

## IŁOŚĆ I SKŁAD CHEMICZNY POPIOŁU Z BIOMASY ROŚLIN ENERGETYCZNYCH

*Dorota Kalembasa*

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

**Streszczenie.** Spośród roślin energetycznych najczęściej wykorzystywana jest biomasa miskanta chińskiego, ślazuwca pensylwańskiego i wierzby krzewiastej. Zawartość popiołu surowego uzyskiwana z 1 tony biomasy w/w roślin wynosiła odpowiednio w kg: 52,5; 59,5 i 31,5, a popiołu właściwego 14,7; 16 i 17 kg. Przyjmując zawartość popiołu właściwego poszczególnych roślin energetycznych za 100% w popiele miskanta zawartość makroelementów wynosiła 91,9%, w tym wapnia 38,6% i potasu 33,0%, mikroelementów 4,871%, w tym glinu 3,126%, metali ciężkich – 0,556% w tym cynku 0,375%; w popiele ślazuwca – 89,5% makroelementów, w tym wapnia 66,3% i potasu 11,1%, mikroelementów 1,054% w tym glinu 0,5% i żelaza 0,412%, metali ciężkich 0,267% w tym cynku 0,1%; w popiele wierzby krzewiastej: 90,8% makroelementów, w tym potasu 40,4% i wapnia 32,3%, mikroelementów 2,663% w tym glinu 1,288%, metali ciężkich 1,483% w tym cynku 1,342%.

**Słowa kluczowe:** rośliny energetyczne, popiół, skład chemiczny

### WSTĘP

Bilans energetyczny Polski przewiduje, że w 2015 roku 10-11% zużywanej energii będzie pochodziło ze źródeł odnawialnych, w tym z biomasy roślin energetycznych. Zapewnienie wysokiego plonowania roślin energetycznych uzależnione jest głównie od gatunku rośliny energetycznej i nawożenia. W ciągu ostatnich lat w Polsce prowadzone są liczne badania z roślinami o dużych możliwościach produkcji biomasy, takimi jak: wierzba krzewiasta (*Salix sp.*), miskant chiński (*Miscanthus sinensis* Thumb.), ślazuwiec pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby), rutwica wschodnia (*Galega orientalis* Lam.), topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) [1,2,8,9].

Otrzymanie biomasy rośliny energetycznej obejmuje wiele zagadnień związanych z cyklem produkcyjnym (założenie plantacji, nawożenie, mechaniczny zbiór), przygotowaniem materiału roślinnego do wykorzystania jako źródła energii, określeniem wartości opałowej oraz opracowaniem ekologicznego wykorzystania odpadu, jakim jest popiół uzyskiwany w trakcie spalania.

Celem pracy było określenie ilości popiołu surowego, otrzymanego po spaleniu biomasy wybranych roślin energetycznych oraz zbadanie składu chemicznego popiołu właściwego (wydzielonego z popiołu surowego) w aspekcie jego rolniczego wykorzystania.

#### MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy stanowiły rośliny energetyczne: miskant chiński (*Miscanthus sinensis* Thumb.) – 25 próbek, ślazowiec pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby) – 19 próbek i wierzba krzewiasta (*Salix sp.*) – 23 próbki. Rośliny te uprawiano na nawożonych obiektach doświadczalnych od 1 do 12 lat; nawożenie azotowe było zróżnicowane w dawkach od 50 do 200 kg·ha<sup>-1</sup>. Próbki biomasy analizowanych roślin spalono w parownicach porcelitowych, w temperaturze około 600°C i po zakończeniu tego procesu określono wagowo ilość popiołu surowego. Popiół właściwy (czysty) otrzymano z popiołu surowego po oddzieleniu krzemionki i rozłożeniu węglanów. W tym celu do popiołu surowego dodano (z nadmiarem) 6 mol HCl·dm<sup>-3</sup>, do całkowitego rozłożenia węglanów. Kationy, powstałe w czasie mineralizacji materii organicznej roślin, przeprowadzono (w ten sposób) w chlorki. Następnie nadmiar kwasu solnego odparowano na łaźni piaskowej z równoczesnym wydzieleniem krzemionki. Pozostały w parownicy osad rozpuszczono w 10 cm<sup>3</sup> 5% kwasu solnego i przeniesiono do kolby miarowej, oddzielając na sączku twardym wydzieloną krzemionkę. Osad na sączku 3 krotnie przemyto 5 cm<sup>3</sup> kwasu solnego, a następnie 3-krotnie 10 cm<sup>3</sup> wody dejonizowanej. Roztwór w kolbie miarowej uzupełniono do określonej objętości, uzyskując roztwór podstawowy, w którym oznaczono całkowitą zawartość pierwiastków (z grupy makro- i mikroelementów oraz metali ciężkich) na spektrometrze absorpcji atomowej z indukcyjnie wzbudzoną plazmą (ICP-AES), Optima 3200 RL, firmy Perkin Elmer.

#### WYNIKI I DYSKUSJA

Ilość popiołu surowego otrzymanego w czasie spalania 1 tony biomasy badanych roślin energetycznych była istotnie zróżnicowana (tab. 1). Najwięcej popiołu surowego uzyskano ze spalania biomasy ślazowca pensylwańskiego (59,5 kg·t<sup>-1</sup>), mniej z miskanta chińskiego (52,5 kg·t<sup>-1</sup>), a najmniej z wierzby (31,5 kg·t<sup>-1</sup>). Róż-

nice w ilości popiołu właściwego uzyskanego z tych roślin (14,7, 16, 17 kg·t<sup>-1</sup>), były nieistotne, przy średniej wartości z trzech roślin wynoszącej 15,9 kg·t<sup>-1</sup>.

Jakość popiołu ocenia się m.in. na podstawie stosunku masy popiołu surowego do popiołu właściwego. Wartość tego stosunku dla biomasy badanych roślin była zbliżona dla ślazuwca pensylwańskiego (3,72) i miskanta chińskiego (3,58) oraz znacznie niższa dla wierzby (1,85), co wskazuje na ilość krzemionki i węglanów zawartych w popiele surowym. Im szerszy jest ten stosunek, tym więcej w popiele w/w składników.

Dla porównania składu chemicznego popiołu właściwego zawartość oznaczonych pierwiastków podano w procentach masy popiołu właściwego przyjętej za 100 %. Procentowy udział wybranych makroelementów w popiele trzech analizowanych roślin energetycznych był bardzo zbliżony i wynosił odpowiednio: dla miskanta – 91,9%, ślazuwca – 89,5% i wierzby – 90,8%.

Zawartość makroelementów w popiele właściwym z miskanta oraz ze ślazuwca pensylwańskiego układała się w takim samym szeregu malejących wartości Ca>K>S>Mg>P>Na, a w popiele z wierzby: K>Ca>P>Mg>S>Na. Znacznie więcej wapnia stwierdzono w popiele ze ślazuwca (66,3%), niż z miskanta chińskiego (38,6%) i wierzby (32,3%). Zawartość potasu wahała się od 11,1% w popiele ślazuwca do 40,4%, w popiele wierzby. Najwięcej fosforu zanotowano w popiele wierzby (9,12%), a znacznie mniej w popiele z trawy chińskiej (4,44%) i ślazuwca (3,06%). Zawartość magnezu i siarki była zbliżona i kształtowała się w granicach od 3,51 do 6,89 %, przy czym nieco więcej tych makroelementów stwierdzono w popiele z miskanta. W popiele właściwym badanych roślin oznaczono najmniej sodu (od 0,937 w popiele ślazuwca do 3,41%, w popiele miskanta chińskiego). Zawartość omawianych makroelementów w roślinach energetycznych potwierdzają wcześniejsze prace Kalembasy i innych [3-7].

Stosunek P:K:Ca:Mg w popiele analizowanych roślin (gdy P = 1) wynosił dla: miskanta 1:7,43:8,69:1,25, ślazuwca 1:3,63:21,7:1,27, wierzby 1:4,43:3,54:0,43. W praktyce rolniczej do nawożenia najbardziej przydatnym wydaje się być popiół z miskanta. Popiół ze ślazuwca pensylwańskiego (ze znaczną ilością wapnia) może być korzystny na glebach kwaśnych, natomiast na glebach obojętnych może przyczyniać się do retrogradacji fosforu. Uwzględniając np. zawartość fosforu w popiele z miskanta należałoby spalić 77 ton biomasy tej trawy (przy plonie 25 t·ha<sup>-1</sup> s.m., zebranych na obszarze 3 ha), aby można było zastosować do nawożenia 50 kg P·ha<sup>-1</sup>.

Zawartość wybranych mikroelementów w popiele badanych roślin (tab. 1) układała się w następujących szeregach malejących wartości dla: miskanta Al>Fe>Mn>Li>Ba>B; ślazuwca Al>Fe>B>Ba>Mn>Li; wierzby Al>B>Fe>Ba>Mn>Li.

**Tabela 1.** Skład chemiczny popiołu badanych roślin energetycznych  
**Table 1.** Chemical composition of ash from energy crops

Roślina energetyczna Energy crop	Miskant chinski <i>Miscanthus sinensis</i>	Ślaziwiec pensylwański <i>Sida hermaphrodita</i>	Wierzba krzewiasta <i>Salix. sp.</i>	NIR <sub>0,05</sub> LSD <sub>0,05</sub>
Wyszczególnienie Specification	kg z 1000 kg spalonej biomasy kgs from 1000 kg burned biomass			
Popiół surowy Raw ash	52,5	59,5	31,5	6,95
Popiół właściwy Ash proper	14,7	16,0	17,0	n.i. n.s.
Stosunek masy popiołu surowego do właściwego Ratio of raw ash to ash proper	3,57	3,72	1,85	
	w % popiołu = 100 % – in percent of ash = 100 %			
P	4,44	3,06	9,12	0,775
K	33,0	11,1	40,4	4,508
Ca	38,6	66,3	32,3	7,774
Mg	5,53	3,88	3,93	0,844
Na	3,41	0,937	1,51	0,371
S	6,89	4,19	3,51	0,826
Suma makroelementów Sum of macroelements	91,9	89,5	90,8	
Fe	1,453	0,412	0,423	0,221
Al	3,126	0,500	1,288	0,475
Mn	0,116	0,025	0,088	0,014
Li	0,095	0,018	0,023	0,010
B	0,034	0,068	0,470	0,049
Ba	0,047	0,031	0,371	0,040
Suma mikroelementów Sum of microelements	4,871	1,054	2,663	
Pb	0,047	0,050	0,017	0,007
Cd	0,075	0,087	0,006	0,010
Cr	0,006	0,006	0,006	n.i. n.s.
Cu	0,013	0,018	0,065	0,006
Zn	0,375	0,100	1,342	0,115
Ni	0,040	0,006	0,047	0,006
Suma metali ciężkich Sum of heavy metals	0,556	0,267	1,483	
Suma % wszystkich pierwiastków Sum % of all elements	97,3	90,8	94,9	

W aspekcie ochrony środowiska zaleca się uprawę roślin energetycznych do przeprowadzenia sanitacji agrotechnicznej (fitoremediacji, fitomelioracji) na terenach zanieczyszczonych, zwłaszcza metalami ciężkimi. W popiele analizowanych roślin stwierdzono (suma Pb, Cd, Cr, Cu, Zn, Ni) od 0,267 do 1,483% metali ciężkich (tab. 1). Najwięcej tych metali zanotowano w popiele z wierzby, mniej z miskanta, a najmniej ze ślazuwca pensylwańskiego. Zawartość poszczególnych metali w popiele układała się w następujących szeregach malejących wartości: dla miskanta Zn>Cd>Pb>Ni>Cu>Cr; dla ślazuwca Zn>Cd>Pb>Cu>Ni=Cr; dla wierzby Zn>Cu>Ni>Pb>Cd>Cr. W popiele omawianych roślin stwierdzono najwięcej cynku (od 37,5 do 90,5% sumy metali ciężkich), a najmniej chromu (od 0,4 do 2,25% sumy metali ciężkich).

Zawartość metali ciężkich w popiele badanych roślin energetycznych była zróżnicowana, co wskazuje na różne znaczenie detoksycyjne tych roślin. Rozpatrując przykładowo cynk obliczono, że jego zawartość w 1 tonie biomasy miskanta wynosiła 54 g, ślazuwca pensylwańskiego 16 g, a wierzby 2,28 g. Uzyskując wysoki plon roślin (25 t·ha<sup>-1</sup> s.m.), przy wysokim poziomie nawożenia, z 1 hektara można więc wynieść (z plonem): 1,37 kg Zn z miskantem, 0,4 kg Zn ze ślazuwcem i 5,7 kg Zn z wierzbą.

#### WNIOSKI

1. Zawartość popiołu surowego otrzymana ze spalania biomasy badanych roślin energetycznych była zróżnicowana. Najwięcej tego popiołu otrzymano ze ślazuwca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita* Rusby), mniej z miskanta chińskiego (*Miscanthus sinensis* Thumb.), a najmniej z wierzby krzewiastej (*Salix sp.*).

2. Zawartość wybranych makro- i mikroelementów oraz metali ciężkich w popiele właściwym z biomasy analizowanych roślin była zróżnicowana. Wśród makroelementów stwierdzono najwięcej wapnia i potasu, a najmniej sodu; wśród mikroelementów – najwięcej glinu i żelaza, a najmniej (przeważnie) litu; wśród metali ciężkich – najwięcej cynku, a najmniej chromu.

#### PIŚMIENNICTWO

1. **Borkowska H., Styk B.:** Ślazuwec pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby). Uprawa i wykorzystanie. Wyd. AR, Lublin, 1997.
2. **Kalembasa S., Symanowicz B., Kalembasa D., Malinowska E.:** Możliwości pozyskiwania i przeróbki biomasy z roślin szybko rosnących (energetycznych). Nowe spojrzenie na osady ściekowe – odnawialne źródła energii. Cz.II. Polit. Częstoch., 358-364, 2003.
3. **Kalembasa D., Varnhold N., Malinowska E.:** Changes of the cadmium and lead content in the biomass of *Miscanthus* grass depending upon clones and terms of sampling. Proceedings of

- the international conference on bioremediation of soil and groundwater. Silesian University of Technology, Gliwice, 149-153, 2004.
4. **Kalembasa D., Varnhold N., Malinowska E., Jaremko D., Jeżowski S.:** Content of phosphorus in different development stage of some genotype of *Miscanthus*. Księga Konferencyjna – Proceedings, ECOpole 04, Towarzystwo Chemii i Inżynierii Ekologicznej, 53-57, 2004.
  5. **Kalembasa D., Malinowska E., Jaremko D., Jeżowski S.:** Zawartość potasu w różnych klonach trawy *Miscanthus* w zależności od nawożenia mineralnego. Nawozy i Nawożenie 3(24), 359-364, 2005.
  6. **Kalembasa D., Malinowska E.:** Skład chemiczny i plon biomasy wybranych klonów trawy *Miscanthus*. Obieg pierwiastków w przyrodzie. Monografia, tom III., IOŚ, Warszawa 315-320, 2005.
  7. **Kalembasa D., Janinhoff A., Malinowska E., Jaremko D., Jeżowski S.:** Zawartość siarki w wybranych klonach trawy *Miscanthus*. Journal Elementology, 10(2), 309-314, 2005.
  8. **Kościk B., Kalita E.:** Stan i perspektywy uprawy roślin alternatywnych na Zamojszczyźnie. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 468, 47-62, 1999.
  9. **Kościk B.:** Rośliny energetyczne. Wyd. AR w Lublinie, 2003.

## THE AMOUNT AND CHEMICAL COMPOSITION OF ASH OBTAINED FROM BIOMASS OF ENERGY CROPS

*Dorota Kalembasa*

Soil Science and Plant Nutrition Department, Academy of Podlasie  
ul. Prusa 14, 08-110 Siedlce  
e-mail: kalembasa@ap.siedlce.pl

**Abstract.** Among the energy crops, most frequently used at present is the biomass of *Miscanthus* grass, *Sida* and willow. The content of raw ash obtained from 1 ton of biomass of the above plants reached, in kgs, 52.5; 59.5 and 31.5, respectively, and that of ash proper – 14.7; 16 and 17, respectively. Assuming the content of ash of particular energy crops as 100%, in the ash of *Miscanthus* the content of macroelements was 91.9%, including 38.6% of Ca and 33% of K, that of microelements 4.871%, including 3.126% of aluminium, and the content of and heavy metals 0.556%, including 0.375% of zinc; in the ash of *Sida* the content of macroelements was 89.5%, including 66.3% of calcium and 11.1% of potassium, that of microelements 1.054% including 0.5% of aluminium and 0.412% of iron, and the content of heavy metals 0.267%, including 0.1% of zinc; in the ash of willow – the content of macroelements was 90.8%, including 40.4% of potassium and 32.3% of calcium, that of heavy metals was 1.483%, including 1.342% of zinc, and the content of microelements and others was 2.663%, including 1.288% of aluminium.

**Key words:** energy crops, ash, chemical composition