

DZIAŁANIE NASTĘPCZE OSADU ŚCIEKOWEGO ZASTOSOWANEGO
DO GLEBY W DOŚWIADCZENIU WAZONOWYM NA ZAWARTOŚĆ
METALI CIĘŻKICH W TRAWIE *MISCANTHUS SACCHARIFLORUS*

Dorota Kalembasa, Elżbieta Malinowska

Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej, Akademia Podlaska w Siedlcach
ul. Prusa 14, 08-110 Siedlce
e-mail: kalembasa@ap.siedlce.pl

Streszczenie. W doświadczeniu wazonowym badano wpływ nawożenia osadem ściekowym i dla porównania – nawożenia mineralnego (NPK) na zawartość i pobranie Zn, Cu, Ni, Pb, Cd, Cr, Co z biomasą trawy *Miscanthus sacchariflorus*, w III roku uprawy. Na bazie plonu biomasy i zawartości metali obliczono ich pobranie. Stwierdzono istotny wpływ następczego działania osadu ściekowego, zwłaszcza jego większych dawek, na kumulowanie się Zn, Cu i Cd w biomacie testowanej trawy. Sumaryczne pobranie Zn, Cu, Ni, Pb i Co przez analizowaną trawę było największe na obiektach nawożonych średnią (20%) dawką osadu ściekowego, a Cd i Cr – nawożonych dawką największą (30%). Zawartość badanych metali w glebie po zbiorze biomasy miskanta, w III roku uprawy, była większa, z wyjątkiem Cd, na obiektach nawożonych osadem ściekowym, niż na obiekcie nawożonym mineralnie (NPK) i obiekcie kontrolnym.

Słowa kluczowe: *Miscanthus sacchariflorus*, metale ciężkie, nawożenie, osad ściekowy

WSTĘP

Deficyt naturalnych surowców kopalnych w Europie, wzrastające ich ceny oraz nałożony na Polskę obowiązek stosowania surowców odnawialnych w produkcji energii na poziomie 7,5% do 2010 roku, spowodował zwiększenie upraw wysokowydajnych roślin energetycznych (Gogół 2001, Dradrach i in. 2007). Wielu autorów podaje, że trawy należą do najlepszych gatunków roślin, z przeznaczeniem do produkcji bioenergii (Deuter, Jeżowski 1997, Jeżowski 2003, Martyn i in. 2007).

Uprawa roślin energetycznych na glebie skażonej metalami ciężkimi lub nawożonej różnego rodzaju odpadami może doprowadzić do nadmiernej bioakumulacji tych pierwiastków i ponownego włączenia ich do obiegu.

Celem pracy było zbadanie ogólnej zawartości metali ciężkich w biomacie trawy *Miscanthus sacchariflorus* oraz w glebie, po trzech latach od zastosowanego nawożenia osadem ściekowym.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie wazonowe założono wiosną 2005 roku w szklarni. Wazonny o pojemności 20 dm³ wypełniono materiałem glebowym o składzie granulometrycznym piasku gliniastego (wg PN-R-04033), który odznaczał się następującymi właściwościami: $\text{pH}_{\text{KCl}} = 6,60$, zawartość węgla w związkach organicznych 30,5 g·kg⁻¹, zawartość ogólna wybranych pierwiastków (mg·kg⁻¹ gleby): Zn - 279, Cu - 18,85, Ni - 5,53, Pb - 63,99, Cd - 0,959, Cr - 8,95, Co - 4,62. Doświadczenie założono w trzech powtórzeniach. Rośliną testową była trawa z rodzaju *Miscanthus sacchariflorus* (miskant cukrowy). Zawartość ogólną metali ciężkich oznaczono metodą ICP-AES, po mineralizacji próbki gleby na sucho w piecu muflowym, w temperaturze 450°C i roztworzeniu HCl (1:1). Próbki trawy oraz gleby do badań pobrano z następujących obiektów nawozowych:

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

We wszystkich obiektach doświadczenia wysiano nawozy fosforowe (superfosfat potrójny) i potasowe (siarczan potasu), zachowując stosunek N : P : K równy 1 : 0,8 : 1,2. Świeży osad ściekowy pochodził z oczyszczalni ścieków komunalnych w Siedlcach. Zawartość metali ciężkich (w mg·kg⁻¹ suchej masy osadu: Zn - 1453; Cu - 199; Ni - 52,74; Pb - 98,7; Cd - 1,70; Cr - 20,5; Co - 4,49) w zastosowanym osadzie ściekowym (Kalembasa i Malinowska 2007) nie przekraczała norm określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska (2002) dla uprawy roślin przeznaczonych do spożycia. Świeży osad ściekowy zastosowano jednorazowo (przed wysadzeniem miskanta), mieszając go z glebą w wazonie. W niniejszej pracy omówione są wyniki badań z trzeciego roku (2007) tego doświadczenia, w którym przeprowadzono dwa zbiory biomasy trawy, w czerwcu i grudniu, co było podyktowane nadmiernym wzrostem uprawianej rośliny w wazonach. Materiał roślinny zmielono do średnicy cząstek 0,25 mm i odważono 1 g do

tygielka porcelitowego, po czym utleniono substancję organiczną „na sucho” w temperaturze 450°C w piecu muflowym, w ciągu ok. 15 godzin. Następnie do tygla dodawano 10 ml rozcieńczonego HCl (1:1) i odparowano na łaźni piaskowej w celu rozłożenia węglanów i wydzielenia krzemionki. Zawartość tygla, po dodaniu 5 ml 10% HCl, przeniesiono przez twardy sączek do kolby miarowej o pojemności 100 ml i uzupełniono do kreski wodą destylowaną. Zawartość ogólną Zn, Cu, Ni, Pb, Cd, Cr, Co w materiale roślinnym i w glebie, (po zakończeniu doświadczenia) oznaczono na spektrometrze emisyjnym z indukcyjnie wzbudzoną plazmą ICP-AES. Na podstawie zebranego plonu biomasy (Kalembasa i Malinowska 2008) i zawartości analizowanych pierwiastków obliczono ich pobranie.

Otrzymane wyniki opracowano statystycznie; różnice między średnimi dla 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.

WYNIKI I DYSKUSJA

Analiza chemiczna miskanta cukrowego w III roku uprawy, w doświadczeniu wazonowym, wykazała zróżnicowaną zawartość metali ciężkich w letnim i zimowym terminie zbioru (tab. 1). Otrzymane zawartości można ułożyć w następujące szeregi malejących wartości ($mg \cdot kg^{-1} s.m.$):

- zbiór letni (I): Zn (29,91–12,38) > Cu (5,29–1,89) > Ni (2,39–0,693) > Pb (1,99–0,580) > Cd (0,396–0,257) > Cr (0,441–0,190) > Co – nie wykryto;
- zbiór zimowy (II): Zn (71,95–30,86) > Cd (14,88–8,63) > Ni (3,92–2,96) > Pb (4,26–1,93) > Cu (1,32–0,272) > Cr (0,651–0,478) > Co (0,352–0,027).

Stwierdzono istotny wpływ terminu zbioru na zawartość analizowanych pierwiastków w biomacie badanej trawy. W letnim terminie zbioru oznaczono (średnio) 2-krotnie mniej Zn, Ni, Pb i Cr, ponad 30-krotnie mniej Cd, a Co nie wykryto oraz ponad 4-krotnie więcej Cu, niż w zimowym terminie zbioru. Największą zawartość Zn (prawie 2-krotnie większą w porównaniu z obiektem kontrolnym) stwierdzono w obydwu terminach badań, w biomacie trawy nawożonej największymi dawkami osadu ściekowego (20 i 30%). Uzyskane wyniki (średnio $34,73 mg Zn \cdot kg^{-1}$) mieściły się w granicach jakie podaje dla traw Kabata-Pendias (2002). Najwięcej Cu i Ni zanotowano w biomacie miskanta zebranej w czerwcu, na obiekcie nawożonym średnią dawką osadu ściekowego (20%), a najmniej na obiekcie nawożonym mineralnie NPK. W grudniowym terminie zbioru zawartość tych pierwiastków była bardziej zróżnicowana, najwięcej Cu ($1,32 mg \cdot kg^{-1}$) stwierdzono na największej dawce osadu ściekowego, a Ni ($3,92 mg \cdot kg^{-1}$) na najmniejszej dawce. Znacznie więcej Pb było w biomacie miskanta zebranej zimą ($3,04 mg \cdot kg^{-1}$) niż latem ($1,14 mg \cdot kg^{-1}$). W gru-

dniowym terminie zbioru najwięcej Pb w trawie stwierdzono na obiekcie kontrolnym ($4,26 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) i nawożonym NPK ($3,99 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), a najmniej na obiektach nawożonych osadem ściekowym ($1,93\text{-}2,87 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Do czerwca rośliny nagro-

Tabela 1. Zawartość metali ciężkich ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) w biomase trawy *Miscanthus sacchariflorus*, w III roku doświadczenia wazonowego

Table 1. Content of heavy metals (mg kg^{-1}) in the biomass of *Miscanthus sacchariflorus* in the third year of pot experiment

Obiekt nawozowy Fertilisation treatment	Zn	Cu	Ni	Pb	Cd	Cr	Co
zbiór letni (I) – summer harvest (I)							
Obiekt kontrolny Control treatment	15,95	4,75	1,35	0,593	0,396	0,281	n.w./n.d.
NPK	12,42	1,89	0,693	0,580	0,289	0,190	n.w./n.d.
10%	12,38	4,70	1,49	1,09	0,266	0,198	n.w./n.d.
20%	32,30	5,29	2,39	1,99	0,257	0,296	n.w./n.d.
30%	29,91	3,52	1,37	1,46	0,289	0,441	n.w./n.d.
średnia (I) mean (I)	20,59	4,03	1,46	1,14	0,299	0,281	n.w./n.d.
zbiór zimowy (II) – winter harvest (II)							
Obiekt kontrolny Control treatment	37,93	0,272	2,96	4,26	9,48	0,637	0,044
NPK	30,86	0,550	3,34	3,99	8,63	0,650	0,027
10%	34,22	1,03	3,92	1,93	9,82	0,651	0,132
20%	71,95	1,02	3,29	2,15	13,99	0,478	0,344
30%	69,42	1,32	3,41	2,87	14,88	0,608	0,352
średnia (II) mean (II)	48,87	0,839	3,39	3,04	11,36	0,605	0,180
Średnia – Mean	34,73	2,44	2,42	2,09	5,83	0,443	0,018
NIR _{0,05} :LSD _{0,05} ;							
A – zbiory harvest	2,33	0,726	0,428	0,477	0,438	0,091	
B – nawożenie fertilisation	5,28	1,65	n.i./n.s.	n.i./n.s.	0,993	n.i./n.s.	
A/B – interakcja interaction	5,20	1,62	n.i./n.s.	0,999	0,979	n.i./n.s.	
B/A – interakcja interaction	7,47	2,33	n.i./n.s.	1,43	1,40	n.i./n.s.	

n.w. – nie wykryto – not detected, n.i. – różnica nie istotna – non-significant difference 10%, 20%, 30% świeżej masy osadu ściekowego w stosunku do masy gleby – 10%, 20%, 30% of waste activated sludge to dry mass of soil.

Tabela 2. Pobranie metali ciężkich (mg · wazon⁻¹) z plonem biomasy trawy *Miscanthus sacchariflorus*, w III roku doświadczenia wazonowego**Table 2.** Uptake of heavy metals (mg pot⁻¹) with yields of *Miscanthus sacchariflorus* in the third year of pot experiment

Obiekt nawozowy Fertilisation treatment	Zn	Cu	Ni	Pb	Cd	Cr	Co
zbiór letni (I) – summer harvest (I)							
obiekt kontrolny control object	1,81	0,538	0,153	0,067	0,045	0,032	n.w. n.d.
NPK	1,74	0,265	0,097	0,066	0,041	0,027	n.w. n.d.
10%	4,13	1,57	0,497	0,363	0,089	0,066	n.w. n.d.
20%	12,06	1,78	0,892	0,743	0,096	0,111	n.w. n.d.
30%	11,17	1,31	0,511	0,545	0,108	0,164	n.w. n.d.
średnia (I) mean (I)	6,18	1,09	0,430	0,357	0,076	0,080	n.w. n.d.
zbiór zimowy (II) – winter harvest (II)							
Obiekt kontrolny Control treatment	2,02	0,045	0,158	0,227	0,505	0,034	0,002
NPK	1,85	0,033	0,200	0,239	0,518	0,039	0,002
10%	4,79	0,144	0,549	0,270	1,37	0,091	0,018
20%	14,87	0,211	0,680	0,444	2,89	0,099	0,071
30%	13,88	0,264	0,682	0,574	2,98	0,122	0,036
średnia (II) mean (II)	7,48	0,139	0,454	0,351	1,65	0,077	0,026
suma – sum							
Obiekt kontrolny Control treatment	3,83	0,583	0,311	0,294	0,550	0,066	0,002
NPK	3,59	0,289	3,21	0,305	0,559	0,066	0,002
10%	6,53	1,71	4,66	0,633	1,46	0,165	0,018
20%	26,93	1,99	5,29	1,19	2,99	0,210	0,071
30%	25,05	1,57	4,61	1,12	3,09	0,286	0,036
średnia mean	13,09	1,23	3,62	0,708	1,73	0,159	0,026

n.w. – nie wykryto – not detected.

madziły niewiele Cd (średnio $0,299 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), a w grudniu stwierdzono go od $8,63$ (na obiekcie NPK) do $14,88 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (na obiekcie nawożonym 30% dawką osadu), przy średniej dla wszystkich obiektów $11,36 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Nawożenie istotnie wpłynęło na zawartość Zn, Cu i Cd, a dla pozostałych pierwiastków nie stwierdzono istotnego wpływu.

Pobranie metali ciężkich z plonem biomasy trawy *Miscanthus sacchariflorus*, w III roku uprawy, było największe na obiektach nawożonych osadem ściekowym w dawce 20 i 30% (tab. 2). Pobranie badanych metali zależało m.in. od wielkości plonu biomasy tej rośliny – większe na obiektach nawożonych większymi dawkami osadu (Kalembasa i Malinowska 2008). Krzywy i in. (2004) podają, że wraz ze zwiększającymi się dawkami osadu ściekowego zwiększa się pobranie mikroelementów przez słomę trzciny chińskiej. W zbiorze zimowym, w porównaniu do zbioru letniego, stwierdzono (średnio) większe pobranie Zn, Ni, Cd i Co, zbliżone Pb, a mniejsze Cu i Cr.

Tabela 3. Zawartość ogólna metali ciężkich ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) w glebie, po zakończeniu III roku doświadczenia wazonowego

Table 3. Total content of heavy metals (mg kg^{-1}) in soil after the end of the third year of experiment

Obiekt nawozowy Fertilisation treatment	Zn	Cu	Ni	Pb	Cd	Cr	Co
Obiekt kontrolny Control treatment	173,1	8,67	3,99	31,06	0,439	6,33	1,48
NPK	109,9	7,11	3,11	22,41	0,452	6,51	1,29
10%	177,3	9,89	4,16	31,95	0,441	6,75	1,48
20%	198,7	11,10	4,40	34,07	0,425	7,05	1,63
30%	197,0	10,65	4,10	39,83	0,496	7,43	1,57
średnia mean	171,2	9,48	3,95	31,87	0,451	6,82	1,49
$\text{NIR}_{0,05}$ $\text{LSD}_{0,05}$	12,26	n.i./n.s.	0,724	7,16	n.i./n.s.	n.i./n.s.	0,199

n.i.– różnica nie istotna – n.s. – non-significant difference.

W III roku uprawy miskanta cukrowego stwierdzono nadal zwiększoną zawartość metali ciężkich w glebie obiektów nawożonych osadem ściekowym; większą Zn, Cu, Ni i Co na dawce 20% osadu, a Pb, Cd i Cr na dawce 30% osadu. (tab. 3). Zawartość badanych metali (średnia) układała się w następującym szeregu malejących wartości ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$): Zn ($171,2$) > Pb ($31,87$) > Cu ($9,48$) > Cr

(6,82) > Ni (3,95) > Co (1,49) > Cd (0,451). Na obiekcie kontrolnym po 3 latach uprawy testowej trawy zawartość metali ciężkich w glebie zmniejszyła się, w porównaniu z wartościami przed założeniem doświadczenia (w %): Zn – 38; Cu – 54; Ni – 27,8; Pb – 51,5; Cd – 54,2; Cr – 29,3; Co – 68, na co wpłynęło głównie pobranie tych pierwiastków i wyniesienie z plonem biomasy miskanta.

WNIOSKI

1. Zawartość badanych metali ciężkich w biomase trawy *Miscanthus sacchariflorus*, średnia ze zbiorów, w III roku doświadczenia wazonowego, układała się w następującym szeregu malejących wartości ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$): Zn (34,73) > Cd (5,83) > Cu (2,44) > Ni (2,42) > Pb (2,09) > Cr (0,443) > Co (0,018).

2. Stwierdzono istotny wpływ następczego działania osadu ściekowego, zwłaszcza jego większych dawek, na kumulowanie się Zn, Cu i Cd w biomase testowanej trawy, w III roku jej uprawy.

3. Średnie, sumaryczne pobranie metali ciężkich, z dwóch zbiorów, można ułożyć w następującym szeregu malejących wartości ($\text{g}\cdot\text{wazon}^{-1}$): Zn (13,09) > Ni (3,62) > Cd (1,73) > Pb (0,708) > Cr (0,159) > Co (0,026).

4. Zawartość badanych metali w glebie po zbiorze biomasy miskanta była większa, z wyjątkiem Cd, na obiektach nawożonych osadem ściekowym, niż na obiekcie nawożonym mineralnie (NPK) i obiekcie kontrolnym.

PŚMIENICTWO

- Deuter M., Jeżowski S., 1997. Szanse i problemy hodowli traw z rodzaju *Miscanthus* jako roślin alternatywnych. W: Rośliny alternatywne w Polsce. Wyd. IGR PAN, Poznań, 4, 45-48.
- Dradrach A., Gąbka D., Szlachta J., Wolski K., 2007. Wartość energetyczna kilku gatunków traw uprawianych na glebie lekkiej. *Łąkarstwo w Polsce*, 10, 29-35.
- Gogół W. 2001. Możliwości wykorzystania energii odnawialnych w Polsce. W: Techniczne, ekologiczne i ekonomiczne aspekty energetyki odnawialnej. Wyd. SGGW, 12-25.
- Jeżowski S., 2003. Rośliny energetyczne – produktywność oraz aspekt ekonomiczny, środowiskowy i socjalny ich wykorzystania jako biopaliwa. *Post. Nauk Roln.*, 3, 61-72.
- Kabata-Pendias A., 2002. Biogeochemia cynku. W: Cynk w środowisku – problemy ekologiczne i metodyczne. *Zesz. Nauk. Komitetu „Człowiek i Środowisko”*, PAN, Warszawa, 33, 11-18.
- Kalembasa D., Malinowska E. 2007. Zmiany zawartości metali ciężkich w *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim. Hack.) pod wpływem nawożenia osadem ściekowym. *Łąkarstwo w Polsce*, 10, 99-110.
- Kalembasa D., Malinowska E., 2008. Wpływ dawek osadu ściekowego na plon biomasy trawy *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim. Hack.), zawartość siarki oraz wartość energetyczną. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 533, 173-179.
- Krzywy E., Iżewska A., Wołoszyk Cz., 2004. Pobranie i wykorzystanie mikroelementów w okresie dwóch lat przez trzcinę chińską (*Miscanthus sacchariflorus*) z osadu ściekowego oraz z kompostów wyprodukowanych z osadu ściekowego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 502, 877-885.

Martyn W., Wylupek T., Czerwiński A., 2007. Zawartość wybranych makroskładników w glebie i roślinach energetycznych nawożonych osadami ściekowymi. *Łąkarstwo w Polsce*, 10, 149-158.
Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie komunalnych osadów ściekowych z dnia 1 sierpnia 2002 roku. Dz. U. Nr 134, poz. 1140.

INFLUENCE OF AFTER EFFECT OF WASTE ACTIVATED SLUDGE USED
IN SOIL OF POT EXPERIMENT ON HEAVY METALS CONTENT
IN *MISCANTHUS SACCHARIFLORUS*

Dorota Kalembasa, Elżbieta Malinowska

Department of Soil Science and Plant Nutrition, Academy of Podlasie
ul. B. Prusa, 08-114 Siedlce
e-mail: kalembasa@ap.siedlce.pl

Abstract. In the third year of pot experiment the influence of fertilisation with waste activated sludge applied in the first year of the experiment and - for comparison - standard mineral fertilisers (N, P, K) on the content in the biomass of the following metals: Zn, Cu, Ni, Pb, Cd, Cr and Co as well as the uptake of metals by *Miscanthus sacchariflorus* was investigated. On the basis of yield and the content of determined metals the uptake was calculated. The successive effect of waste activated sludge, especially its higher doses, caused a significant influence on Zn, Cu, and Cd accumulation in biomass of tested grass. The highest uptake of total Zn, Cu, Ni, Pb, and Co by investigated plant was noted in treatments fertilised with medium (20%) dose of waste activated sludge, while that of Cd and Cr was recorded for the treatment fertilised with the highest dose (30%). The higher content of analysed elements in soil after *Miscanthus* biomass harvested in the third year of cultivation was in objects fertilised with waste activated sludge (with the exception of Cd) compared with the mineral fertilised (N,P,K) and control treatments.

Key words: *Miscanthus sacchariflorus*, heavy metals, fertilisation, waste activated sludge