

Dorota Kalembasa\*, Elżbieta Malinowska\*

**DZIAŁANIE OSADU ŚCIEKOWEGO NA ZAWARTOŚĆ METALI  
CIĘŻKICH W BIOMASIE TRAWY *MISCANTHUS SACCHARIFLORUS*  
ORAZ W GLEBIE**

**IMPACT OF SEWAGE SLUDGE ON HEAVY METALS CONTENT IN THE  
BIOMASS *MISCANTHUS SACCHARIFLORUS* AND IN SOIL**

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

**Key words:** *Miscanthus sacchariflorus*, sewage sludge, mineral fertilization, heavy metals.

*Impact of fertilization with sewage sludge applied in three doses (10, 20,30 t·ha<sup>-1</sup>) and mineral fertilizers (NPK) on the content of heavy metals (Pb, Cd, Cr, Co, Cu, Ni, Zn) in the biomass of Miscanthus harvested in the third and fourth year of cultivation was investigated. The content of heavy metals was lower in the biomass of Miscanthus harvested in the fourth than third year of cultivation. The content all heavy metals in the soil samples taken after fourth year of Miscanthus cultivation decreased in the comparison to the content of those metals determined in the soil taken from control object.*

## 1. WPROWADZENIE

Trawa z rodzaju *Miscanthus* jest rośliną wieloletnią, jedną z nielicznych o mechanizmie fotosyntezy C<sub>4</sub>, która w warunkach europejskich wykazuje bardzo wysoką odporność na większość chorób i szkodników roślinnych. Ze względu na jej właściwości, trawę tę charakteryzują duże wartości przemysłowa oraz energetyczna, porównywalna z wartością drewna opałowego, w związku z czym trawa ta traktowana jest jako cenne źródło energii odnawialnej [Roszewski 1996, Szeptycki 2000, Dradrach i in. 2007, Kalembasa i in. 2004, 2008]. Uprawa roślin szybko rosnących stwarza rolnikom szanse zwiększenia

---

\* *Prof. dr hab. Dorota Kalembasa, dr inż. Elżbieta Malinowska – Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej, Akademia Podlaska, ul. Prusa 14, 08-100 Siedlce; kontakt: tel. 25 634 12 87, e-mail: kalembasa@ap.siedlce.pl; tel. 25 634 13 30; malinowskae@ap.siedlce.pl*

dochodowości i utrzymania zatrudnienia. Znaczenie biomasy jako surowca energetycznego zwiększa się również ze względu na ograniczone zasoby surowców mineralnych oraz rosnące ich ceny.

Celem pracy było określenie efektów działania różnych dawek osadu ściekowego na zawartość metali ciężkich w biomase trawy *Miscanthus sacchariflorus*, w III i IV roku ich uprawy polowej oraz w glebie po zbiorze tej trawy w IV roku badań.

## 2. MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie polowe założono wiosną 2005 r. na glebie lekkiej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego (wg PN-R-04033), którą cechowały następujące właściwości:

- 1)  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  – 6,60; oznaczone metodą potencjometryczną;
- 2) zawartość węgla w związkach organicznych  $30,5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; oznaczona metodą oksydacyjno-miareczkową [Kalembasa, Kalembasa 1992]
- 3) zawartość ogólna metali ciężkich ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ gleby): Pb – 64,0; Cd – 0,959; Cr – 8,95; Co – 4,62; Cu – 18,85; Ni – 5,53; Zn – 279, oznaczona techniką ICP-AES, po mineralizacji próbki gleby „na sucho” w piecu muflowym, w temperaturze  $450 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

W doświadczeniu wydzielono poletka o powierzchni  $2 \text{ m}^2$  w trzech powtórzeniach, w układzie całkowicie losowym. Rośliną testową była trawa *Miscanthus sacchariflorus* (miskant cukrowy). Doświadczenie założono według schematu:

- 1) obiekt kontrolny (bez nawożenia);
- 2) nawożenie mineralne ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ): N (1,04), P (0,83), K (1,25); N w formie mocznika, według ilości N zawartego w dawce  $20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{s.m.}$  osadu (zawartość N w osadzie wynosiła  $50,2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s.m.}$ ); P w superfosfacie potrójnym; K w siarczanie potasu;
- 3) nawożenie osadem ściekowym w dawce: 10, 20 i  $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{s.m.}$

Na wszystkich obiektach nawożonych zachowano stosunek N:P:K równy 1:0,8:1,2. Osad ściekowy pochodził z mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków komunalnych w Siedlcach.

Oczyszczanie ścieków prowadzone było metodą osadu czynnego z podwyższonym usuwaniem czynników biogennych. Zagęszczanie osadu czynnego odbywało się w zagęszczaczu grawitacyjnym, a następnie osad poddano beztlenowej fermentacji metanowej oraz odwadniano mechanicznie. Skład chemiczny osadu ściekowego wskazywał na jego przydatność do nawożenia roślin [Rozporządzenie... 2002], zawartość metali ciężkich ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s.m.}$ ) wynosiła: Pb 98,7; Cd 2,70; Cr 20,5; Co 4,49; Cu 199; Zn 2453; Ni 52,7. Przed wysadzeniem rizomów, osad wymieszano z glebą do głębokości 25 cm.

Zbiór biomasy przeprowadzono w grudniu 2007 i 2008 roku, po III i IV roku uprawy. Materiał roślinny zmielono do średnicy cząstek 0,25 mm i odważono 1g do tygla porcelitowego, po czym utleniono substancję organiczną „na sucho”, w temperaturze  $450 \text{ }^{\circ}\text{C}$  w piecu muflowym, w ciągu 15 godzin. Następnie do tygla dodawano 10 ml rozcieńczonego HCl (1:1) i odparowano na łaźni piaskowej w celu rozłożenia węglanów i wydzielenia krzemionki. Za-

wartość tygla, po dodaniu 5ml 10% HCl, przeniesiono przez twardy sącdek do kolby miarowej o pojemności 100 ml i uzupełniono do kreski wodą destylowaną.

W roztworze podstawowym oznaczono zawartość ogólną: Pb, Cd, Cr, Co, Cu, Ni i Zn, techniką ICP – AES. Po IV roku uprawy badano w glebie z powierzchniowego poziomu próchniczego (0 – 30 cm) zawartość metali ciężkich techniką ICP – AES (jak poprzednio).

Na podstawie plonu biomasy miskanta zebranego w III roku uprawy [Kalembasa i in. 2008], plonu zebranego w IV roku (dane niepublikowane) oraz zawartości metali ciężkich, obliczono pobranie wymienionych wyżej pierwiastków przez rośliny. Wyniki opracowano statystycznie; różnice między wartościami średnimi w odniesieniu do nawożenia oraz lat uprawy oceniono testem Fishera – Snedecora, a w razie ich istotności obliczono według testu Tukey'a wartość  $NIR_{0,05}$ .

### 3. WYNIKI I DYSKUSJA

W doświadczeniu z uprawą trawy *Miscanthus sacchariflorus*, przeprowadzonym w warunkach środkowowschodniej Polski, stwierdzono większą zawartość większości badanych metali ciężkich, z wyjątkiem Co, w biomase tej trawy zebranej w III roku niż w biomase zebranej w IV roku uprawy, z każdego obiektu nawozowego (tab. 1).

**Tabela 1.** Zawartość ogólna metali ciężkich ( $mg \cdot kg^{-1}$ ) w biomase trawy *Miscanthus sacchariflorus*, w III i IV roku uprawy, w doświadczeniu polowym

**Table 1.** The total content of heavy metals ( $mg \cdot kg^{-1}$ ) in the biomass *Miscanthus sacchariflorus* gathered in the third and fourth year of cultivation in field experiment

Obiekt nawozowy	Pb	Cd	Cr	Co	Cu	Ni	Zn
	III rok uprawy						
Obiekt kontrolny	0,034	1,07	0,436	n.w.	1,68	3,25	15,27
NPK	0,627	2,50	0,497	0,010	1,06	4,87	24,71
Osad 10 t s.m. · ha <sup>-1</sup>	0,438	2,92	0,505	0,085	1,47	3,80	15,86
Osad 20 t s.m. · ha <sup>-1</sup>	0,823	4,97	0,243	0,101	1,15	3,90	16,21
Osad 30 t s.m. · ha <sup>-1</sup>	0,777	4,67	0,418	0,149	1,56	2,90	26,19
Średnia	0,540	3,23	0,420	0,069	1,38	3,74	19,65
IV rok uprawy							
Obiekt kontrolny	0,088	1,61	0,160	0,010	0,539	1,46	13,91
NPK	0,342	2,05	0,187	0,015	0,841	1,65	14,29
Osad 10 t s.m. · ha <sup>-1</sup>	0,468	3,14	0,297	0,116	0,643	0,796	11,28
Osad 20 t s.m. · ha <sup>-1</sup>	0,817	4,02	0,118	0,288	0,515	0,859	13,75
Osad 30 t s.m. · ha <sup>-1</sup>	0,844	3,94	0,356	0,189	1,08	0,949	16,44
Średnia	0,512	2,95	0,224	0,134	0,724	1,14	13,93
$NIR_{0,05}$ w odniesieniu do:							
A – lat uprawy	n.i.	0,351	0,085	0,002	0,246	0,543	2,06
B – nawożenia	0,257	0,797	0,193	0,005	n.i.	1,23	4,68
A/B – interakcji	n.i.	0,786	n.i.	0,005	n.i.	n.i.	4,61
B/A – interakcji	n.i.	1,13	n.i.	0,007	n.i.	n.i.	6,61

**Objaśnienia:** n.w. – nie wykryto; n.i. – różnica nieistotna przy  $p \leq 0,05$ .

Po III roku uprawy miskanta w biomase tej trawy stwierdzono, średnio, ponad 3-krotnie więcej Ni, prawie 2-krotnie więcej Cr i Cu, więcej Zn i Cd oraz nieznacznie więcej Pb niż po IV roku uprawy. W biomase miskanta na obiektach nawożonych mineralne mniej było Cd, Co i Cu w III roku, oraz Pb, Cd i Co w IV roku uprawy, a więcej Ni w porównaniu z nawożeniem osadem ściekowym. Nawożenie tym osadem, zwłaszcza większymi dawkami (20 i 30 t·ha<sup>-1</sup> s.m.), powodowało przeważnie zwiększoną bioakumulację metali ciężkich w obydwu latach badań.

Kalembasa i Malinowska [2009] w doświadczeniu wazonowym z uprawą trawy *Miscanthus sacchariflorus*, (na glebie z poziomu próchniczego gleby w doświadczeniu polowym) nawożonej osadem ściekowym, stwierdziły średnio mniejszą zawartość Pb, Cd, Cr, Co i Zn, zbliżoną Ni oraz większą zawartość Cu niż w omawianym doświadczeniu polowym w III roku uprawy.

Średnie pobranie metali ciężkich z plonem biomasy miskanta było większe w III roku badań niż w IV roku badań, z wyjątkiem Co, co wynikało ze zróżnicowanego plonowania trawy w poszczególnych latach doświadczenia (tab. 2).

**Tabela 2.** Pobranie metali ciężkich (mg · ha<sup>-1</sup>) z plonem biomasy trawy *Miscanthus sacchariflorus*, w III i IV roku uprawy, w doświadczeniu polowym

**Table 2.** Uptake of heavy metals (mg · kg<sup>-1</sup>) of in the biomass *Miscanthus sacchariflorus* in the third and fourth year of cultivation in field experiment

Obiekt nawozowy	Pb	Cd	Cr	Co	Cu	Ni	Zn
	III rok uprawy						
Obiekt kontrolny	47,6	1498	610,4	n.w.	2352	4550	21378
NPK	1179,0	4700	934,4	18,80	1993	9156	46455
Osad 10 t s.m. · ha <sup>-1</sup>	819,1	5460	944,4	158,9	2749	7106	29658
Osad 20 t s.m. · ha <sup>-1</sup>	1621,0	9791	478,7	198,9	2266	7683	31934
Osad 30 t s.m. · ha <sup>-1</sup>	1539,0	9247	827,6	295,0	3089	5742	51856
średnia	1041,0	6139	759,1	134,3	2490	6847	36256
IV rok uprawy							
Obiekt kontrolny	176,9	3236	321,6	20,10	1083	2935	27959
NPK	837,9	5023	458,2	36,75	2060	4043	35011
Osad 10 t s.m. · ha <sup>-1</sup>	1147,0	5118	484,1	189,1	1048	1297	18386
Osad 20 t s.m. · ha <sup>-1</sup>	866,0	4261	314,8	305,3	545,9	910,5	14575
Osad 30 t s.m. · ha <sup>-1</sup>	1739,0	8116	733,4	389,3	2225	1955	33866
średnia	953,4	5151	462,4	188,1	1392	2228	25959
Średnia z 2 lat	997,2	5645	610,8	161,2	1941	4538	31108

**Objaśnienie:** n.w. – nie wykryto.

Na obiektach z największą dawką osadu ściekowego (30 t·ha<sup>-1</sup>s.m.) pobranie Zn było największe w obydwu latach badań oraz Cd, Cr, Cu i Ni w IV roku eksperymentu. Średnią zawartość metali ciężkich pobraną z plonem biomasy trawy *Miscanthus sacchariflorus* w obydwu latach badań można ułożyć w następującym szeregu według malejących wartości (mg·ha<sup>-1</sup>): Zn > Cd > Ni > Cu > Pb > Cr > Co.

W glebie analizowanej po IV roku uprawy miskanta cukrowego stwierdzono zmniejszenie się ogólnej zawartości Pb, Cd, Cr, Co, Cu, Ni i Zn w porównaniu z zawartością w glebie przed założeniem doświadczenia (tab. 3). Zmniejszenie zawartości metali (średnio) w glebie po IV roku uprawy rośliny testowej wynosiło (%): Pb – 49,9; Cd – 51,2; Cr – 29,7; Co – 72,7; Cu – 48,0; Ni – 34,4; Zn – 32,5. W glebie nawożonej osadem ściekowym (średnio z dawek) mniej było Pb, Cr, Co, Cu i Zn niż w glebie nawożonej mineralnie. Zawartość badanych metali była największa w glebie obiektu kontrolnego, w porównaniu z glebą nawożoną, co wynikało z większego plonowania oraz pobierania składników pokarmowych przez miskanta, w tym metali ciężkich.

**Tabela 3.** Zawartość ogólna metali ciężkich ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) w glebie, po IV roku uprawy trawy *Miscanthus sacchariflorus* w doświadczeniu polowym

**Table 3.** The content of heavy metals ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) in soil after the fourth year of cultivation in field experiment

Obiekt nawozowy	Pb	Cd	Cr	Co	Cu	Ni	Zn
	IV rok uprawy						
Obiekt kontrolny	37,82	0,602	7,78	1,51	11,69	4,49	222,0
NPK	32,14	0,422	6,06	1,25	9,71	3,42	182,8
Osad 10 t s.m.·ha <sup>-1</sup>	30,42	0,467	6,20	1,15	9,41	3,53	175,5
Osad 20 t s.m.·ha <sup>-1</sup>	33,60	0,415	5,83	1,20	8,68	3,53	178,0
Osad 30 t s.m.·ha <sup>-1</sup>	26,26	0,435	5,57	1,18	9,44	3,20	182,9
średnia	32,05	0,468	6,29	1,26	9,80	3,63	188,2
NIR <sub>0,05</sub>	n.i.	n.i.	1,09	0,234	1,87	0,746	35,06

**Objaśnienie:** n.i. – różnica nie istotna;  $p \leq 0,05$ .

#### 4. WNIOSKI

1. W doświadczeniu polowym, w warunkach glebowo-klimatycznych środkowowschodniej Polski, średnia zawartość metali ciężkich (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn) w biomase trawy *Miscanthus sacchariflorus* w III roku uprawy była większa niż w IV roku uprawy.
2. Nawożenie osadem ściekowym, zwłaszcza większymi dawkami, spowodowało w obydwu latach badań przeważnie większą bioakumulację metali ciężkich w biomase testowanej trawy w porównaniu z bioakumulacją przy nawożeniu osadem ściekowym mniejszą dawką. W biomase miskanta w III i IV roku uprawy na obiektach nawożonych NPK stwierdzono więcej Ni niż na obiektach nawożonych osadem ściekowym.
3. W glebie analizowanej po zbiorze miskanta cukrowego w IV roku doświadczenia stwierdzono zmniejszenie zawartości metali ciężkich w porównaniu do zawartości w materiale glebowym przed założeniem eksperymentu.

## PIŚMIENNICTWO I AKTY PRAWNE

- DRADRACH A., GĄBKA D., SZLACHTA J., WOLSKI K. 2007. Wartość energetyczna kilku gatunków traw uprawianych na glebie lekkiej. *Łąkarstwo w Polsce* 10: 29–35.
- KALEMBASA D., MALINOWSKA E. 2009. Działanie następcze osadu ściekowego zastosowanego do gleby w doświadczeniu wazonowym na zawartość metali ciężkich w trawie *Miscanthus sacchariflorus*. *Acta Agrophysica* 13(2): 377–384.
- KALEMBASA D., MALINOWSKA E., JAREMKO D., JEŻOWSKI S. 2004. Wpływ nawożenia NPK na strukturę plonu traw *Miscanthus ssp.* *Biuletyn IHAR* 234: 205–211.
- KALEMBASA D., MALINOWSKA E., KALEMBASA S. 2008. Silver grass (*Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack. biomass yield, sulfur content, and energetic value resulting from varied fertilization with sewage sludge. *Miscanthus – Netzwerke und Visionen*. Internationale *Miscanthus – Tagung vom 27 – 28, November in der Schweiz*: 60–66.
- KALEMBASA S., KALEMBASA D. 1992. A quick method for the determination of C/N ratio in mineral soils. *Polish J. Soil Sci.* 25(2): 141–147.
- ROSZEWSKI R. 1996. Miskant olbrzymi – *Miscanthus sinensis giganteus*. W: Nowe rośliny uprawne na cele spożywcze, przemysłowe i jako odnawialne źródło energii. Wyd. SGGW, Warszawa: 123–135.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych.** Dz. U. 2002 r. Nr. 134, poz. 1140.
- SZEPTYCKI A. 2000. Wykorzystanie trzciny chińskiej *Miscanthus* do celów energetycznych. *Polsko-Niemiecka konferencja na temat wykorzystania trzciny chińskiej. Połczyn Zdrój, Szczecin – Expo*: 49–55.