

Zmiany zawartości metali ciężkich w *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack. pod wpływem nawożenia osadem ściekowym

D. KALEMBASA, E. MALINOWSKA

Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej, Akademia Podlaska w Siedlcach

Changes in content of heavy metals in *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack. biomass under influence of fertilization of waste activated sludge

Abstract. In the pot experiment carried out during two years the influence of the fertilization with there different (10, 20 and 30% of fresh matter to the mass of soil) doses of waste activated sludge in the comparison to mineral fertilization (NPK) on the content of heavy metals in the biomass of *Miscanthus sacchariflorus* was investigated. The dry mass of *Miscanthus sacchariflorus* was mineralized by "dry combustion method" and after ash was dissolved in that and after that in the solution the content of Pb, Cd, Cr, Cu, Zn, Ni and Co was determined by ICP-AES method. The increasing doses of waste activated sludge caused higher uptake of determined elements. Among determined elements the fertilized plants have taken up the highest amount of Zn and Pb but the lowest Co and Cr.

Keywords: *Miscanthus sacchariflorus*, waste activated sludge, heavy metals

1. Wstęp

W ostatnich latach, zwłaszcza w Europie, zauważa się dużą aktywność badawczo-wdrożeniową, dotyczącą wykorzystania biomasy roślin na cele energetyczne (DEUTER i JEŻOWSKI, 2002). Do roślin energetycznych zalicza się wiele gatunków, m.in. wierzbę, ślazierzec pensylwański, trawy z rodzaju *Miscanthus*, robinie akacjową, topolę białą, topinambur, rdest sachaliński i japoński, trzcinnik piaskowy, roznik przerośnięty, różę bezkolcową, wydmuchrzycę groniastą. Do najbardziej wydajnych wieloletnich roślin energetycznych, określanych mianem ekobiosurowców, można zaliczyć niektóre z kilkudziesięciu gatunków traw z rodzaju *Miscanthus* (BUDZYŃSKI i BIELSKI, 2004), wśród których priorytetowe znaczenie mają: *Miscanthus sacchariflorus*, *M. sinensis*, *M. condensatus*, *M. floridulus*, *M. giganteus* (DEUTER i JEŻOWSKI, 2002). Gatunki te różnie reagują na nawożenie mineralne i organiczne, np. w formie odpadów przemysłu rolno-spożywczego oraz osadów ściekowych (KALEMBASA i wsp., 2004; KRZYWY i wsp., 2004; MALINOWSKA i wsp., 2006). Jedną z lepiej plonujących traw pod wpływem nawożenia osadami ściekowymi jest *M. sacchariflorus* (MALINOWSKA i wsp., 2006,

IŻEWSKA, 2006). Zawartość metali ciężkich w biomacie roślin energetycznych wskazuje na ich ilość w popiele.

Celem pracy było określenie wpływu nawożenia osadem ściekowym na zawartość wybranych metali ciężkich w biomacie *Miscanthus sacchariflorus*.

2. Materiał i metody

Doświadczenie wazonowe założono wiosną 2005 roku w szklarni. Wazon o pojemności 20 l wypełniono utworem glebowym o składzie granulometrycznym piasku gliniastego mocnego (wg PTG), który odznaczał się następującymi właściwościami: $\text{pH}_{\text{KCl}} = 6,60$, zawartość węgla w związkach organicznych $30,5 \text{ g kg}^{-1}$, zawartość ogólna metali (mg kg^{-1} gleby): Pb – 63,99; Cd – 0,959; Cr – 8,95; Cu – 18,85; Zn – 279; Ni – 5,53; Co – 4,62. Eksperyment prowadzono w trzech powtórzeniach. Rośliną testową była trawa *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack. (miskant cukrowy). Zawartość węgla związków organicznych oznaczono metodą oksydacyjno-miareczkową (KALEMBASA i KALEMBASA, 1992); metali ciężkich metodą ICP-AES, po mineralizacji próbki gleby na sucho w piecu muflowym, w temperaturze 450°C .

Utworzono następujące obiekty nawozowe:

- obiekt kontrolny (bez nawożenia);
- nawożenie mineralne: N, P, K kg ha^{-1} (N mineralny zastosowany w moczniku, obliczono wg dawki 20% świeżej masy azotu ściekowego w stosunku do masy gleby);
- nawożenie organiczne:
 - 10% świeżej masy osadu ściekowego w stosunku do masy gleby, tj. 2 kg świeżej masy azotu na wazon, co odpowiadało $20 \text{ g N wazon}^{-1}$;
 - 20% świeżej masy osadu ściekowego w stosunku do masy gleby, tj. 4 kg na wazon, co odpowiadało $40 \text{ g N wazon}^{-1}$;
 - 30% świeżej masy osadu ściekowego w stosunku do masy gleby, tj. 6 kg na wazon, co odpowiadało $60 \text{ g N wazon}^{-1}$;

Wszystkie obiekty doświadczenia nawieziono nawozem fosforowym (superfosfat potrójny) i potasowym (siarczan potasu), zachowując stosunek N : P : K równy 1 : 0,8 : 1,2. W osadzie ściekowym uzupełniono niedobór potasu i fosforu do tego stosunku. Świeży osad ściekowy pochodził z oczyszczalni ścieków w Siedlcach (20% ścieki przemysłowe, 80% ścieki komunalne) i w końcowym procesie obróbki poddany był metanowej fermentacji oraz częściowo odwodniony na prasie. W osadzie tym oznaczono suchą masę metodą suszarkowo-wagową w temperaturze 105°C oraz pH – metodą potencjometryczną. Świeży osad ściekowy zastosowano jednorazowo (przed wysadzeniem miskanta), mieszając go z glebą w wazonie. W osadzie tym zawartość metali ciężkich kształtowała się na poziomie (mg kg^{-1}): Pb – 98,7; Cd – 2,7; Cr – 20,5; Cu – 199; Zn – 2435; Ni – 52,74; Co – 4,49. Zawartość tych metali w osadzie ściekowym nie przekraczała dopuszczalnych ilości dla uprawy roślin przeznaczonych do spożycia, określonych w ROZPORZĄDZENIU MINISTRA ŚRODOWISKA (2002). Plon eksperymentalnej trawy w I roku uprawy przedstawiono w pracy MALINOWSKIEJ i wsp. (2006).

Zawartość wybranych metali ciężkich (Pb, Cd, Cr, Cu, Zn, Ni i Co) badano w I roku uprawy (zbiór w grudniu 2005 roku), osobno w łodygach i liściach miskanta cukrowego, oraz w II roku, w całej biomase (łącznie łodygi i liście), zebranej w czerwcu (zbiór letni) i grudniu (zbiór jesienny) 2006 roku. Zbiór czerwcowy (niezamierzony) był podyktowany nadmiernym wzrostem uprawianej trawy w wazonach i wcześniejszym zakończeniem vegetacji, co zmusiło do jej zbioru. Po zbiorze nastąpił odrost miskanta. Suma plonu biomasy z obydwu zbiorów oraz sumaryczna zawartość w niej metali ciężkich pozwoliły na określenie tych parametrów w danym roku. Zebrany materiał roślinny zmielono do średnicy cząstek 0,25 mm i odważono 1g do tygielka porcelitowego, po czym utleniono substancję organiczną „na sucho” w temperaturze 450°C w piecu muflowym, w ciągu około 15 godzin. Następnie do tygla dodano 10 ml rozcieńzonego HCl (1:1) w celu rozłożenia węglanów i wydzielenia krzemionki, i odparowano na łaźni piaskowej. Zawartość tygla, po dodaniu 5ml 10% HCl, przeniesiono przez twardy sączek do kolby miarowej (o pojemności 100 ml) i uzupełniono do kreski wodą destylowaną. Zawartość całkowitą Pb, Cd, Cr, Cu, Zn, Ni i Co oznaczono na spektrometrze emisyjnym z indukcyjnie wzbudzoną plazmą ICP – AES, Optima 3200 RL, firmy Perkin Elmer.

Na podstawie zebranego plonu i zawartości metali ciężkich obliczono ich pobranie.

Otrzymane wyniki opracowano statystycznie; różnice między średnimi dla części roślin, terminów zbioru oraz obiektów nawozowych i ich współdziałania między badanymi czynnikami oceniono stosując analizę wariancji (do obliczeń użyto programu FR Analvar 4.1), a w przypadku istotności różnic wartość $NIR_{0,05}$ obliczono wg testu Tukey'a.

3. Wyniki i dyskusja

Analiza chemiczna wykazała, że w I roku uprawy *Miscanthus sacchariflorus*, w doświadczeniu wazonowym, zawartość wybranych metali ciężkich była zróżnicowana (tab. 1) i układała się w następujących szeregach malejących wartości:

- dla liści: Zn (23,33 – 81,05) > Ni (1,70 – 2,95) > Cu (0,131 – 0,962) > Pb (0,271 – 1,16) > Cr (0,246–0,625) > Co (0,026–0,092); Cd – nie wykryto;
- dla łodyg: Zn (86,29 – 246–4) > Ni (1,10 – 2,19) > Cr (0,024 – 0,113) > Cu (0,00 – 0,658) > Pb (0,00–0,320) > Co (0,025 – 0,096) > Cd (0,00 – 0,007).

Analiza statystyczna wykazała istotny wpływ nawożenia na zawartość Pb, Cr, Cu, Zn, Ni i Co w badanych częściach vegetatywnych uprawianej trawy. W liściach miskanta cukrowego stwierdzono więcej Pb, Cr, Cu, Ni i Co, a znacznie mniej Zn, niż w łodygach. Po I roku uprawy w liściach nie wykryto Cd, a w łodygach zanotowano niewielką zawartość tego metalu (0,007 mg kg⁻¹), tylko na obiekcie nawożonym największą dawką osadu ściekowego (30% św. masy). W liściach eksperymentalnej trawy więcej metali ciężkich stwierdzono na obiektach nawożonych osadem ściekowym, w porównaniu z nawożeniem mineralnym (z wyjątkiem Co). Na obiekcie kontrolnym zanotowano największą zawartość Pb i Cr.

Tabela 1. Zawartość metali ciężkich (mg kg⁻¹s.m.) w liściach i łodygach *Miscanthus sacchariflorus* zebranych jesienią w I roku doświadczenia wazonowego

Table 1. The content of heavy metals (mg kg⁻¹DM) of in leaves and stalks in the *Miscanthus sacchariflorus* harvested in autumn of the first year of cultivation in pot experiment

Nawożenie – Fertilization	Pb	Cd	Cr	Liście – Leaves			Ni	Co
				Cu	Zn			
Obiekt kontrolny – Control object	1,160	n.w.	0,625	0,823	25,69	1,83	0,026	
NPK	0,306	n.w.	0,358	0,131	23,33	1,70	0,092	
10% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 10% of waste activated sludge to the mass of soil	0,926	n.w.	0,246	0,962	75,14	2,17	0,061	
20% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 20% of waste activated sludge to the mass of soil	0,382	n.w.	0,284	1,350	81,05	2,08	0,057	
30% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 30% of waste activated sludge to the mass of soil	0,271	n.w.	0,370	1,060	61,83	2,95	0,045	
Średnia – Mean	0,608	n.w.	0,377	0,866	53,41	2,14	0,056	
Łodygi – Stalks								
Obiekt kontrolny – Control object	n.w.	n.w.	0,113	n.w.	131,7	2,19	0,096	
NPK	0,320	n.w.	0,018	n.w.	86,29	1,10	0,025	
10% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 10% of waste activated sludge to the mass of soil	n.w.	n.w.	0,024	0,658	241,3	2,05	0,042	
20% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 20% of waste activated sludge to the mass of soil	0,067	n.w.	0,030	0,034	246,4	2,09	0,030	
30% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 30% of waste activated sludge to the mass of soil	n.w.	0,007	0,038	0,068	179,4	1,15	0,026	
Średnia – Mean	0,077	0,003	0,045	0,152	177,0	1,72	0,044	
NIR _{0,05} dla: LSD _{0,05} for:								
A części roślin – parts of plant	0,082	n.i.	0,042	0,104	9,09	0,320	0,003	
B nawożenie – fertilization	0,186	0,006	0,094	0,236	20,61	0,725	0,007	
Interakcja – Interaction A/B	0,183	0,006	0,093	0,232	20,32	0,715	0,007	
Interakcja – Interaction B/A	0,262	0,009	0,133	0,333	29,15	1,03	0,010	

n.w. – nie wykryto – not detect

n.i. – różnica nie istotna – not significant

W łądach miskanta stwierdzono najwięcej Zn (ponad 3-krotnie więcej niż w liściach), a Cd i Pb nie wykryto, bądź były to niewielkie ilości (z wyjątkiem Pb na obiektach nawożonych NPK). Więcej Zn, Ni, Cu, Cr i Co zanotowano w łądach roślin na obiektach nawożonych osadem ściekowym, w porównaniu z nawożeniem mineralnym. Na obiekcie kontrolnym trawa zawierała najwięcej Cr, Ni i Co, a nie wykryto Pb, Cd i Cu, w porównaniu z obiektami nawozowymi. W liściach i łądach uprawianej trawy nie stwierdzono jednoznacznego wpływu dawki osadu ściekowego na zawartość w nich metali ciężkich.

W II roku uprawy miskanta cukrowego przeprowadzono dwa zbiory biomasy, badano zawartość metali ciężkich w częściach nadziemnych (liście + łądzygi), w czerwcu i grudniu (tab. 2). Dwa terminy zbioru zostały podyktowane nadmiernym wzrostem trawy w wazonach, w związku z tym rośliny nie wytworzyły kwiatostanów.

W II roku uprawy stwierdzono większą lub znacznie większą zawartość badanych metali w biomacie (liście + łądzygi) miskanta zwłaszcza zebranego późną jesienią, w porównaniu z I rokiem.

W trawie zebranej w czerwcu zawartość metali układała się w następującym szeregu malejących wartości (mg kg^{-1}): Zn (41,52 – 81,99) > Cu (2,51 – 6,28) > Pb (1,33 – 2,38) > Ni (1,05 – 1,38) > Cd (0,454 – 0,742) > Cr (0,067 – 0,265) > Co (0,0 – 0,169), a w grudniu Pb (73,50 – 79,37) > Zn (33,01 – 79,42) > Cd (4,70 – 12,74) > Ni (3,29 – 4,17) > Cu (2,59 – 4,70) > Cr (0,350 – 0,510) > Co (0,260 – 0,452).

W jesiennym zbiorze trawy stwierdzono znacznie więcej Pb (ponad 40-krotnie), Cd (prawie 17-krotnie), Cr (ponad 2-krotnie), Ni (3-krotnie), Co (prawie 5-krotnie) oraz zbliżoną ilość Cu i Zn, w porównaniu ze zbiorem letnim.

Zawartość kadmu, niklu i ołowiu w biomacie miskanta cukrowego nawożonego osadem ściekowym zanotowana przez IŻEWSKĄ (2006), jest porównywalna z ilością tych metali w terminie letnim badań własnych.

Zawartość badanych metali ciężkich w roślinach *Miscanthus sacchariflorus* obydwu zbiorów II roku uprawy układała się w następującym szeregu malejących wartości (mg kg^{-1} s.m.): Zn>Pb>Cd>Cu>Ni>Cr>Co.

W II roku eksperymentu rośliny pobrały z plonem (sumarycznym z obydwu zbiorów) wielokrotnie więcej metali ciężkich (tab. 4), niż w I roku (tab. 3), co pozwoliło ułożyć je w następującym szeregu malejących wartości (mg kg^{-1} s.m.): Pb>Zn>Cu>Cd>Ni>Cr>Co. Najwięcej metali z plonem miskanta wyniesiono z obiektów nawożonych osadem ściekowym; w dawce 30% (Zn, Cu, Ni, Cr, Co) i 20% (Pb, Cd) świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby; a znacznie mniej z obiektów nawożonych nawozami mineralnymi.

WOŁOSZYK (2003) podaje, że trawy mogą kumulować znaczne ilości metali ciężkich, zwłaszcza przy wysokim nawożeniu osadami ściekowymi. Pobranie i wykorzystanie metali ciężkich przez rośliny z osadów ściekowych jest uzależnione od bardzo wielu czynników, m.in. pojemności wodnej, potencjału oksydo-redukcyjnego, temperatury gleby, mikrobiologicznej aktywności w ryzosferze (BARAN i wsp., 1996; WOŁOSZYK, 2003). Każdy z wymienionych czynników (zarówno sam, jak i w powiązaniu z innymi) może stymulować, względnie hamować pobieranie składników mineralnych przez rośliny, a tym samym wpływać na ich skład chemiczny (ROGÓŻ, 2002).

Tabela 2. Zawartość metali ciężkich (mg kg⁻¹ s.m.) w biomacie (liście + łodygi) *Miscanthus sacchariflorus* zbieranej w dwóch terminach w II roku doświadczenia wazonowego

Table 2. The content of heavy metals (mg kg⁻¹D.M.) of in biomass (leaves + stalks) in the *Miscanthus sacchariflorus* harvested in two terms in the second year of cultivation in pot experiment

Nawożenie – Fertilization	Plon – Yield (g wazon ⁻¹ s.m.) (g pot ⁻¹ DM)	Pb	Cd	Cr	Cu	Zn	Ni	Co
Obiekt kontrolny – Control object	100	1,33	0,649	0,067	2,51	41,52	1,25	n.w.
NPK	110	2,38	0,666	0,265	6,28	81,99	1,32	0,169
10% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 10% of waste activated sludge to the dry mass of soil	350	1,94	0,742	0,243	2,52	52,70	1,05	0,046
20% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 10% of waste activated sludge to the mass of soil	380	1,61	0,454	0,168	2,60	53,75	1,36	0,125
30% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 30% of waste activated sludge to the dry mass of soil	450	1,64	0,536	0,254	3,59	69,81	1,38	0,150
Średnia – Mean	280	1,78	0,609	0,199	3,50	59,95	1,27	0,098
Zbiór jesienny – Autumn harvest								
Obiekt kontrolny – Control object	30	77,86	8,86	0,510	4,70	62,84	4,13	0,260
NPK	40	79,37	4,70	0,481	2,59	33,01	3,29	0,322
10% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 10% of waste activated sludge to the dry mass of soil	75	75,28	12,61	0,350	3,90	56,73	4,10	0,400
20% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 10% of waste activated sludge to the mass of soil	120	78,32	12,74	0,439	4,41	79,42	3,34	0,452
30% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 30% of waste activated sludge to the dry mass of soil	110	73,50	12,67	0,372	3,08	59,79	4,17	0,329
Średnia – Mean	75	76,87	10,32	0,430	3,74	58,36	3,80	0,353

Obiekt kontrolny – Control object	Suma – Sum									
	79,19	9,51	0,577	9,72	104	5,38	0,260			
NPK	81,75	5,37	0,746	8,87	115	4,61	0,491			
10% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 10% of waste activated sludge to the dry mass of soil	77,22	13,35	0,593	6,42	109	5,15	0,492			
20% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 10% of waste activated sludge to the mass of soil	79,93	13,19	0,607	7,01	133	4,70	0,577			
30% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 30% of waste activated sludge to the dry mass of soil	75,14	13,21	0,626	6,67	130	5,55	0,479			
Średnia – Mean	78,65	10,93	0,630	7,74	118	5,08	0,460			
NIR _{0,05} dla: LSD _{0,05} for:	0,851	0,083	0,053	0,203	1,39	0,224	0,014			
A terminy zbioru – terms of harvest	1,93	0,189	n.i.	0,460	3,14	0,508	0,032			
B nawożenie – fertilization	1,90	0,187	0,119	0,453	3,10	0,501	0,031			
Interakcja – Interaction A/B	2,73	0,268	0,170	0,650	4,44	0,719	0,045			
Interakcja – Interaction B/A										

n.w. – nie wykryto – not detect

n.i. – różnica nie istotna – not significant

Tabela 3. Pobranie metali ciężkich (mg wazon⁻¹) z plonem liści i łodyg *Miscanthus sacchariflorus* w I roku uprawy
 Table 3. Uptake heavy metals (mg pot⁻¹) with the yield leaves in stalks in the *Miscanthus sacchariflorus* in the first year of cultivation

Nawożenie – Fertilization		Pb	Cd	Cr	Liście – Leaves			Ni	Co
					Cu	Zn			
Obiekt kontrolny – Control object		32,71	–	17,63	23,21	724	51,61	5,81	
NPK		12,97	–	15,18	5,55	989	72,08	3,90	
10% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 10% of waste activated sludge to the dry mass of soil		100	–	26,59	104	8123	235	6,59	
20% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 10% of waste activated sludge to the mass of soil		57,38	–	42,66	203	12174	312	8,56	
30% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 30% of waste activated sludge to the dry mass of soil		27,43	–	37,44	107	6257	299	4,55	
Średnia – Mean		46,12	–	27,90	88,55	5653	194	5,88	
Łodygi – Stalks									
Obiekt kontrolny – Control object		–	–	1,76	–	2055	34,16	1,50	
NPK		9,54	–	0,536	–	2571	32,78	0,745	
10% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 10% of waste activated sludge to the dry mass of soil		–	–	1,01	27,77	10183	86,51	1,77	
20% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 10% of waste activated sludge to the mass of soil		4,92	–	2,21	2,50	18110	154	2,21	
30% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 30% of waste activated sludge to the dry mass of soil		–	0,624	3,39	6,06	15985	103	2,32	
Średnia – Mean		2,89	0,125	1,78	7,27	9781	82,09	1,71	
Suma – Sum									
Obiekt kontrolny – Control object		32,7	–	19,4	23,2	2779	85,8	7,31	
NPK		22,5	–	15,7	5,55	3560	105	4,65	
10% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 10% of waste activated sludge to the dry mass of soil		100	–	27,6	132	18306	322	8,36	
20% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 10% of waste activated sludge to the mass of soil		62,3	–	44,9	206	30284	466	10,77	
30% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 30% of waste activated sludge to the dry mass of soil		27,4	0,624	40,8	113	22242	402	6,87	
Średnia – Mean		49,0	–	29,7	96,0	15434	276	6,22	

Tabela 4. Pobranie metali ciężkich (mg wazon⁻¹) z plonem *Miscanthus sacchariflorus* w II roku uprawy
 Table 4. Uptake heavy metals (mg pot⁻¹) with the yield in the *Miscanthus sacchariflorus* in the second year of cultivation

Nawożenie – Fertilization		Pb	Cd	Cr	Cu	Zn	Ni	Co
		Zbiór letni – Sommer harvest						
Obiekt kontrolny – Control object		133	64,9	6,70	251	4152	125	–
NPK		623	73,3	29,2	691	9019	145	18,6
10% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 10% of waste activated sludge to the dry mass of soil		679	260	85,1	882	18445	368	16,1
20% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 10% of waste activated sludge to the mass of soil		612	173	63,8	988	20425	517	47,5
30% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 30% of waste activated sludge to the dry mass of soil		738	241	114	1616	31415	621	67,5
Średnia – Mean		557	163	59,8	886	16691	355	29,9
		Zbiór jesienny – Autumn harvest						
Obiekt kontrolny – Control object		2336	266	15,3	141	1885	124	7,80
NPK		3175	188	19,2	104	1320	132	12,9
10% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 10% of waste activated sludge to the dry mass of soil		5646	946	26,3	293	4255	308	30,0
20% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 10% of waste activated sludge to the mass of soil		9398	1529	48,3	529	9530	401	54,2
30% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 30% of waste activated sludge to the dry mass of soil		8085	1394	40,9	339	6577	459	36,2
Średnia – Mean		5728	865	30,0	281	4713	285	28,2
		Suma – Sum						
Obiekt kontrolny – Control object		2469	330,9	22,0	392	6037	249	7,80
NPK		3798	261,3	48,4	795	10339	277	31,5
10% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 10% of waste activated sludge to the dry mass of soil		6325	1206,0	111,4	1175	22700	676	46,1
20% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 10% of waste activated sludge to the mass of soil		10010	1702,0	112,1	1517	29955	918	101,7
30% świeżej masy osadu w stosunku do masy gleby 30% of waste activated sludge to the dry mass of soil		8823	1635,0	154,9	1955	37992	1080	103,7
Średnia – Mean		45204	1027,0	89,8	1167	21405	640	58,2

W popiele właściwym, otrzymanym ze spalania biomasy *Miscanthus sinensis* (średnio z 25 próbek trawy, pobranych z obiektów o zróżnicowanym nawożeniu azotowym, tj. 50-200 kg ha⁻¹, głównie w postaci osadu ściekowego), KALEMBASA (2006) stwierdziła (%): Zn 0,375 ; Cd 0,075 ; Pb 0,047 ; Ni 0,040 ; Cu 0,013 ; Cr 0,006.

4. Wnioski

- W doświadczeniu wazonowym, w I roku uprawy, w liściach *Miscanthus sacchariflorus*, stwierdzono znacznie większą zawartość Pb, Cr, Cu, Ni i Co, niż w łodygach. Nawożenie osadem ściekowym spowodowało istotnie większą bioakumulację głównie Cu, Zn i Ni w obu analizowanych częściach trawy.
- W II roku uprawy stwierdzono znacznie większą zawartość badanych metali ciężkich w biomacie (liście + łodygi) *Miscanthus sacchariflorus*, w porównaniu z I rokiem. Znacznie więcej tych metali zanotowano w grudniowym niż czerwcowym zbiorze trawy.
- W biomacie miskanta cukrowego, w II roku uprawy, pod wpływem nawożenia osadem ściekowym stwierdzono (sumarycznie z dwóch zbiorów) więcej Cd, Cr, Zn i Ci w stosunku do obiektu kontrolnego, a nawożenie mineralne wpłynęło na zwiększenie zawartości Pb, Cr i Cu, w porównaniu z działaniem osadu ściekowego.
- Pobranie i wyniesienie metali ciężkich z plonem miskanta cukrowego było wielokrotnie większe w II roku uprawy, w stosunku do I roku; największe z obiektów nawożonych osadem ściekowym w najwyższej (30%) i średniej (20%), zastosowanej dawce.
- Przeprowadzony eksperyment wskazuje, iż *Miscanthus sacchariflorus* można uprawiać w celach fitoremediacji (fitoekstrakcji), ze zwróceniem uwagi na zawartość metali ciężkich, która pozostanie w popiele po spaleniu biomasy tej rośliny, a którą należy unieszkodliwić.

Literatura

- BARAN S., FLIS-BUJAK M., TURSKI R., ŻUKOWSKA G., 1996. Zmiany właściwości fizyko-chemicznych gleby lekkiej użyźnionej osadem ściekowym. Roczniki Gleboznawcze, 47 (2/4), 123-130 (periodyki naukowe).
- BUDZYŃSKI W., BIELSKI S., 2004. Surowce energetyczne pochodzenia rolniczego. Cz. II. Biomasa jako paliwo stałe (artykuł przeglądowy). Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura, 3(2), 15-26.
- DEUTER M., JEŻOWSKI S., 2002. Stan wiedzy o hodowli traw olbrzymich z rodzaju *Miscanthus*. Postępy Nauk Rolniczych, 2, 59-67.

- IŻEWSKA A., 2006. Zawartość metali ciężkich w trzcinie chińskiej jako wskaźnik jej wykorzystania do utylizacji osadów ściekowych i kompostów z osadów ściekowych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 512, 165-171.
- KALEMBASA D., MALINOWSKA E., JAREMKO D., JEŻOWSKI S., 2004. Wpływ nawożenia NPK na strukturę plonu traw *Miscanthus ssp.*. *Biuletyn IHAR*, 234, 205-211.
- KALEMBASA S., KALEMBASA D., 1992. A quick metod for the determination of C/N ratio in soils. *Polish Journal of Soil Science*, 25 (1), 41-46.
- KALEMBASA D., 2006. Ilość i skład chemiczny popiołu biomasy roślin energetycznych. *Acta Agrophysica*, 7(4), 909-914.
- KRZYWY E., IŻEWSKA A., WOŁOZYK Cz., 2004. Bezpośredni i następczy wpływ komunalnego osadu ściekowego i kompostów sporządzonych z osadu ściekowego na wielkość plonu i zawartość mikropierwiastków w słomie trzcinie chińskiej (*Miscanthus sacchariflorus*). *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 502, 865-875.
- MALINOWSKA E., KALEMBASA D., JEŻOWSKI S., 2006. Wpływ dawek azotu na plon i zawartość makroelementów w trawie *Miscanthus sacchariflorus* uprawianej w doświadczeniu wazownym. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 512, 403-409.
- ROGÓZ A., 2002. Zawartość i pobranie pierwiastków śladowych przez rośliny przy zmiennym odczynie gleby. Cz. II. Zawartość i pobranie kadmu, niklu oraz ołowiu przez rośliny. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 482, 439-451.
- ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA w sprawie komunalnych osadów ściekowych z dnia 1 sierpnia 2002 roku. *Dz. U. Nr. 134, poz. 1140*.
- WOŁOZYK Cz., 2003. Agrochemiczna ocena nawożenia kompostami z komunalnych osadów ściekowych i odpadami przemysłowymi. *Rozprawy AR Szczecin*, 217, 120.

Changes in content of heavy metals in *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack. biomass under influence of fertilization of waste activated sludge

D. KALEMBASA, E. MALINOWSKA

Department of Soil Sciences and Agricultural Chemistry, University of Podlasie in Siedlce

Summary

In the pot experiment carried out during two years the influence of the fertilization with there different (10, 20 and 30% of fresh matter to the mass of soil) doses of waste activated sludge in the comparison to mineral fertilization (NPK) on the content of heavy metals in the biomass of *Miscanthus sacchariflorus* was investigated. In the first year of experiment the biomass of *Miscanthus* was harvested as one yield which was separated for leaves and steams, whereas in the second year of cultivation the biomass was twice in the June and December harvested. The dry mass of *Miscanthus sacchariflorus* was mineralized by "dry combustion method" and after ash was dissolved in that and after that in the solution the content of Pb, Cd, Cr, Cu, Zn, Ni and Co was

determined by ICP-AES method. The higher content of determined elements in the biomass harvested in the first year of cultivation was stated in the leaves than in stems. The fertilization with waste activated sludge caused a significant increase in the content of determined elements in the leaves and stems of *Miscanthus sacchariflorus*. The uptake of determined elements was much higher in the first than the second year of cultivation. The increasing doses of waste activated sludge also caused higher uptake of determined elements. Among determined elements the fertilized plants have taken up the highest amount of Zn and Pb but the lowest Co and Cr.

Recenzent – Reviewer: *Waldemar Martyn*

Adres do korespondencji – Address for correspondence:
Prof. dr hab. Dorota Kalembasa
Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej
Akademia Podlaska
ul. Prusa 14, 08-110 Siedlce
tel. (025) 6431352