

Andrzej Wysokiński*, Stanisław Kalembasa*

**WPŁYW SPOSOBU ALKALIZACJI ORAZ KOMPOSTOWANIA
OSADÓW ŚCIEKOWYCH NA ZAWARTOŚĆ GLINU, MANGANU I LITU
W ROŚLINACH**

**THE INFLUENCE OF ALKALIZING AND COMPOSTING PROCES
OF SEWAGE SLUDGE ON ALLUMINIUM, LITHIUM AND MANGANESE
CONTENT IN PLANTS**

Słowa kluczowe: osady ściekowe, kompostowanie, tlenek wapnia, popiół, glin, mangan, lit.
Key words: waste activated sludge, composting process, calcium oxide, ash, alluminium, manganese, lithium.

The content of alluminium in the biomass of tested plants fertilized with waste activated sludge and farmyard manure was higher than in biomass harvested from object fertilized by the mixtures of above organic materials with the addition of CaO and ash from brown coal. The decrease reached 23.4 and 15.0% respectively. The amount of manganese in the biomass of maize and sunflower cultivated on the object fertilized with waste activated sludge and farmyard manure was almost twice higher that after application waste and manure with the addition of CaO and ash. The biomass of tested plants fertilized with waste activated sludge and farmyard manure with addition of CaO contained similar amount of alluminium and manganese in comparison to the biomass harvested from object fertilized with those organic materials with ash addition. The content of lithium in biomass of tested plants harvested from objects fertilized with mixtures of waste activated sludge and farmyard manure with CaO addition was lower than after application of those materials without addition (13.6%) and with ash addition (11.2%). The composting process of waste activated sludges and farmyard manure without and with additions of mineral materials increased the content of alluminium and decreased of manganese and lithium in biomass of tested plants. The biomass of maize and sunflower harvested from objects fertilized with waste activated

* *Dr inż. Andrzej Wysokiński i prof. dr hab. Stanisław Kalembasa – Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej, Akademia Podlaska w Siedlcach, ul. Prusa 14, 08-110 Siedlce; tel.: 25 643 12 89; kalembasa@ap.siedlce.pl*

sludge contained lower of aluminium (25.0%) and higher of manganese (59.9%) in comparison to the biomass harvested from objects fertilized with farmyard manure. The content of lithium in biomass of tested plants harvested from objects fertilized with waste activated sludge and farmyard manure was similar.

1. WPROWADZENIE

Niektóre pierwiastki śladowe, występujące w sposób naturalny w środowisku w małych stężeniach jako tzw. mikroelementy, są niezbędne zarówno do prawidłowego wzrostu i rozwoju roślin, jak i do prawidłowego funkcjonowania organizmów ludzi i zwierząt. Wchodzą w skład różnych enzymów lub ich aktywatorów oraz biorą udział w regulacji procesów biochemicznych [Żechałko-Czajkowska 1992, Spiak 2000]. Przydatność niektórych pierwiastków z tej grupy dla roślin (np. lit – Li) nie jest jeszcze do końca poznana, ale wiadomo, że w niewielkich ilościach są one niezbędne dla ludzi i zwierząt [Pais i Jones 1997]. Mangan (Mn) np. bierze udział w procesach oksydo-redukcyjnych, fotosyntezie, dekarboksylacji i biologicznej redukcji azotu atmosferycznego przez rośliny bobowate. Nadmiar niektórych pierwiastków w podłożu oraz w pożywieniu (paszy) może jednocześnie wywoływać zaburzenia procesów metabolicznych w roślinach oraz u ludzi i zwierząt [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Zawartość pierwiastków śladowych w roślinach zależy od właściwości gleby – jej odczynu oraz naturalnej i modyfikowanej nawożeniem zasobności [Czuba 1996, Kruczek 1992, Rabikowska i Piszcz 1996]. Na ogół zwiększona zawartość tych pierwiastków w glebie prowadzi do nadmiernej ich kumulacji w biomase roślin, które stają się ich źródłem w dalszych ogniwach łańcucha żywieniowego.

Bogatym źródłem pierwiastków śladowych dla roślin są włączone do systemów nawożenia substancje odpadowe, np. osady ściekowe [Korentajer 1991]. Zawartość pierwiastków śladowych w osadach ściekowych jest uzależniona od rodzaju ścieków i technologii ich oczyszczania [Czekała 1999, Kalembasa 1992]. Obróbka osadów ściekowych mająca najczęściej na celu poprawę ich właściwości fizycznych oraz wyeliminowanie zagrożeń mikrobiologicznych prowadzi nie tylko do ilościowych zmian ich składu chemicznego, ale również może mieć wpływ na pobieranie przez rośliny pierwiastków wprowadzonych i znajdujących się w glebie.

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu nawożenia świeżymi i kompostowanymi osadami ściekowymi z dodatkiem tlenku wapnia i popiołu z węgla brunatnego na zawartość glinu (Al), manganu (Mn) i litu (Li) w roślinach testowych.

2. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Osady ściekowe z oczyszczalni ścieków w Siedlcach i Łukowie oraz jako – nawóz standardowy – obornik bydlęcy mieszano z tlenkiem wapnia bądź z popiołem z węgla

brunatnego, w proporcjach 2:1, w przeliczeniu na suchą masę. Ilość CaO i oddzielnie popiołu dodanego do 1 kg osadów z Siedlec i Łukowa wynosiła odpowiednio 110 i 100 gramów, natomiast do obornika 115 gramów. Tak sporządzone mieszaniny oraz osady i obornik bez dodatków kompostowano przez 3 miesiące. Następnie wprowadzono je w ilości 1 kg do wazonów zawierających 9 kg gleby. Udział nawozu stanowił 10% ogólnej masy podłoża.

W tym samym czasie ponownie przygotowano świeże mieszaniny osadów ściekowych z Siedlec i Łukowa oraz obornika, dodając odpowiednio 105, 90 i 120 g CaO oraz popiołu z węgla brunatnego do 1 kg tych materiałów tak, aby stosunek suchej masy komponentów wynosił 2:1. Świeże mieszaniny oraz osady ściekowe i obornik bez dodatków wprowadzono do gleby w takiej samej ilości jak materiały kompostowane (1 kg). W doświadczeniu wydzielono obiekty kontrolne, na których nie stosowano nawożenia organicznego (tab.1). Obejmowały one uprawę roślin na glebie nienawożonej oraz na glebie z dodatkiem CaO oraz popiołu z węgla brunatnego w ilości odpowiadającej średniej masie wprowadzonej w mieszaninach świeżych (105 g/wazon). Szczegółowy schemat doświadczenia wazonowego przeprowadzonego w obiekcie szklarniowym przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Schemat doświadczenia

Table 1. Scheme of experiment

Obiekty nawozowe	
zastosowane nawożenie	rodzaj dodatku do osadów
Bez nawożenia organicznego (obiekt kontrolny)	bez dodatku
	z dodatkiem CaO
	z dodatkiem popiołu
Świeże osady ściekowe z Siedlec	bez dodatku
	z dodatkiem CaO
	z dodatkiem popiołu
Świeże osady ściekowe z Łukowa	bez dodatku
	z dodatkiem CaO
	z dodatkiem popiołu
Świeży obornik	bez dodatku
	z dodatkiem CaO
	z dodatkiem popiołu
Kompostowane osady ściekowe z Siedlec	bez dodatku
	z dodatkiem CaO
	z dodatkiem popiołu
Kompostowane osady ściekowe z Łukowa	bez dodatku
	z dodatkiem CaO
	z dodatkiem popiołu
Kompostowany obornik	bez dodatku
	z dodatkiem CaO
	z dodatkiem popiołu

Wykorzystana w doświadczeniu gleba o składzie granulometrycznym w poziomie Ap – piasek gliniasty lekki pylasty wykazywała bardzo kwaśny odczyn (pH w $1 \text{ mol KCl} \cdot \text{dm}^{-3} = 4,0$), a zawartość w niej węgla w związkach organicznych i azotu ogółem wynosiła odpowiednio $10,3$ i $0,98 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. Materiały organiczne zastosowano jednorazowo tylko w I roku (na 10 dni przed siewem nasion), w II i III roku natomiast badano działanie następcze. Ze względu na małą zawartość potasu w osadach i ich mieszaninach oraz możliwość retrogradacji fosforu na obiektach z udziałem CaO we wszystkich obiektach stosowano w każdym roku przewidziane, uzupełniające nawożenie fosforem i potasem w ilości $0,44 \text{ g}$ fosforu (P): superfosfat potrójny granulowany – 20% P oraz $1,25 \text{ g}$ potasu (K) na wazon: siarczan potasu – 49,8% K.

Roślinami testowymi w każdym roku doświadczenia była kukurydza („Nimba”) i słonecznik pastewny wysiewany po zbiorze kukurydzy w tych samych wazonach. Do każdego wazonu wysiano po 5 nasion odpowiednio kukurydzy oraz słonecznika, a po ich wschodach pozostawiano trzy rośliny w wazonie. Części nadziemne uprawianych roślin zbierano po 75 dniach wegetacji w fazie kwitnienia.

Zawartość glinu, manganu i litu w zebranych materiale roślinnym oznaczono metodą ICP-AES w roztworze podstawowym uzyskanym po mineralizacji próbek na sucho w temperaturze 450°C . Uzyskany popiół po mineralizacji zalano $6 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ HCl w celu rozłożenia węglanów i odparowano na łaźni piaskowej do sucha. Następnie uzyskane chlorki przeniesiono do kolb miarowych w 10-procentowym roztworze HCl i uzupełniono do kreski.

Uzyskane wyniki badań poddano analizie wariancji w układzie całkowicie losowym (test F – Fischera Snedecora), a wartości $\text{NIR}_{0,05}$ do porównania średnich, wyliczono z wykorzystaniem testu Tukeya.

3. WYNIKI I DYSKUSJA

Zawartość glinu, manganu i litu w świeżych i kompostowanych mieszaninach osadów ściekowych z Siedlec i Łukowa oraz obornika z CaO była mniejsza niż w tych materiałach organicznych bez dodatku (tab.2). Świeże i kompostowane mieszaniny osadów ściekowych i obornika z popiołem z węgla brunatnego zawierały na ogół więcej glinu i litu, a mniej manganu, w porównaniu do osadów i obornika bez dodatku.

Zawartość glinu i manganu w roślinach najczęściej waha się od kilkunastu do kilkuset $\text{mg Al} \cdot \text{kg}^{-1}$ oraz od kilku do kilkudziesięciu $\text{mg Mn} \cdot \text{kg}^{-1}$ [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Rośliny testowe uprawiane w kolejnych latach badań na obiektach nawożonych świeżymi i kompostowanymi osadami ściekowymi i obornikiem z dodatkiem CaO i popiołu z węgla brunatnego zawierały w suchej masie odpowiednio od $74,9$ do $584,6 \text{ mg Al} \cdot \text{kg}^{-1}$ (tab. 3) oraz od $13,6$ do $368,7 \text{ mg Mn} \cdot \text{kg}^{-1}$ (tab. 4).

Tabela 2. Zawartość glinu, manganu i litu w świeżych i kompostowanych osadach ściekowych i oborniku oraz ich mieszaninach z CaO i popiołem z węgla brunatnego, mg·kg⁻¹ s.m.

Table 2. Alluminium, manganese and lithium content in fresh and composted waste activated sludge, farmyard manure and their mixtures with CaO and brown coal ash, mg·kg⁻¹ D.M.

Materiał organiczny	Oznaczany pierwiastek	Rodzaj zastosowanego dodatku		
		bez dodatku	CaO	popiół z węgla brunatnego
Świeże osady z Siedlec	Al	7442 (1637*)	4696 (1545*)	22197 (6792*)
	Mn	338,2 (74,4*)	211,6 (69,6*)	300,2 (91,9*)
	Li	8,62 (1,90*)	4,91 (1,62*)	13,69 (4,19*)
Świeże osady z Łukowa	Al	5332 (1066*)	3345 (1007*)	23042 (6544*)
	Mn	476,1 (95,2*)	292,1 (87,9*)	403,3 (114,5*)
	Li	6,38 (1,28*)	4,29 (1,29*)	13,36 (3,79*)
Świeży obornik	Al	614,0 (141*)	373,0 (124*)	20731 (6530*)
	Mn	317,0 (72,9*)	196,5 (65,4*)	304,6 (95,9*)
	Li	30,91 (7,11*)	18,80 (6,26*)	29,60 (9,32*)
Kompostowane osady z Siedlec	Al	8015 (1843*)	5475 (1812*)	25440 (7836*)
	Mn	460,6 (105,9*)	290,5 (96,2*)	389,1 (119,8*)
	Li	7,85 (1,81*)	4,68 (1,55*)	11,88 (3,66*)
Kompostowane osady z Łukowa	Al	6271 (1329*)	3963 (1240*)	26134 (7579*)
	Mn	401,9 (85,2*)	256,7 (80,3*)	349,1 (101,2*)
	Li	4,62 (0,98*)	4,11 (1,29*)	13,77 (3,99*)
Kompostowany obornik	Al	1113 (270*)	575 (200*)	20323 (6605*)
	Mn	316,2 (76,8*)	197,9 (68,9*)	313,0 (101,7*)
	Li	26,74 (6,50*)	16,60 (5,78*)	29,13 (9,47*)

*Ilość pierwiastków wprowadzona do gleby w mg.

Tabela 3. Zawartość glinu w roślinach testowych, mg·kg⁻¹ s.m.

Table 3. Alluminium content in tested plants, mg·kg⁻¹ D.M.

Obiekty nawozowe		Lata doświadczenia					
		I rok		II rok		III rok	
		kukurydza	słonecznik	kukurydza	słonecznik	kukurydza	słonecznik
Bez nawożenia organicznego	sama gleba	285,7	584,6	185,9	364,4	297,4	417,5
	z dodatkiem CaO	161,9	422,0	156,5	297,6	222,6	349,3
	z dodatkiem popiołu	166,8	466,7	122,6	373,4	259,3	358,9
Świeże osady ściekowe z Siedlec	bez dodatków	288,5	299,1	128,5	328,0	190,0	329,5
	z dodatkiem CaO	137,1	202,2	74,9	313,3	133,4	264,0
	z dodatkiem popiołu	151,4	251,9	120,0	301,8	217,5	255,5
Świeże osady ściekowe z Łukowa	bez dodatków	221,1	290,1	149,2	374,9	290,5	225,0
	z dodatkiem CaO	119,4	225,1	85,1	292,2	269,7	227,3
	z dodatkiem popiołu	199,0	270,7	109,1	347,6	281,2	232,6

c.d. tab. na str. 510

c.d. tab. 3

Świeży obornik	bez dodatków	132,5	363,1	179,7	481,3	345,9	370,1
	z dodatkiem CaO	101,5	314,4	147,8	394,5	305,6	352,8
	z dodatkiem popiołu	119,9	293,7	164,0	439,7	356,4	320,4
Kompostowane osady ściekowe z Siedlec	bez dodatków	183,9	317,9	153,7	460,5	311,1	309,4
	z dodatkiem CaO	142,6	305,4	99,3	403,7	321,0	180,9
	z dodatkiem popiołu	131,0	266,8	145,9	310,3	241,8	281,7
Kompostowane osady ściekowe z Łukowa	bez dodatków	208,1	313,5	162,0	408,8	288,4	290,8
	z dodatkiem CaO	156,5	263,9	115,6	270,5	278,0	193,9
	z dodatkiem popiołu	146,3	299,7	162,5	386,3	249,6	241,0
Kompostowany obornik	bez dodatków	199,4	537,5	214,3	501,2	282,5	303,9
	z dodatkiem CaO	136,0	417,2	140,0	484,3	273,4	300,2
	z dodatkiem popiołu	94,2	455,0	192,0	476,2	279,4	279,7
Wartości średnie dla obiektów bez dodatku i z dodatkiem CaO lub popiołu							
Bez dodatków		217,0	386,5	167,6	417,0	286,5	320,9
Z dodatkiem CaO		136,4	307,2	117,0	350,9	257,7	266,9
Z dodatkiem popiołu		144,1	329,2	145,2	376,5	269,3	281,4
NIR _{0,05}		13,0	28,5	11,0	32,2	20,7	24,9

Tabela 4. Zawartość manganu w roślinach testowych, mg·kg⁻¹ s.m.

Table 4. Manganese content in tested plants, mg·kg⁻¹ D.M.

Obiekty nawozowe		Lata doświadczenia					
		I rok		II rok		III rok	
		kukurydza	słonecznik	kukurydza	słonecznik	kukurydza	słonecznik
Bez nawożenia organicznego	sama gleba	26,5	292,7	21,6	51,8	46,4	38,7
	z dodatkiem CaO	69,8	214,2	77,7	64,0	50,6	33,3
	z dodatkiem popiołu	27,3	192,4	17,4	33,7	38,4	28,4
Świeże osady ściekowe z Siedlec	bez dodatków	112,2	309,8	20,1	44,6	28,0	29,4
	z dodatkiem CaO	62,9	208,1	16,5	27,3	21,8	16,2
	z dodatkiem popiołu	65,7	87,6	13,6	33,4	19,6	22,8
Świeże osady ściekowe z Łukowa	bez dodatków	192,1	368,7	52,6	78,3	33,7	28,0
	z dodatkiem CaO	65,9	229,4	18,8	35,9	20,4	22,2
	z dodatkiem popiołu	132,1	228,9	19,6	42,9	30,5	23,8

Świeży obornik	bez dodatków	35,6	200,6	29,5	47,2	33,0	28,7
	z dodatkiem CaO	31,6	163,7	22,6	27,2	30,3	24,2
	z dodatkiem popiołu	59,5	71,4	20,2	22,2	23,5	24,3
Kompostowane osady ściekowe z Siedlec	bez dodatków	83,8	248,9	21,5	54,0	33,6	28,2
	z dodatkiem CaO	69,5	74,6	15,1	36,5	21,7	15,5
	z dodatkiem popiołu	56,2	99,2	16,3	40,2	22,6	24,8
Kompostowane osady ściekowe z Łukowa	bez dodatków	219,0	291,7	50,0	102,2	40,4	43,9
	z dodatkiem CaO	45,9	89,1	17,5	31,4	25,2	24,2
	z dodatkiem popiołu	89,6	64,7	18,2	27,6	23,6	31,3
Kompostowany obornik	bez dodatków	53,1	75,3	27,9	64,7	35,1	30,3
	z dodatkiem CaO	28,3	45,5	16,0	25,2	23,5	24,5
	z dodatkiem popiołu	23,0	62,6	20,2	39,0	35,8	25,3
Wartości średnie dla obiektów bez dodatku i z dodatkiem CaO lub popiołu							
Bez dodatków		103,2	255,4	31,9	63,2	35,7	32,5
Z dodatkiem CaO		53,4	146,4	26,3	35,3	27,6	22,9
Z dodatkiem popiołu		64,8	115,2	18,0	34,1	27,7	25,8
NIR _{0,05}		6,7	14,8	2,2	3,6	2,4	2,1

Glin i mangan przechodzą do roztworu glebowego w postaci form dostępnych dla roślin przy niskich wartościach pH gleby, zmniejszenie ilości ich form aktywnych natomiast do minimum następuje przy wartościach pH odpowiednio 6 i 7 [Badora 2002]. Obniżanie wartości pH gleby prowadzi do zwiększenia zawartości form aktywnych glinu i manganu w biomase roślin często do wartości ponadnormatywnych a nawet toksycznych, natomiast wapnowanie zmniejsza ich pobieranie przez rośliny [Rogoż 1994, Sykut i in. 1998, Rogoż 2000, Rogoż 2002]. Kukurydza i słonecznik zbierane z obiektów nawożonych osadami ściekowymi i obornikiem z dodatkiem CaO i popiołu z węgla brunatnego zawierały istotnie mniej glinu i manganu niż rośliny nawożone tymi materiałami organicznymi bez dodatków. Zawartość glinu w roślinach testowych nawożonych osadami i obornikiem bez dodatków średnio z 3 lat badań wynosiła 289,8 mg·kg⁻¹ s.m. i była większa niż po zastosowaniu osadów i obornika z dodatkiem CaO i popiołu odpowiednio o 23,4 i 15,0%. Ilość manganu oznaczona w kukurydzy i słoneczniku uprawianych na obiektach nawożonych samymi osadami ściekowymi i obornikiem średnio z 3 lat wynosiła 88,2 mg·kg⁻¹ i była prawie dwukrotnie większa niż po zastosowaniu osadów i obornika w mieszaninach z CaO i popiołem. Kukurydza i słonecznik nawożone osadami i obornikiem z dodatkiem popiołu z węgla brunatnego zawierały nieco więcej glinu niż po zastosowaniu osadów i obornika w mieszaninie z CaO, ale istotności uzyskanych różnic pomiędzy wartościami średnimi nie potwierdzono statystycznie. Ilość

manganu uzyskana w roślinach uprawianych w kolejnych latach badań na obiektach nawożonych osadami ściekowymi i obornikiem z dodatkiem CaO, w porównaniu z obiektami, do których wprowadzono mieszaniny tych materiałów organicznych z popiołem, nie była jednoznacznie zróżnicowana.

Zawartość litu w roślinach waha się najczęściej w przedziale od kilku do kilkunastu $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, ale w warunkach gleb słonych, rośliny z rodziny psiankowatych mogą zgromadzić nawet ponad $1000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ tego pierwiastka [Kabata-Pendias, Pendias 1999]. Kukurydza i słonecznik uprawiane w przeprowadzonym eksperymencie zawierały od 7,61 do $90,54 \text{ mg Li}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. (tab. 5). Rośliny testowe uprawiane w kolejnych latach badań na obiektach nawożonych świeżymi i kompostowanymi osadami ściekowymi i obornikiem z dodatkiem CaO i popiołu z węgla brunatnego zawierały najczęściej istotnie mniej litu, niż rośliny nawożone tymi substancjami bez dodatków. Wyjątek stanowiła zawartość tego pierwiastka w słoneczniku zbieranym w II roku badań, dla którego opisywane wyżej zależności były odwrotne. Średnio z 3 lat badań zawartość litu w roślinach testowych nawożonych osadami ściekowymi i obornikiem z dodatkiem CaO była mniejsza niż po ich zastosowaniu bez dodatków (o 13,6%) i z dodatkiem popiołu (o 11,2%). Świadczy to o niewielkim zmniejszeniu zagrożenia toksycznym działaniem litu na rośliny uprawne w efekcie mieszania osadów z tymi komponentami. W przeprowadzonym eksperymencie ilość litu wprowadzona do gleby z osadami i ich mieszaninami była niewielka (tab. 2), a na dawki tego pierwiastka do $25 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby kukurydza jest rośliną odporną [Jurkowska i in. 1997]. Dopiero dawki litu w ilości $40 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ gleby niekorzystnie oddziałują na kukurydzę, zmniejszając jej plony o 14–44% [Jurkowska i in. 1998].

Tabela 5. Zawartość litu w roślinach testowych, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m.

Table 5. Lithium content in tested plants, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ D.M.

Obiekty nawozowe		Lata doświadczenia					
		I rok		II rok		III rok	
		kukurydza	słonecznik	kukurydza	słonecznik	kukurydza	słonecznik
Bez nawożenia organicznego	sama gleba	39,59	33,80	11,64	58,10	78,32	41,80
	z dodatkiem CaO	35,95	19,83	18,27	25,94	57,77	64,44
	z dodatkiem popiołu	45,00	18,68	12,47	12,70	46,55	56,00
Świeże osady ściekowe z Siedlec	bez dodatków	59,83	14,08	43,88	11,22	47,50	56,78
	z dodatkiem CaO	36,20	29,19	19,83	54,04	30,43	59,51
	z dodatkiem popiołu	68,20	47,40	52,71	47,38	35,48	28,09
Świeże osady ściekowe z Łukowa	bez dodatków	90,54	24,17	35,55	38,99	50,91	41,21
	z dodatkiem CaO	48,08	17,99	16,71	62,98	54,05	21,12
	z dodatkiem popiołu	83,68	13,75	32,95	60,12	67,53	27,50

Świeży obornik	bez dodatków	89,29	24,69	25,55	39,57	38,53	59,04
	z dodatkiem CaO	54,41	19,01	23,65	57,74	80,24	26,46
	z dodatkiem popiołu	38,80	15,42	18,86	70,13	75,70	45,36
Kompostowane osady ściekowe z Siedlec	bez dodatków	57,84	9,19	44,98	52,50	75,38	40,55
	z dodatkiem CaO	33,34	8,29	36,88	44,05	53,92	52,34
	z dodatkiem popiołu	49,96	19,00	14,59	32,10	50,71	51,82
Kompostowane osady ściekowe z Łukowa	bez dodatków	52,93	19,03	40,49	38,16	67,95	46,45
	z dodatkiem CaO	29,65	21,86	24,42	37,53	59,35	40,88
	z dodatkiem popiołu	45,19	7,61	17,96	86,75	27,32	42,21
Kompostowany obornik	bez dodatków	41,74	18,45	25,76	52,67	36,76	53,15
	z dodatkiem CaO	44,48	8,58	31,39	40,43	34,47	38,60
	z dodatkiem popiołu	45,30	14,43	14,26	63,98	76,47	34,02
Wartości średnie dla obiektów bez dodatku i z dodatkiem CaO lub popiołu							
Bez dodatków		61,68	20,49	32,55	41,60	56,48	48,43
Z dodatkiem CaO		40,30	17,82	24,45	46,10	52,89	43,34
Z dodatkiem popiołu		53,73	19,47	23,40	53,31	54,25	40,71
NIR _{0,05}		4,10	1,60	2,19	3,77	n.i.	3,43

Kukurydza i słonecznik nawożony kompostowanymi osadami ściekowymi, obornikiem oraz ich mieszaninami z CaO i popiołem z węgla brunatnego zawierały o 8,9% więcej glinu oraz mniej manganu i litu, odpowiednio o 22,0 oraz 9,6% (średnio z 3 lat badań), niż po zastosowaniu tych materiałów organicznych i organiczno-mineralnych w postaci świeżej.

Zawartość glinu w kukurydzy i słoneczniku nawożonym osadami ściekowymi była mniejsza o 25,0% (średnio z 3 lat dla obiektów bez dodatków oraz z dodatkiem CaO i popiołu), a manganu większa o 59,9%, w porównaniu z roślinami uprawianymi na oborniku. Ilość litu oznaczona w roślinach testowych nawożonych obornikiem i osadami ściekowymi była bardzo zbliżona, a średnie z 3 lat zawartości tego pierwiastka na opisywanych obiektach nawozowych wynosiły odpowiednio 41,0 i 41,2 mg Li·kg⁻¹ s.m. Zawartość glinu i manganu w kukurydzy i słoneczniku zbieranych z obiektów nawożonych osadami ściekowymi i obornikiem (w kombinacji bez i z dodatkiem CaO i popiołu) była na ogół mniejsza niż w roślinach uprawianych na obiektach kontrolnych. Uzyskane wyniki należy wiązać zarówno z większą biomasa roślin zebranych z obiektów nawozowych (Kalembasa, Wysokiński 2006) w porównaniu z obiektami kontrolnymi (efekt rozcieńczenia), jak i wpływie wprowadzonej do gleby substancji organicznej na zmniejszenie dostępności tych pierwiastków dla roślin [Ciba i in. 2007].

4. WNIOSKI

1. Dodatek tlenku wapnia do osadów ściekowych i obornika w większym stopniu niż dodatek popiołu z węgla brunatnego zmniejszył zawartość glinu, manganu i litu w kukurydzy i słoneczniku nawożonych otrzymanymi mieszaninami.
2. Kompostowanie osadów ściekowych i obornika oraz ich mieszanin z tlenkiem wapnia i popiołem z węgla brunatnego zwiększyło zawartość glinu, zmniejszyło natomiast ilość manganu i litu w roślinach testowych.
3. Rośliny testowe nawożone osadami ściekowymi zawierały mniej glinu, więcej manganu oraz zbliżoną ilość litu, w porównaniu z roślinami, pod które zastosowano obornik.

PIŚMIENNICTWO

- BADORA A. 2002. Wpływ pH na mobilność pierwiastków w glebach. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 482: 21–36.
- CIBA J., SKWIRA M., ZOŁOTAJKIN M. 2007. Wpływ wybranych substancji chemicznych na zawartość glinu wymiennego i pH gleb leśnych. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych 31: 63–67.
- CZEKAŁA J. 1999. Osady ściekowe źródłem materii organicznej i składników pokarmowych. Fol. Univ. Agric. Stetin. 200, Agricultura (77): 33–38.
- CZUBA R. 1986. Zmiany zawartości składników w roślinach uprawnych na terenie kraju w zależności od nawożenia. In: Wpływ nawożenia na jakość plonów. Materiały z sympozjum, Olsztyn 24–25 czerwca 1986: 34–42.
- JURKOWSKA H., ROGOŻ A., WOJCIECHOWICZ T. 1997. Porównanie toksycznego działania litu na niektóre gatunki roślin. Acta Agr. Silv. ser. Agr. 35: 45–50.
- JURKOWSKA H., ROGOŻ A., WOJCIECHOWICZ T. 1998. Comparison of lithium toxic influence on some cultivars of oats, maize and spinach. Acta Agr. Silv. ser. Agr. 36 (2): 37–42.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa. 399.
- KALEMBASA S. 1992. Osady ściekowe z oczyszczalni ścieków w Siedlcach, Sokołowie Podlaskim i Łukowie – potencjalne źródło składników pokarmowych roślin. Zesz. Nauk. WSR-P w Siedlcach. Rolnictwo 31. 169–177.
- KALEMBASA S., WYSOKIŃSKI A. 2006. The influence of alkalization type waste activated sludges on the yield, content and value of utilization coefficient of nitrogen by tested plants. Polish Journal of Soil Science, Soil Fertilization 39(2): 197–209.
- KORENTAJER L. 1991. A review of the agricultural use of sewage sludge: benefits and potential hazards. Soil Irrig. Res. Inst. 17 (3): 189–196.

- KRUCZEK G. 1992. Zawartość mikroelementów w ziarnie zbóż jarych w warunkach zróżnicowanego nawożenia azotem. In. Mikroelementy w rolnictwie. Materiały 7 sympozjum. Wrocław 16–17 września 1992: 186–189.
- PAIS I., JONES J.B. 1997. The handbook of trace elements. St. Lucie Press, Boca Raton, FL. 223.
- RABIKOWSKA B., PISZCZ U. 1996. Współdziałanie długoletniego nawożenia azotem i obornikiem na zawartość manganu w pszenicy ozimej. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 434: 97–104.
- ROGOŹ A. 1994. The influence of liming on the content of some micronutrients in plants. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 413: 255–261.
- ROGOŹ A. 2000. Wpływ odczynu gleby na zawartość i pobranie manganu przez kukurydzę i tytoń. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 472: 587–596.
- ROGOŹ A. 2002. Zawartość i pobranie pierwiastków śladowych przez rośliny przy zmiennym odczynie gleby. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 482: 439–451.
- SPIAK Z. 2000. Mikroelementy w rolnictwie. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 471: 29–34.
- SYKUT S., RUSZKOWSKA M., WOJCIESKA U., KUSIO M. 1998. Zawartość manganu w roślinach jako wskaźnik stopnia zakwaszenia gleby. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 456: 233–236.
- ŻECHAŁKO-CZAJKOWSKA A. 1992. Mikroelementy w żywieniu człowieka. VII Symp. Mikroelementy w rolnictwie: 20–25.