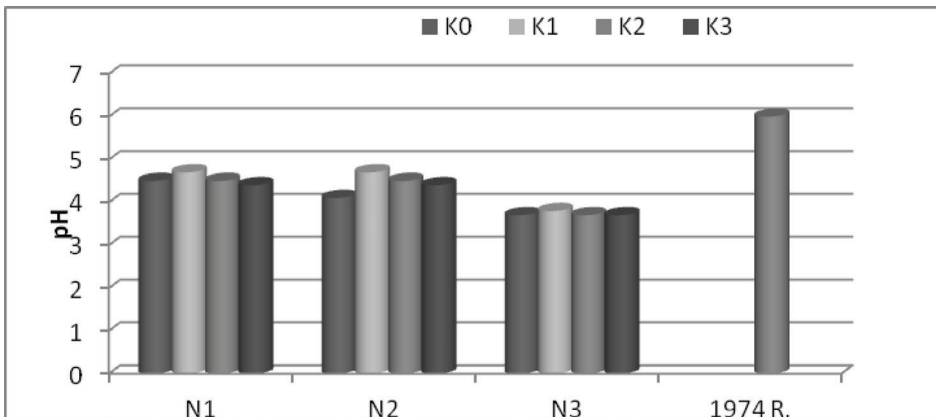
Lp.	Roślina	Czynnik I Nawożenie azotowe (kgN·ha <sup>-1</sup> )			Czynnik II Nawożenie potasowe (kgK·ha <sup>-1</sup> )				Nawożenie fosforowe (kgP·ha <sup>-1</sup> )
		N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	P
1.	Kukurydza	80	160	240	0	50	100	150	35
2.	Rzepak ozimy	80	160	240	0	50	100	150	35
3.	Pszemica ozima	50	100	150	0	33	66	100	35
4.	Żyto (poplon)	40	80	120	0	25	50	75	35
Średnio zastosowano (kg·ha <sup>-1</sup> ·rok <sup>-1</sup> )		83	167	250	0	53	105	158	47

Źródło: wyniki własne; Source: own research data

## WYNIKI I DYSKUSJA

Przed założeniem doświadczenia w 1974 roku badana gleba charakteryzowała się odczynem lekko kwaśnym, wartość pH<sub>KCl</sub> kształtowała się w zakresie 5,9-6,0 (Rys. 1). Natomiast w 2012 roku wartość ta obniżyła się od 1,3 do 2,3 jednostki pH<sub>KCl</sub> i mieściła się w granicach od 3,7 do 4,7. Badane próbki glebowe na podstawie wartości pH po 38 latach można zakwalifikować do gleb o odczynie kwaśnym i bardzo kwaśnym. Prawdopodobnie było to wynikiem stosowania

wyłącznie nawożenia mineralnego, które średnio wynosiło  $271 \text{ kgNPK} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  oraz uprawa roślin w stosowanym płodozmianie pastewno-przemysłowym (Tab. 2). Podobne rezultaty uzyskały w swoich badaniach Spychaj-Fabisiak (2001) oraz Murawska i Spychaj-Fabisiak (2005). Potwierdzają to liczne prace naukowe (Jakubus i Czekala 1999, Bednarek i Lipiński 1998, Czekala 2002, Filipek 2003), według których rodzaj uprawianych roślin może przyczynić się do pogorszenia odczynu gleby. Należy zaznaczyć, że po 38 latach badań stwierdzono wyraźne obniżenie wartości pH z 6,0 do 3,7. Dotyczyło to szczególnie obiektów, gdzie zastosowano zarówno najwyższe dawki azotu bez potasu ( $\text{N}_3\text{K}_0$ ), jak również gdzie aplikowano najwyższą dawkę azotu łącznie z potasem ( $\text{N}_3\text{K}_3$ ). Podobne tendencje stwierdzili Filipek (2003) oraz Kaczor i Brodowska (2008), według których wysokie intensywne nawożenie mineralne może powodować obniżenie wartości pH gleby nawet do 1 jednostki pH w zależności od dawki nawozu i właściwości gleby.

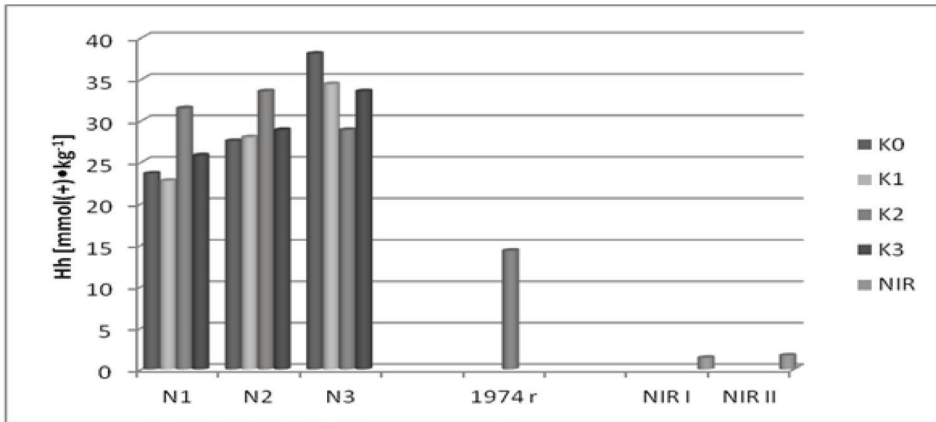


Źródło: wyniki własne; Source: own research data

**Rysunek 1.** Zmiany wartości  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  pod wpływem zastosowanego nawożenia azotem i potasem

**Figure 1.** The changes in the  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  value resulting from the nitrogen and potassium fertilization

Działanie czynnika antropogenicznego, jakim jest intensywne nawożenie mineralne spowodowało również wzrost wartości kwasowości hydrolitycznej, co znalazło potwierdzenie w badaniach Filipka i Badory (1999), Łabętowicza (1998) oraz Murawskiej i Spychaj-Fabisiak (2005). W 1974 roku wartość kwasowości hydrolitycznej wynosiła  $14,30 \text{ mmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$  (Tab.1), natomiast w 2012 roku mieściła się średnio w zakresie od  $22,75 (\text{N}_1\text{K}_1)$  do  $38,50 \text{ mmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1} (\text{N}_3\text{K}_2)$  (Rys. 2).



Źródło: wyniki własne; Source: own research data

**Rysunek 2.** Wartość kwasowości hydrolytycznej gleby pod wpływem zastosowanego nawożenia azotem i potasem w 2012 roku [mmol(+)·kg<sup>-1</sup>]

**Figure 2.** The value of the hydrolytic acidity of the soil under the influence of the nitrogen and potassium fertilization [mmol(+)·kg<sup>-1</sup>] applied in 2012

Wartość Hh była istotnie determinowana badanymi czynnikami. Zastosowane zróżnicowane dawki azotu i potasu wpływały istotnie na wzrost wartości badanego parametru. Najwyższe wartości stwierdzono w próbkach glebowych pobranych z obiektów: N<sub>3</sub>K<sub>0</sub>, N<sub>2</sub>K<sub>2</sub> oraz N<sub>1</sub>K<sub>2</sub> (Rys. 2). Należy podkreślić, że przez okres trwania doświadczenia parametr ten w glebie pobranej z powyższych obiektów zwiększył się ponad 2. krotnie w stosunku do wartości wyjściowej (Tab. 1). Uzyskane wyniki są zgodne z badaniami przeprowadzonymi przez licznych autorów (Bednarek i Lipiński 1998, Strączyńska 1998, Małecka i Różalski 1998, Spychaj-Fabisiak 2001), według których wzrastające nawożenie azotem na tle stałych dawek pozostałych składników nawozowych zwiększa wyraźnie wartość kwasowości hydrolytycznej, a obniża w niewielkim stopniu wartość pH w poziomie Ap. Również Strączyńska (1998), Łabętowicz (1998) oraz Filipek (2003) w swoich pracach dowodzą, że łączne stosowanie wysokich dawek azotu i potasu prowadzi w konsekwencji do zakwaszenia gleby i wzrostu wartości kwasowości hydrolytycznej.

Naturalna zawartość cynku w środowisku glebowym zależy głównie od zasobności skały macierzystej. Natomiast jego bioprzyswajalność uzależniona jest nie tylko od gatunku uprawianej rośliny, ale również od właściwości gleby, które determinują jego chemiczną mobilność (Kabata – Pendias 2002, Ahmad i in. 2012). Wieloletnie użytkowanie badanej gleby przyczyniło się nie tylko do pogorszenia jej właściwości chemicznych, szczególnie dotyczyło to jej zakwaszenia, co spowodowało prawdopodobnie zwiększenie zawartości przyswajal-

nych form cynku. W doświadczeniu zawartości tego pierwiastka mieściły się w granicach od 6,44 do 10,79 mg·kg<sup>-1</sup> przy średniej całkowitej 8,15 mg·kg<sup>-1</sup>. Stwierdzono, że zawartości przyswajalnych form cynku w glebie były istotnie determinowane zastosowanym nawożeniem azotowym i potasowym (Tab. 3). Istotnie wyższe zawartości tego parametru stwierdzono w próbkach glebowych pobranych z obiektów, gdzie zastosowano dawki azotu N<sub>2</sub> i N<sub>3</sub>, były one wyższe średnio o 34% i 39% w porównaniu do wartości uzyskanych na obiekcie, gdzie zastosowano najniższą dawkę azotu (N<sub>1</sub>). Należy jednak zauważyć, że zawartości przyswajalnego cynku były najwyższe w próbkach glebowych pobranych z obiektów o najniższej wartości pH (3,7) na których stosowano najwyższą dawkę azotu (N<sub>3</sub>). Natomiast w przypadku nawożenia potasem niezależnie od nawożenia azotem średnio najwyższą zawartość cynku zaobserwowano w próbkach glebowych pobranych z obiektu kontrolnego (K<sub>0</sub>). Wartość ta była istotnie wyższa o 21,3% w porównaniu do zawartości stwierdzonej na obiekcie K<sub>1</sub>. Kolejne podwyższanie dawek potasu nie różnicowało istotnie zawartości tego parametru. Należy przypuszczać, że wyraźny wpływ na zmiany zawartości cynku i jego mobilność na poszczególnych obiektach miało nie tylko nawożenie, ale również zmianowanie roślin, które jak wynika z literatury przedmiotu (Czuba 2000, Czeakała 2002, Spiak i Wall 2000) pobierają średnio: kukurydza 1,2 kg·ha<sup>-1</sup>, rzepak 0,35 kg·ha<sup>-1</sup>, zboża 0,3 kg·ha<sup>-1</sup> co wpłynęło zapewne na zróżnicowane zawartości badanego mikroelementu w badanych próbkach gleby. Postępujące zakwaszenie badanej gleby mogło przyczynić się do wzrostu procesów rozpuszczalności różnych form chemicznych cynku (Kabata-Pendias i Pendias 1999, Terelak i in. 2000, Gondek 2009). Uzyskane zawartości przyswajalnych form cynku w badanych próbkach glebowych nie wskazują na przekroczenie w nich dopuszczalnej zawartości, która wynosi 32,3 mg·kg<sup>-1</sup> (Kabata-Pendias 2001).

**Tabela 3.** Zawartości przyswajalnego cynku w glebie z doświadczenia w 2012 roku (mg·kg<sup>-1</sup>)

**Table 3.** The contents of the assimilable zinc in the soil from the experiment from 2012 (mg·kg<sup>-1</sup>)

Poziom nawożenia	K <sub>0</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	ŚREDNIA
N <sub>1</sub>	6,84	6,72	6,19	6,44	6,55
N <sub>2</sub>	8,89	7,31	10,54	8,32	8,80
N <sub>3</sub>	10,79	7,90	8,39	9,21	9,08
ŚREDNIA	8,87	7,31	8,37	7,99	8,15
NIR (p=0,05) dla:	I	II	II/I	I/II	
	2,02	1,08	1,88	2,46	

Źródło: wyniki własne; Source: own research data

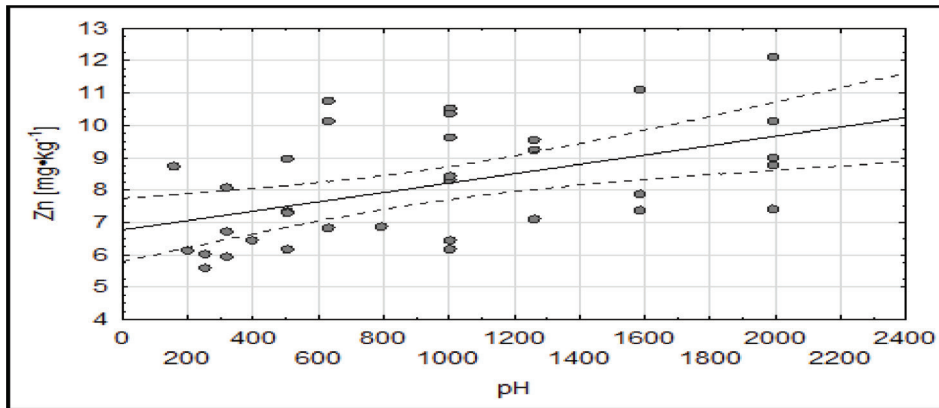
Zawartości przyswajalnych form miedzi w badanych próbkach gleby mieściły się w przedziale od 1,34 ( $N_1K_0$ ) do 2,44  $kg \cdot ha^{-1}$  ( $N_3K_1$ ), przy średniej całkowitej 1,60  $kg \cdot ha^{-1}$  (Tab. 4), zatem badane próbki glebowe można zakwalifikować w zależności od zastosowanych czynników do niskiej lub średniej klasy zasobności.

**Tabela 4.** Zawartość przyswajalnej miedzi w glebie z doświadczenia w 2012 roku ( $mg \cdot kg^{-1}$ )

**Table 4.** The contents of the assimilable copper in the soil from the experiment from 2012 ( $mg \cdot kg^{-1}$ )

Poziom nawożenia	$K_0$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	ŚREDNIA
$N_1$	1,34	1,58	1,56	2,10	1,60
$N_2$	1,46	1,50	1,77	1,60	1,50
$N_3$	1,74	2,44	1,5	1,56	1,83
ŚREDNIA	1,51	1,84	1,64	1,76	1,60
NIR ( $p=0,05$ ) dla:	I	II	II/I	I/II	
	ni.	0,23	0,41	0,42	

Źródło: wyniki własne; Source: own research data

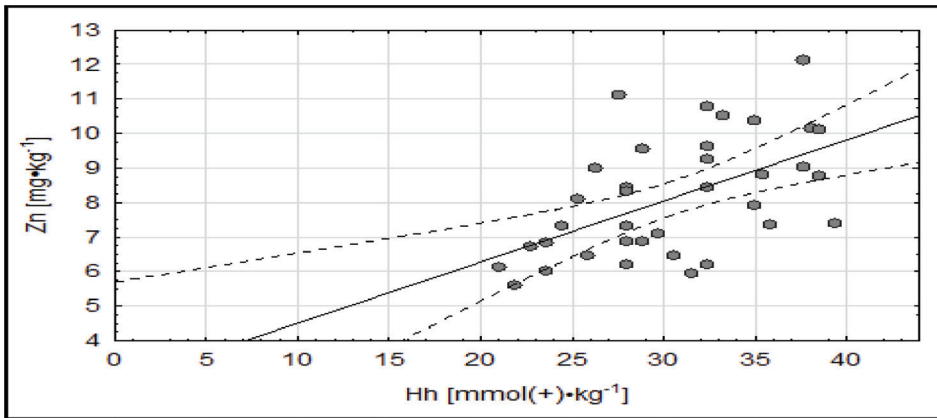


Źródło: wyniki własne; Source: own research data ( $y = 0,00145x + 6,7667$ ;  $r = 0,50$ )

**Rysunek 3.** Wykres rozrzutu przedstawiający zależność pomiędzy zawartością przyswajalnych form cynku [ $mg \cdot kg^{-1}$ ], a wartością pH po rozlogarytmowaniu

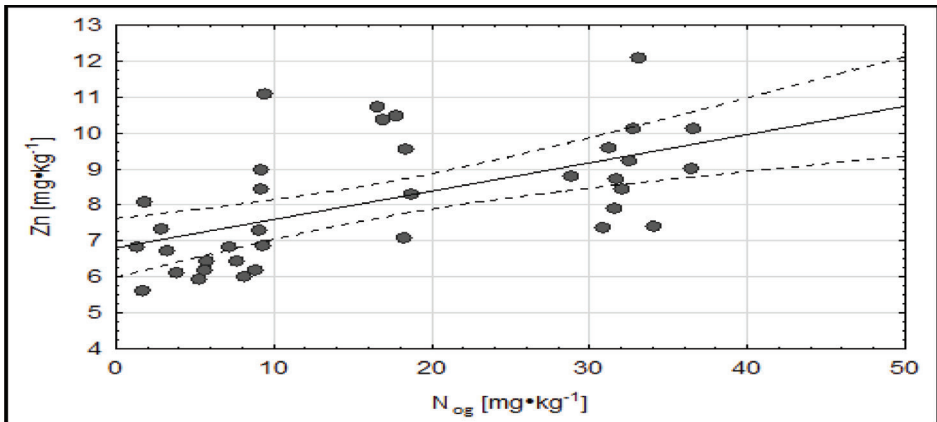
**Figure 3.** The graph showing the relationship between the contents of the assimilable forms of zinc [ $mg \cdot kg^{-1}$ ], and the pH value after unlogarithming





Źródło: wyniki własne; Source: own research data ( $y = 0,17689x + 2,7406$ ;  $r = 54$ )

**Rysunek 4.** Wykres rozrzutu przedstawiający zależność pomiędzy zawartością przyswajalnych form cynku [ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ], a kwasowością hydrolytyczną [ $\text{mmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ ]  
**Figure 4.** The graph presenting the relationship between the contents of the assimilable forms of zinc [ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ] and the hydrolytic acidity [ $\text{mmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ ]



Źródło: wyniki własne; Source: own research data ( $y = 0,07896x + 6,8057$ ;  $r = 57$ )

**Rysunek 5.** Wykres rozrzutu przedstawiający zależność pomiędzy zawartością przyswajalnych form cynku [ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ], a azotem ogółem [ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]  
**Figure 5.** The graph presenting the relationship between the contents of the assimilable forms of zinc [ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ] and total nitrogen [ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]

Zastosowane nawożenie azotem nie różnicowało istotnie zawartości przyswajalnych form miedzi w próbkach glebowych. Według Rabikowskiej i Piszcz

(2004) wzrastające dawki azotu prowadzą do intensywniejszego pobierania miedzi z gleby, a tym samym do nieoszczędnego pobierania tego składnika przez większość uprawianych roślin, co wpływa na obniżenie jego zawartości w glebie, czego nie zaobserwowano w prezentowanych badaniach. Należy podkreślić, iż najwyższe zawartości miedzi, podobnie jak również cynku stwierdzono w próbkach glebowych, które charakteryzowały się najniższą wartością pH (3,7), pobranych z obiektów, na których stosowano najwyższą dawkę azotu  $N_3$  ( $250 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ ). Przeprowadzone badania są zgodne z wynikami Karczewskiej (2002), która wzrost przyswajalności omawianych mikroelementów zaobserwowała przy wartości pH 5,5 i 6,5 odpowiednio: dla miedzi i cynku. Liczni badacze (Domska i in. 1998, Mercik i Stępień 2000, Karczewska 2002, Smal 1999) twierdzą, że powyżej tych wartości dochodzi do przekształcania przyswajalnych form miedzi w związki trudno przyswajalne dla roślin, dlatego najlepszy w przypadku tego pierwiastka jest odczyn lekko kwaśny.

Nawożenie potasem istotnie modyfikowało również zawartości omawianego parametru w badanych próbkach gleby. Istotnie najwyższą średnią zawartość przyswajalnej formy miedzi, niezależnie od dawki nawozu azotowego stwierdzono w próbkach glebowych pobranych z obiektu, gdzie stosowano najniższą dawkę potasu  $K_1$  ( $1,84 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) i była ona istotnie wyższa o 17,3% w porównaniu do zawartości stwierdzonej na obiekcie kontrolnym ( $K_0$ ). Kolejne podwyższenie dawek potasu ( $K_2$  i  $K_3$ ) spowodowało nieistotne obniżenie zawartości badanego składnika. Należy zaznaczyć, że podobnie jak w przypadku cynku stwierdzone wartości przyswajalnych form Cu były stosunkowo niskie, poniżej średniej krajowej ( $6,3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) podawanej przez Kabatę-Pendias (2001) dla regionu rolniczego.

Wykorzystując uzyskane wyniki z przeprowadzonego doświadczenia wyznaczono równania regresji ( $\alpha=0,05$ ), które zostały przedstawione graficznie na rysunkach 3-5. Wykazano istotną zależność pomiędzy zawartością przyswajalnego cynku w próbkach glebowych a wartością pH oraz zawartością cynku a wartością kwasowości hydrolitycznej, dla których współczynniki korelacji wyniosły odpowiednio  $r=0,50$  (Rys. 3) i  $r=0,54$  (Rys. 4). Podobne rezultaty wykazali McBride i in. (1997) oraz Smal i in. (1998). Wykazano również istotną dodatnią korelację pomiędzy zawartością przyswajalnego cynku a azotem ogółem w badanej glebie ( $r=0,49$ ) (Rys. 5) oraz pomiędzy zawartością przyswajalnych form miedzi a zawartością węgla ogółem ( $r=0,32$ ).

Zróznicowane zawartości mikroelementów w badanej glebie oraz stwierdzone korelacje to przypuszczalnie wypadkowa współdziałania zastosowanego intensywnego nawożenia i zmianowania roślin w warunkach wieloletniego doświadczenia (Murawska i Spychaj-Fabisiak 2005). Stwierdzone zawartości badanych mikroelementów były zdecydowanie niższe od średniej krajowej, ale wszystkie mieściły się w niskiej i średniej klasie zasobności i zależały od właściwości chemicznych badanej gleby oraz zastosowanego nawożenia.

## PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonego doświadczenia można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Wykazano, że niezrównoważony system nawożenia azotem i potasem bez wapnowania, z pominięciem stosowania nawozów naturalnych oraz uprawa roślin w zmianowaniu pastewno-przemysłowym w dłuższej perspektywie czasu (38 lat) prowadziło do zakwaszenia gleby lekkiej a tym samym zmian wartości wskaźników zakwaszenia (pH, Hh).
2. Efektem następczym oddziaływania i nakładania się wieloletniego nawożenia azotem i potasem było wyraźne zróżnicowanie zawartości przyswajalnych form cynku i miedzi w badanej glebie.
3. Stwierdzono, że określone zawartości Zn oraz Cu w glebie były zdecydowanie niższe od średniej krajowej i w przypadku dalszego stosowania tak intensywnego nawożenia mineralnego ( $271 \text{ kg NPK} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ ), przy dużym ich pobraniu przez uprawiane rośliny w kolejnych rotacjach, można spodziewać się niedoboru tych mikroelementów w badanej glebie lekkiej.

## LITERATURA

- Ahmad W., Watts M.J., Imtiaz M., Ahmed I., Zia M.H. (2012). *Zinc deficiency in soil, crops and humans*. *Agrochimica*, 2, 86-97.
- Assami T., Kubata M., Oriksa K. (1995). *Distribution of different fraction of cadmium, zinc, lead and copper in inpolluted and polluted soils*. *Water Air Soil Poll.*, 83, 187-194.
- Badora A. (2002). *Wpływ pH na mobilność pierwiastków w glebach*. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 482, 21-36.
- Bednarek W., Lipiński W. (1998). *Kationy wymienne w glebie poddanej oddziaływaniu zróżnicowanego nawożenia mineralnego*. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 456, 148-151.
- Charzyński P., Kabała C. (2009). *World Reference Base for Soil Resources First Update 2006. First Update 2007*. Published by the arrangement with the FAO and UN by Nicolaus Copernicus University.
- Chowaniak M., Gondek K. (2009). *Changes in the available magnesium and zinc contents of soli after the application of sewage sludges and sewage sludge – peat mixtures*. *Journal of Central European Agriculture*, 10(1), 79-88.
- Czekała J. (2002). *Wpływ zmianowań roślin, deszczowania i nawożenia azotem na zawartość cynku rozpuszczalnego w poziomie próchnicznym gleby*. *Zeszyty Naukowe PAN „Człowiek i Środowisko”* 33, 367-372.
- Czuba R. (2000). *Mikroelementy we współczesnych systemach nawożenia*. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 471, 161-170.

- Domska D., Bobrzecka D., Wojtkowiak K. (1998). *Zmiany w zawartości wybranych składników pokarmowych w glebach w zależności od ich odczynu*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 456, 525-529.
- Filipek T. (1998). *Dynamika antropogenicznych przyczyn oraz skutków zakwaszania gleb w Polsce*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 456, 7-12.
- Filipek T., Badora A. (1999). *Oddziaływanie nawożenia na kwasowość gleby*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 349, 81-88.
- Filipek T. (2003). *Przyrodnicze i antropogeniczne przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleb*. Nawozy i nawożenie, 3 (8), 5-26.
- Gondek K. (2009). *Wpływ nawożenia na zawartość mobilnych form wybranych mikroelementów w glebie oraz ich wymywanie w doświadczeniu wazonowym*. Acta Agrophysica, 13(1), 89-101
- IUSS Working Group WRB: World reference base for soil resources (2014). International soil classification system for naming soils and creating legends for soil map. Rome
- Jakubus M., Czekala J. (1999). *Metale ciężkie oraz wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne integralnymi składnikami osadów ściekowych*. Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis, Agricultura, 77, 39-44.
- Kabata-Pendias A. (2001). *Trace elements in soil and plants*. CRC PRESS, 314-322.
- Kabata-Pendias A. (2002). *Biochemia cynku*. Zeszyty Naukowe PAN „Człowiek i Środowisko”, 33, 11-18.
- Kabata-Pendias A., Pendias H. (1999). *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. Wydanie II. PWN, Warszawa s. 364.
- Kaczor A., Brodowska M.S. (2008). *Oddziaływanie emisji ditlenku siarki i tlenków azotu na zakwaszanie gleb Polski*. Proceedings of ECOpole, 2 (1), 791-798.
- Kaczor A. (2002). *Dynamika zmian antropogenicznych przyczyn zakwaszenia gleb w Polsce w ostatnim 25-leciu*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 482, 235-244.
- Karczewska A. (2002). *Rozpuszczalność miedzi, ołowiu i cynku w glebach zanieczyszczonych w zależności od odczynu i kompleksowania związkami organicznymi*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 482, 269-274.
- Karczewska A., Kabała C. (2008) *Metodyka analiz laboratoryjnych gleb i roślin*. Wyd. Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław
- Klasyfikacja Uziarnienia Gleb i Utworów Mineralnych PTG (2009). *Roczniki Gleboznawcze* 60(2), 5-16.
- Kucharzewski A., Dębowski M. (2000). *Ocena stopnia skażenia płodów rolnych Dolnego Śląska metalami ciężkimi i siarką*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 777-786.
- Łabętowicz J. (1998). *Zakwaszenie gleby, jako czynnik determinujący stężenie jonów w roztworze glebowym*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 456, 177-181.
- Małecka I., Różalski K. (1998). *Wpływ następczy nawożenia azotowego i deszczowania na odczyn gleby*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 456, 143-146.
- McBride. M.B., Sauve S., Henreschot W. (1997). *Solubility control of Cu, Zn, Cd and Pb in contaminated soils*. Eur. J. Soil Sci., 48, 337-346.
- Mercik S., Stępień W. (2000). *Dostępność mikroelementów w doświadczeniach wieloletnich w zależności od nawożenia i odczynu gleby*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 471, 395-402.

- Murawska B., Fabisiak-Spychaj E. (2005). *Ocena wpływu wieloletniego nawożenia mineralnego na właściwości sorpcyjne gleby lekkiej dla różnych zmianowań*. *Fragmenta Agronomica*, 1 (85), 202-213.
- Pasieczna A. (2008). *Wpływ przemysłu na środowisko przyrodnicze regionu śląsko-krakowskiego*. *Gospod. Surowcami Min.*, 24 (2), 67-81.
- Rabikowska B., Piszcz U. (2004). *Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem na wykorzystanie miedzi, manganu i cynku z obornika w czteroletnim zmianowaniu*. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 502, 267-275, 287-296.
- Smal EL, Misztal M., Ligęza S., Stachyra J. (1998). *Wpływ zakwaszenia gleby na zawartość wybranych pierwiastków śladowych w roztworze glebowym w warunkach doświadczenia laboratoryjnego*. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 456, 565-571.
- Smal H. (1999). *Właściwości chemiczne roztworów glebowych gleb lekkich i ich zmiany pod wpływem zakwaszenia*. *Rozprawy Naukowe Akademii Rolniczej w Lublinie*, 230, s.108.
- Spiak Z., Wall L. (2000). *Wpływ nawożenia mineralnego na zawartość cynku w glebach zanieczyszczonych przez hutę miedzi*. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 471, 145-152.
- Spychaj-Fabisiak E. (2001). *Modelowanie procesów wymywania przyswajalnych związków azotu w zależności od właściwości gleb*. *Rozprawa 100. ATR Bydgoszcz*.
- Strączyńska S. (1998). *Zmiany odczynu i właściwości sorpcyjnych gleby piaszczystej pod wpływem wieloletniego nawożenia mineralnego*. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 456, 165-168.
- Strączyński S., Wróbel S. (2000). *Zawartość mikroelementów w glebach o zróżnicowanych kategoriach agronomicznych*. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 471, 549-554.
- Terelak H., Motowicka-Terelak T., Stuczyński T. i Pietruch C. (2000). *Pierwiastki śladowe (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) w glebach użytków rolnych Polski*. IUNG, Warszawa, 145-156.

dr hab. inż. Barbara Murawska  
mgr inż. Karolina Joanna Lipińska  
mgr inż. Katarzyna Mitura  
mgr inż. Aleksandra Piekut  
mgr inż. Justyna Jachymska

Katedra Chemii Środowiska – Zakład Chemii Rolnej  
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy  
85-029 Bydgoszcz, ul. Bernardyńska 6  
tel. 52 3749006  
e-mail: murawska@utp.edu.pl

Wpłynęło: 15.01.2015

Akceptowano do druku: 26.06.2015