

Beata Kuziemska*, Stanisław Kalembasa**

**WPŁYW WAPNOWANIA I DODATKU OSADU ŚCIEKOWEGO NA
ROZMIESZCZENIE FRAKCJI WYBRANYCH METALI CIĘŻKICH
W GLEBIE ZANIECZYSZCZONEJ NIKLEM**

**EFFECT OF LIMING AND SEWAGE SLUDGE ADDITION ON THE
DISTRIBUTION OF THE FRACTION OF HEAVY METALS IN SOIL
CONTAMINATED WITH NICKEL**

Słowa kluczowe: gleba, nikiel, wapnowanie, osad ściekowy, analiza sekwencyjna.

Key words: soil, nickel, liming, sewage sludge, sequential extraction procedure.

Streszczenie

W glebie pobranej po trzyletnim doświadczeniu wazonowym badano ogólną zawartość Cu i Pb oraz rozmieszczenie tych metali we frakcjach wydzielonych zgodnie z procedurą BCR. W doświadczeniu uwzględniono następujące czynniki: I – wapnowanie (o Ca i Ca wg 1 Hh gleby w formie CaCO₃), II – dodatek osadu ściekowego (bez dodatku osadu ściekowego i dodatek osadu ściekowego w dawce odpowiadającej 2 g C·kg⁻¹ gleby), III – zróżnicowane zanieczyszczenie gleby nikiem (0, 50, 100 mg Ni·kg⁻¹ gleby w formie roztworu wodnego NiSO₄·6H₂O). Rośliną testową była trawa – kępówka pospolita (Dactylic glomerata L). Ogólną zawartość Cu i Pb w glebie oznaczono metodą ICP-AES, a frakcje tych metali trzy-stopniową metodą BCR.

Ogólna zawartość obu metali w analizowanej glebie nie przekraczała dopuszczalnych norm. Wapnowanie spowodowało zmniejszenie udziału Cu i Pb we frakcji wymiennej, redukowalnej i związanej z materią organiczną oraz zwiększenie ich ogólnej zawartości i udziału we frakcji rezydualnej.

* **Dr hab. Beata Kuziemska – Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce; e-mail: bak.kuz@interia.pl**

** **Prof. dr hab. Stanisław Kalembasa – Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce; e-mail: kalembasa@uph.edu.pl**

Dodatek osadu ściekowego wpłynął na zwiększenie ilości obu metali we frakcji redukowanej i rezydualnej oraz zwiększenie ich ogólnej zawartości i frakcji związanej z materią organiczną i siarczkami. Nie wykazano wpływu zróżnicowanej ilości Ni w glebie na zawartość ogólną Cu i Pb oraz ich rozmieszczenie w poszczególnych frakcjach.

Summary

*The total content of Cu and Pb and its distribution in fractions separated according to the BCR procedure was determined in soil taken after a three-year pot experiment. The following factors were taken into account in the experiment: I – liming (0 Ca and Ca according to 1 Hh of soil as CaCO_3); II – addition of sludge (without addition of sludge and addition of sludge from the wastewater treatment in Siedlce, applied at $2 \text{ g C}\cdot\text{kg}^{-1}$ of soil); III – varied level of contamination with nickel (0, 50 and $100 \text{ mg Ni}\cdot\text{kg}^{-1}$ of soil as aqueous solution of $\text{NiCl}_2\cdot 6 \text{ H}_2\text{O}$). Orchard grass (*Dactylis Glomerata* L.) was used as the test plant. The total content of Cu and Pb in soil was determined by ICP-AES, and the fractions of those metals by the 3-step BCR method. The total content of the metals in the analysed soil did not exceed the highest acceptable standards. Liming reduced the metal content in the exchangeable, reducible and organic matter-related fraction and increased their content in the residual fraction.*

Addition of sludge reduced the Cu and Pb content in the reducible and residual fraction and increased their total content and share in the organic matter- and sulphides-related fraction. No effect of the varied Ni amount on the total content of Cu and Pb or their distribution in the fractions has been found.

1. WPROWADZENIE

Ubocznym skutkiem rozwoju cywilizacji jest nadmierna akumulacja substancji toksycznych w środowisku glebowym, w tym metali ciężkich [Michna 1995, Wyszowski, Wyszowska 2005]. Zawartość metali ciężkich w glebie została ukształtowana w określonych warunkach ekologicznych, przy współdziałaniu czynnika antropogenicznego. Charakter skał macierzystych, a także przebieg procesów glebotwórczych i geologicznych to naturalne czynniki kształtujące ich tło biogeochemiczne. W glebach zawartość metali ciężkich waha się w szerokim zakresie, a poziom ich nagromadzenia jest dobrym wskaźnikiem stopnia zanieczyszczenia środowiska.

Metale ciężkie dostające się do gleby mogą ulegać przeróżnym transformacjom, poczynając od odkładania się nierozpuszczalnych form związków, o stosunkowo małym oddziaływaniu na rośliny i mikroorganizmy, do występowania w bardzo aktywnej zjonizowanej formie. Mogą również tworzyć połączenia chelatowe z substancjami humusowymi, które stanowią ochronę przed toksycznym oddziaływaniem jonu metalu [Pisarek 2001]. Ocena

zagrożenia środowiska naturalnego przez stężenie całkowite metali w określonych elementach tego środowiska (w glebie, w wodzie, w nawozach naturalnych i organicznych) pomija istotne czynniki determinujące ich mobilność i biodostępność. Miarodajna ocena zagrożenia wymaga określenia udziału form i frakcji składających się na całkowitą zawartość danego metalu [Węglarzyk 2001, Kalembasa, Pakuła 2006].

Spośród większości ocen ekotoksykologicznych gleby, szczególne znaczenie posiada specjacja metali ciężkich, która pozwala odnieść się do ich biodostępności. Na podstawie oznaczonych drogą analizy specjacyjnej (sekwencyjnej) form pierwiastków w połączeniu z nowoczesnymi metodami statystycznymi, można określić wiele czynników, takich jak: biodostępność, kumulacja, migracja, toksyczność, rozpuszczalność, sorpcja [Spiak i in. 2003].

2. CEL, MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Celem pracy była ocena wpływu wapnowania i zastosowania osadu ściekowego na występowanie miedzi i ołowiu w oznaczonych metodą BCR frakcjach w glebie zanieczyszczonej nikiem.

Analizowano glebę po ostatnim pokosie, w trzecim roku trwania doświadczenia, które przeprowadzono w obiektach Akademii Podlaskiej w Siedlcach, w układzie całkowicie losowym, w trzech powtórzeniach. W doświadczeniu uwzględniono następujące czynniki:

- I wapnowanie (bez wapnowania i wapnowanie wg 1 Hh gleby w formie CaCO_3);
- II nawożenie organiczne (obiekty kontrolne i nawożone osadem ściekowym pochodzącym z oczyszczalni ścieków w Siedlcach stosowanym w dawce odpowiadającej ilości 2 g C·kg⁻¹ gleby);
- III zróżnicowane zanieczyszczenie gleby nikiem (0, 50 i 100 mg Ni·kg⁻¹ gleby w formie roztworu wodnego $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).

Wapnowanie, osad ściekowy oraz nikiel zastosowano w okresie kwiecień – maj 2006 r. Rośliną testową była kupkówka pospolita (*Dactylis Glomerata* V.), której w każdym sezonie wegetacyjnym zbierano po 4 pokosy. Materiał glebowy użyty w doświadczeniu był pobierany z warstwy 0–20 cm gleby płowej o uziarnieniu piasku gliniastego [Kuziemska, Kalembasa 2008]. Podstawowe właściwości gleby przed założeniem doświadczenia zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Wybrane właściwości gleby wykorzystanej do doświadczenia wazonowego

Table 1. Some properties of soil used in the pot experiment

pH 1 M KCl	C _{orgiczny}	N _{całkowity}	Przyswajalny		Całkowity			
	g·kg ⁻¹ gleby		P	K	Ni	Cu	Fe	Pb
			mg·kg ⁻¹ gleby		mg·kg ⁻¹ gleby			
5,6	7,9	0,98	69	75	5,67	2,05	2060	7,29

Skład chemiczny zastosowanego w doświadczeniu osadu ściekowego podano w tabeli 2 [Kuziemska, Kalembasa 2008].

Tabela 2. Skład chemiczny osadu ściekowego z Siedlec

Table 2. Chemical composition of sewage sludge from Siedlce

Składnik	g·kg ⁻¹ s.m.	Składnik	mg·kg ⁻¹ s.m.
N	60,5	Cd	1,99
P	31,2	Pb	50,5
K	4,28	Ni	20,6
Ca	39,6	Fe	10850
Mg	8,42	Cu	137,7
C _{org.}	371	Zn	1276,8
MO	640		
Sucha masa [g·kg ⁻¹]		180	

W celu poprawności uzyskanych wyników, wazono o pojemności 15 dm³, zawierające 10 kg gleby umieszczono w dodatkowych pojemnikach, które zabezpieczyły roztwór przed wyciekami z wazonów. Wazono były ustawione na powietrzu i utrzymywano w nich wilgotność na poziomie 60% PPW. Metodą potencjometryczną oznaczono pH gleby w roztworze 1 M KCl. Ogólną zawartość miedzi i ołowiu w glebie oznaczono metodą ICP-AES, po wcześniejszej mineralizacji próbek w piecu mufowym, w temperaturze 450°C i po rozpuszczeniu popiołu w 10-procentowym roztworze HCl. Frakcje metali oznaczono trzystopniową metodą frakcjonowania sekwencyjnego zaproponowaną przez Community Bureau of Reference (BCR) [Rauret i in. 1999]. Schemat metody przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Schemat metody ekstrakcji sekwencyjnej metali BCR [Rauret i in. 1999]

Table 3. A diagram of the BCR metal sequential extraction method [Rauret et al. 1999]

Nr	Nazwa frakcji	Odczynniki ekstrakcyjne	pH
F ₁	wymienna, łatwo rozpuszczalna w środowiska kwaśnym	0,1M CH ₃ COOH	3,0
F ₂	redukowalna	0,5M NH ₂ OH·HCl	1,5
F ₃	utleniaalna	8,8M H ₂ O ₂ + 1M CH ₃ COONH ₄	2,0
F ₄	rezydualna (poekstrakcyjna pozostałość)	obliczone z różnicy między zawartością całkowitą a zawartością trzech wcześniej wydzielonych frakcji	–

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie metodą analizy wariancji z wykorzystaniem rozkładu F – Fishera – Snedecora, według programu F.R. Anal. Var 4.1. Wartość $NIR_{0,05}$ wyliczono za pomocą testu Tukeya. W celu określenia zależności między badanymi cechami przeprowadzono również analizę korelacji liniowej.

3. WYNIKI I Dyskusja

Przeprowadzone badania własne jednoznacznie wykazały, że całkowita zawartość oznaczanych metali – miedzi i ołowiu w analizowanej glebie, pobranej po zakończeniu trzyletniego doświadczenia wazonowego (tab. 4, 5, 6, 7) nie przekraczała dopuszczalnych norm [Kabata-Pendias, Pendias 1999].

Ogólna zawartość miedzi w badanej glebie (tab. 4) mieściła się w przedziale wartości od 2,10 do 2,85 $mg \cdot kg^{-1}$ gleby i była istotnie uzależniona od wapnowania i dodatku osadu ściekowego.

Tabela 4. Zawartość [$mg \cdot kg^{-1}$ gleby] miedzi we frakcjach oznaczonych metodą BCR w analizowanej glebie

Table 4. The content [$mg \cdot kg^{-1}$ of soil] of copper in fractions determined by the BCR method in the analysed soil

Wapnowanie		0 Ca			Ca wg 1 Hh		
Nawożenie	nr frakcji	dawka niklu [$mg \cdot kg^{-1}$ gleby]			dawka niklu [$mg \cdot kg^{-1}$ gleby]		
		0	50	100	0	50	100
Bez nawożenia organicznego	F ₁	0,07	0,06	0,05	0,00	0,00	0,00
	F ₂	0,55	0,55	0,55	0,29	0,27	0,30
	F ₃	0,72	0,70	0,67	0,61	0,60	0,60
	F ₄	0,76	0,79	0,82	1,24	1,28	1,23
Suma frakcji	Σ	2,10	2,10	2,09	2,14	2,15	2,13
Osad z Siedlec	F ₁	0,05	0,04	0,05	0,00	0,00	0,00
	F ₂	0,35	0,36	0,33	0,25	0,26	0,25
	F ₃	1,51	1,45	1,47	1,65	1,70	1,67
	F ₄	0,90	0,97	0,99	0,95	0,89	0,93
Suma frakcji	Σ	2,81	2,82	2,84	2,85	2,85	2,85

$NIR_{(0,05)}$ dla:	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	Σ
• wapnowanie	0,010	0,036	0,047	0,068	0,025
• osad z Siedlec	n.i.	0,036	0,047	0,068	0,025
• dawki niklu	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.

Objaśnienie: n.i. – nie istotne.

Zastosowane wapnowanie spowodowało niewielki, ale jednak statystycznie udowodniony wzrost całkowitej zawartości omawianego metalu w analizowanej glebie, co wiążąc można z tym, że większość substancji używanych do wapnowania gleb to kopaliny, zawie-

rające liczne domieszki, w tym związki miedzi. Wprowadzenie do gleby osadu ściekowego z oczyszczalni ścieków w Siedlcach przyczyniło się do istotnego zwiększenia ogólnej ilości miedzi w glebie (wraz z tym odpadowym materiałem organicznym wprowadzono do gleby 0,75 mg Cu·kg⁻¹ gleby).

Udział omawianego metalu w poszczególnych frakcjach w glebie (tab. 4 i 5) ulegał istotnemu różnicowaniu zarówno pod wpływem wapnowania, jak i dodatku osadu ściekowego.

Tabela 5. Procentowy udział frakcji miedzi w analizowanej glebie

Table 5. The percentage share of the copper fraction in the analysed soil

Wapnowanie		0 Ca			Ca wg 1 Hh		
Nawożenie	nr frakcji	dawka niklu [mg·kg ⁻¹ gleby]			dawka niklu [mg·kg ⁻¹ gleby]		
		0	50	100	0	50	100
Bez nawożenia organicznego	F ₁	3,33	2,86	2,39	0,00	0,00	0,00
	F ₂	26,19	26,19	26,32	13,55	12,62	14,08
	F ₃	34,28	33,33	32,06	28,50	27,91	28,17
	F ₄	36,20	37,62	39,23	57,95	59,47	57,76
Suma frakcji		100	100	100	100	100	100
Osad z Siedlec	F ₁	1,78	1,42	1,76	0,00	0,00	0,00
	F ₂	12,46	12,77	11,62	8,77	9,12	9,82
	F ₃	53,74	51,42	51,76	57,89	56,65	58,60
	F ₄	32,02	34,39	34,86	33,34	31,23	31,58
Suma frakcji		100	100	100	100	100	100

Na wszystkich obiektach wapnowanych nie stwierdzono obecności miedzi we frakcji wymiennej (F₁), co świadczy o pełnym jej unieruchomieniu wraz ze zwiększeniem pH i jest zgodne z rezultatami uzyskanymi przez innych badaczy [Wilk, Gworek 2009]. Dodatkowo zabieg wapnowania przyczynił się do zmniejszenia ilości oznaczanego metalu we frakcji redukowalnej (F₂) oraz związanej z materią organiczną i siarczkami (F₃) i zwiększenie jego ilości we frakcji rezydualnej (F₄). Substancja organiczna wprowadzona do gleby w formie osadu ściekowego spowodowała zmniejszenie ilości miedzi we frakcji redukowalnej (F₂) i rezydualnej (F₄) i jednocześnie zwiększenie jej udziału we frakcji związanej z materią organiczną i siarczkami (F₃). Podobne rezultaty dotyczące odpadowych materiałów organicznych uzyskano we wcześniejszych badaniach [Kalembasa i in. 2007]. Nie stwierdzono istotnego wpływu zróżnicowanej zawartości niklu w glebie na ogólną zawartość miedzi i jej rozmieszczenie w poszczególnych frakcjach.

Średni procentowy udział tego metalu w wydzielonych frakcjach można przedstawić w szeregu malejących wartości: F₃ > F₄ > F₂ > F₁.

Ogólna zawartość ołowiu w glebie (tab. 6) wynosiła od 7,19 do 7,53 mg Pb·kg⁻¹ gleby. Zarówno całkowita zawartość badanego metalu, jak i jego udział w poszczególnych frakcjach w glebie zależała istotnie od wapnowania i nawożenia organicznego (tab. 6 i 7). Wprowadzenie do gleby węgla wapnia spowodowało niewielki, ale statystycznie udowodniony wzrost ogólnej ilości omawianego metalu w glebie, co podobnie jak w przypadku wcześniej

omówionej miedzi, łączyć można z faktem zanieczyszczenia nawozów wapniowych. Wraz z osadem ściekowym wprowadzono do gleby 0,28 mg Pb·kg⁻¹ gleby i w związku z tym czynnik ten również istotnie wpływał na wzrost ogólnej zawartości tego metalu.

Tabela 6. Zawartość [mg·kg⁻¹ gleby] ołowiu we frakcjach oznaczonych metodą BCR w analizowanej glebie

Table 6. The content [mg·kg⁻¹ of soil] of lead in fractions determined by the BCR method in the analysed soil

Wapnowanie		0 Ca			Ca wg 1 Hh		
Nawożenie	nr frakcji	dawka niklu [mg·kg ⁻¹ gleby]			dawka niklu [mg·kg ⁻¹ gleby]		
		0	50	100	0	50	100
Bez nawożenia organicznego	F ₁	0,06	0,06	0,06	0,00	0,00	0,00
	F ₂	2,47	2,46	2,50	1,87	1,89	1,93
	F ₃	3,06	3,04	3,01	2,15	2,20	2,17
	F ₄	1,60	1,63	1,63	3,19	3,12	3,11
Suma frakcji		7,19	7,19	7,20	7,21	7,22	7,21
Osad z Siedlec	F ₁	0,04	0,05	0,04	0,00	0,00	0,00
	F ₂	1,97	2,03	1,99	1,69	1,70	1,66
	F ₃	4,10	4,09	4,16	3,39	3,43	3,43
	F ₄	1,36	1,28	1,26	2,45	2,40	2,43
Suma frakcji		7,47	7,45	7,45	7,53	7,53	7,52

NIR _(0,05) dla:	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	Σ
• wapnowanie	0,004	0,056	0,104	0,068	0,033
• osad z Siedlec	0,004	0,056	0,104	0,068	0,033
• dawki niklu	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.	n.i.

Objaśnienie: n.i. – nie istotne.

Tabela 7. Procentowy udział frakcji ołowiu w analizowanej glebie

Table 7. The share of lead fraction in the analysed soil

Wapnowanie		0 Ca			Ca wg 1 Hh; Ca acc. 1 Hh		
Nawożenie	nr frakcji	dawka niklu [mg·kg ⁻¹ gleby]			dawka niklu [mg·kg ⁻¹ gleby]		
		0	50	100	0	50	100
Bez nawożenia organicznego	F ₁	0,83	0,83	0,83	0,00	0,00	0,00
	F ₂	34,35	34,21	34,72	25,10	26,18	26,77
	F ₃	42,56	42,28	41,80	29,82	30,40	30,10
	F ₄	22,26	22,68	22,65	45,08	43,41	43,13
Suma frakcji		100	100	100	100	100	100
Osad z Siedlec	F ₁	0,54	0,67	0,54	0,00	0,00	0,00
	F ₂	26,37	27,25	26,71	22,44	22,58	22,07
	F ₃	54,89	54,90	55,84	45,02	45,55	45,61
	F ₄	18,20	17,18	16,91	35,54	31,87	32,32
Suma frakcji		100	100	100	100	100	100

Na wszystkich obiektach nawozowych zastosowane wapnowanie spowodowało całkowite unieruchomienie ołowiu, o czym świadczy brak omawianego metalu we frakcji wymiennej (F_1) na obiektach wapnowanych. Pod wpływem tego czynnika stwierdzono również zmniejszenie ilości ołowiu we frakcji redukowalnej (F_2) i organicznej (F_3) oraz istotne zwiększenie jego udziału we frakcji rezydualnej (F_4). Biorąc powyższe pod uwagę można stwierdzić, że wapnowanie jest dobrą metodą pozwalającą na unieruchomienie ołowiu, a więc ograniczenie przyswajalności tego metalu dla roślin, a co za tym idzie jego toksyczności.

Zastosowanie osadu ściekowego spowodowało zmniejszenie udziału omawianego metalu we frakcji wymiennej (F_1), związanej z tlenkami żelaza i manganu (F_2) oraz rezydualnej (F_4) i zwiększenie jego udziału we frakcji związanej z materią organiczną (F_3), co świadczy o jego włączeniu w strukturę związków organiczno-mineralnych. Podobnie jak w odniesieniu do wcześniej omawianej miedzi, nie stwierdzono istotnego wpływu zróżnicowanej ilości niklu w glebie na całkowitą zawartość ołowiu i jego udział w poszczególnych frakcjach w glebie. Średni procentowy udział ołowiu w wydzielonych metodą BCR frakcjach można przedstawić w szeregu następujących malejących wartości: $F_3 > F_4 > F_2 > F_1$.

W tabeli 8 podano wartości pH badanej gleby oznaczone w roztworze 1M KCl, które mieściły się w przedziale od 5,80 do 6,80. Gleba wapnowana miała istotnie większe wartości pH niż gleba niewapnowana. Nie stwierdzono wpływu dwóch pozostałych rozpatrywanych w eksperymencie czynników na omawianą cechę.

W analizowanej glebie stwierdzono istotne zależności pomiędzy badanymi parametrami potwierdzone analizą korelacji. Wartości współczynnika korelacji podano w tabelach 9 i 10.

Na szczególną uwagę zasługują wysoce istotne ujemne wartości współczynnika korelacji między pH a frakcją F_1 (wymienną), F_2 (redukowalną) miedzi i ołowiu oraz wysoce istotne dodatnie wartości między pH a zawartością obu analizowanych metali we frakcji F_4 (rezydualnej).

Tabela 8. pH badanej gleby w 1 M KCl

Table 8. pH in 1 M KCl of soil

Wapnowanie	0 Ca			Ca wg 1 Hh		
	dawka niklu [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby]			dawka niklu [$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby]		
Nawożenie	0	50	100	0	50	100
Bez nawożenia organicznego	5,97	5,84	5,80	6,64	6,59	6,80
Osad z Siedlec	5,99	5,80	5,80	6,60	6,71	6,72

$\text{NIR}_{(0,05)}$:

- wapnowanie 0,165
- osad z Siedlec n.i.
- dawki niklu n.i.

Objaśnienie: n.i. – nie istotne.

Tabela 9. Wartości współczynnika korelacji prostej pomiędzy frakcjami miedzi a wybranymi właściwościami gleby

Table 9. Simple correlation coefficients between fractions of copper and selected properties of soil

Parametr	Frakcje			
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄
Cu _{ogólna} ; Cu _{total}	n.i.	-0,555*	0,985**	n.i.
pH	-0,934**	-0,747**	n.i.	0,490

Objaśnienie: n.i. – nie istotne; * – $\alpha = 0,05$; ** – $\alpha = 0,01$.

Tabela 10. Wartości współczynnika korelacji prostej pomiędzy frakcjami ołowiu a wybranymi właściwościami gleby

Table 10. Simple correlation coefficients between fractions of lead and selected properties of soil

Parametr	Frakcje			
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄
Pb _{ogólny}	n.i.	-0,683**	0,733**	n.i.
pH	-0,958**	-0,751**	-0,549**	0,906**

Objaśnienie: n.i. – nie istotne; ** – $\alpha = 0,01$.

W podsumowaniu przeprowadzonych badań własnych należy stwierdzić, że wapnowanie i dodatek osadu ściekowego modyfikowały ogólną zawartość miedzi i ołowiu w glebie oraz ich udział we frakcjach wydzielonych zgodnie z procedurą BCR. Oba czynniki powodowały istotne zwiększenie ilości obu omawianych metali w analizowanej glebie. Wprowadzenie do gleby węgla wapnia wyeliminowało udział obu metali we frakcji wymiennej (F₁), zmniejszyło ich ilość we frakcji redukowalnej (F₂) i związanej z substancją organiczną i siarczkami (F₃) oraz zwiększyło ich ilość we frakcji rezydualnej, niedostępnej dla roślin. Osad ściekowy spowodował zmniejszenie udziału obu metali we frakcji redukowalnej (F₂) i rezydualnej (F₄) oraz wzrost ich udziału we frakcji związanej z materią organiczną (F₃). Zarówno nawóz wapniowy, jak i osad ściekowy okazały się dobrymi substancjami powodującymi zmniejszenie mobilności metali ciężkich w glebie, co jest zgodne z rezultatami badań uzyskanymi przez innych badaczy [Filipek-Mazur i in. 1999, Karczewska i in. 1996, 1997].

W badaniach własnych nie wykazano istotnego wpływu zróżnicowanej ilości niklu w glebie na ogólną zawartość miedzi i ołowiu w glebie oraz ich udział we frakcjach wydzielonych według procedury BCR.

4. WNIOSKI

1. Całkowita zawartość badanych metali w analizowanej glebie nie przekraczała dopuszczalnych norm.
2. Najmniejszą ilość miedzi i ołowiu w analizowanej glebie oznaczono we frakcji wymiennej (F_1).
3. Wapnowanie spowodowało zmniejszenie udziału obu analizowanych metali we frakcji wymiennej (F_1), redukowalnej (F_2) i związanej z substancją organiczną i siarczkami (F_3) oraz zwiększenie ich ogólnej zawartości i udziału we frakcji rezydualnej (F_4).
4. Dodatek osadu ściekowego spowodował zmniejszenie ilości miedzi i ołowiu we frakcji redukowalnej (F_2) i rezydualnej (F_4) oraz zwiększenie ich ogólnej zawartości i udziału we frakcji związanej z materią organiczną i siarczkami (F_3).
5. Nie wykazano istotnego wpływu zróżnicowanej ilości niklu w glebie na zawartość ogólną miedzi i ołowiu w glebie oraz ich rozmieszczenie w poszczególnych frakcjach.

PIŚMIENNICTWO

- FILIPEK-MAZUR B., MAZUR K., GONDEK K. 1999. Zawartość metali ciężkich w glebie jako efekt zagrożenia osadami pochodzenia garbarskiego i ich kompostowanie. Zeszyty Problemowe Podstępów Nauk Rolniczych 467: 489–497.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H., 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN Warszawa: 398.
- KALEMBASA D., PAKUŁA K. 2006. Fractions of zinc and copper in the forest luvisols of the South Podlasie Lowland. Polish J. Environ. Stud. 15 (2a): 98–103.
- KALEMBASA S., KUZIEWSKA B., GODLEWSKA A. 2007. Frakcje cynku i miedzi w wybranych materiałach organicznych. Zeszyty Problemowe Podstępów Nauk Rolniczych 520: 329–338.
- KARCZEWSKA M., WOJCIESKA-WYSKUPAJTYS U. 1996. Metale ciężkie w glebach zanieczyszczonych emisjami hut miedzi – formy i rozpuszczalność. Zesz. Nauk. AR Wrocław. Rozprawy CLXXXIV.
- KARCZEWSKA A., SZERSZEŃ L., KHDRİ J. 1997. Frakcje niklu w glebach wytworzonych z różnych skał macierzystych Polski i Syrii. Zeszyty Problemowe Podstępów Nauk Rolniczych 448b: 117–123.
- KUZIEWSKA B., KALEMBASA S. 2008. Wpływ wapnowania, nawożenia organicznego oraz zanieczyszczenia gleby niklem na aktywność ureazy, zawartość węgla i azotu w glebie po kolejnych zbiorach kupkówki pospolitej. Zeszyty Problemowe Podstępów Nauk Rolniczych 533: 259–267.
- MICHNA G. 1995: Metale ciężkie w łańcuchu pokarmowym. Aura 2: 26–27.

- PISAREK I. 2001: Profilowe zróżnicowanie zawartości Cu, Ni, Cd na tle wybranych parametrów fizykochemicznych gleb leśnych. *Acta Agrophysica* 48: 107–115.
- RAURET G., LOPEZ-SANCHEZ J.F., SAHUQUILLO A., RUGIO R., DAVIDSON C., URE A., QUEVAUCULLER PH. 1999. Improvement and soil reference materials. *J. Environ. Monit.* 1: 57–61.
- SPIAK Z., ROMANOWSKA M., RADOŁA J. 2003. Effects of dose and form of nitrogen on nickel uptake by maize. Part II. Content and uptake of nickel. *Chemia i inżynieria ekologiczna* 10, 9: 667–673.
- WĘGLARZYK K. 2001. Skażenie gleb metalami ciężkimi za szczególnym uwzględnieniem niklu, *Biuletyn Informacyjny Instytutu Zootechniki* 39, 4: 84–88.
- WILK M., GWOREK B. 2009. Metale ciężkie w osadach ściekowych. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* 39: 40–59.
- WYSZKOWSKI M., WYSZKOWSKA J. 2005. Reakcje między aktywnością enzymatyczną gleby zanieczyszczonej niklem i kadmem a zawartością azotu i fosforu w łubinie żółtym. *Zeszyty Problemowe Podstępów Nauk Rolniczych* 505: 513–522.