

Alina Kowalczyk-Juško  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
Katedra Produkcji Roślinnej i Agrobiznesu

## REDUKCJA EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ DZIĘKI ZASTĄPIENIU WĘGLA BIOMASĄ SPARTINY PRERIOWEJ

### Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań agrotechnicznych i chemicznych dotyczących wpływu zróżnicowanej agrotechniki na plonowanie i efekty środowiskowe energetycznego wykorzystania biomasy spartiny preriowej (*Spartina pectinata* Link.). Określenie plonu i jego składu chemicznego pozwoliło ustalić wielkość emisji zanieczyszczeń, powstających podczas jej spalania. Na tej podstawie obliczono redukcję rozpatrywanych emisji w przypadku zastąpienia węgla kamiennego biomasą badanej rośliny. Stwierdzono, że spalanie biomasy spartiny z powierzchni 1 ha zamiast węgla kamiennego o równoważnej wartości energetycznej, umożliwia redukcję emisji SO<sub>2</sub> i pyłu o ok. 50% oraz CO o ok. 20%. Rzeczywista emisja NO<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> ze spalania biomasy okazała się większa niż w przypadku węgla.

**Słowa kluczowe:** biomasa, spartina preriowa, redukcja emisji

### Wstęp

Zmniejszenie szkodliwego wpływu działalności człowieka na środowisko jest możliwe dzięki stopniowemu zastępowaniu spalania konwencjonalnych surowców energetycznych, technologiami produkcji energii ze źródeł odnawialnych. Możliwa jest substytucja wszystkich rodzajów paliw: stałych, ciekłych i gazowych. Szczególnie duże korzyści środowiskowe przynosi spalanie lub współspalanie biomasy zamiast węgla kamiennego. Według oceny Ściążko i in. [2007], skład elementarny węgla i biomasy nie różni się pod względem jakości, a jedynie ilości. Biomasa zawiera ok. czterokrotnie więcej tlenu, dwukrotnie mniej węgla, dziesięciokrotnie mniej siarki i trzykrotnie mniej azotu. Najczęściej podkreślanym efektem ekologicznym spalania biomasy jest zrównoważony bilans emisji CO<sub>2</sub>, głównie dzięki temu, że dwutlenek węgla przedostający się do środowiska został wcześniej z tego środowiska pobrany. Dlatego wskaźnik emisji CO<sub>2</sub>, wykorzystywany w systemach monitorowania, w przypadku biomasy jest zerowy [Rozporządzenie... 2008].

---

Praca naukowa finansowana ze środków MNiSW w latach 2006–2010, jako projekt badawczy nr N 310 073 31/3140.

Jednak ocena korzyści środowiskowych, wynikających ze spalania biomasy, jest zagadnieniem złożonym. Najbardziej wiarygodna jest wówczas, gdy istnieje możliwość empirycznej oceny emisji z wykorzystaniem różnych paliw w instalacjach energetycznych. Jeżeli brak jest konkretnych danych o emisji, należy ją oszacować, wykorzystując odpowiednie wskaźniki. Taką metodę zastosowano w niniejszym opracowaniu.

### Materiał i metody badań

Doświadczenie polowe przeprowadzono w latach 2006–2009 w Stacji Doświadczalnej Wydziału Nauk Rolniczych w Zamościu, Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. Obiektem badań była wieloletnia trawa o cyklu fotosyntezy C-4 – spartina preriowa (*Spartina pectinata* Link.). Jest to roślina szczególnie odporna na niekorzystne warunki siedliskowe, proponowana do zagospodarowania nieużytków i odłogów [Majtkowski 1998c], rekultywacji terenów zdegradowanych [Majtkowski i in. 1996], produkcji papieru [Majtkowska, Majtkowski 2003], zagospodarowaniu stref oddziaływania dróg [Majtkowski 1998b]. Coraz częściej postrzegana jest jako wartościowy gatunek do nasadzeń na cele energetyczne [Majtkowski 1998a; Kowalczyk-Juško, Kościk 2004; Kowalczyk-Juško 2009].

W doświadczeniu badano reakcję rośliny na zróżnicowane nawożenie azotem w ilości  $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  (w dalszej części pracy obiekty te oznaczono jako „nawożone N”) oraz bez nawożenia N (oznaczone „nienawożone N”), przy jednakowym nawożeniu fosforem ( $50 \text{ kg P}_2\text{O}_5$ ) i potasem ( $100 \text{ kg K}_2\text{O}$ ). Drugim czynnikiem badawczym była częstotliwość zbiorów: zbiór jednokrotny zimą oraz zbiór dwukrotny (latem i zimą). Zebraną biomasę corocznie poddawano analizom składu chemicznego i parametrów energetycznych w akredytowanym laboratorium Energopomiar w Gliwicach. Wyniki analiz wykorzystano do obliczenia wielkości emisji zanieczyszczeń oraz ekwiwalentu węgla równoważnego energetycznie biomase uzyskanej z powierzchni 1 ha. Niniejsze opracowanie zawiera uśrednione wyniki z trzech lat badań. Oznaczenie wielkości emisji poszczególnych gazów i pyłu przeprowadzono w oparciu o metodę wskaźników emisji. Wskaźnik emisji  $\text{CO}_2$  ustalono metodą obliczeniową na podstawie zawartości węgla i wartości opałowej paliw. Do obliczeń wykorzystano wzory [Wskaźniki... 1996; Dębski i in. 2003]:

$$\text{SO}_2: \quad E = B \cdot w \cdot S \quad (1)$$

$$\text{NO}_2/\text{CO}/\text{CO}_2: \quad E = B \cdot w \quad (2)$$

$$\text{Pył:} \quad E = \frac{B \cdot w \cdot A \cdot 100}{(100 - K)} \quad (3)$$

gdzie:

$E$  – wielkość emisji [kg],

$B$  – zużycie paliwa [Mg],

S – zawartość siarki w paliwie [%],  
A – zawartość popiołu w paliwie [%],  
K – zawartość części palnych w pyle [%],  
w – wskaźnik unosu/emisji.

W związku ze zmianą nośnika energii z kopalnego na odnawialny, założono również zmianę kotła do spalania biomasy z płomienicowego o ciągu naturalnym na płomienicowy o ciągu wymuszonym, co spowodowało konieczność uwzględnienia stosownych dla poszczególnych palenisk wskaźników emisji, zgodnych z przywołanymi zaleceniami.

### Wyniki badań

Redukcja emisji została określona jako różnica pomiędzy wielkością emisji ze spalania węgla i biomasy o tej samej wartości energetycznej w odniesieniu do 1 ha uprawy w danym obiekcie doświadczenia.

Opracowania dotyczące uprawy i wykorzystania roślin na cele energetyczne [Gradziuk 2002; Kościuk 2003] zalecają zbiór biomasy po zakończeniu wegetacji roślin i ich zaschnięciu; termin ten przypada na miesiące zimowe. W dostępnej literaturze brak jest informacji o wielokrotnym zbiorze biomasy traw olbrzymich oraz o ich użytkowaniu w systemie wielokośnym. W przeprowadzonym doświadczeniu spartina preriowa wykazała pozytywną reakcję na dwukrotny zbiór w ciągu sezonu wegetacji i dobrze odrastała po skoszeniu latem. Nie stwierdzono znaczącej różnicy w wielkości plonu pomiędzy obiektami, na których prowadzono zbiór jedno- i dwukrotny, jednak zróżnicowanie fazy rozwojowej roślin podczas zbioru wpłynęło na skład chemiczny biomasy, a tym samym różnicowało efekt redukcji emisji niektórych zanieczyszczeń. Nawożenie azotem w dawce  $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  wpłynęło korzystnie na plonowanie badanego gatunku, dzięki czemu redukcja większości zanieczyszczeń była większa w przypadku obiektów nawożonych N.

Biomasa spartiny pozyskana z powierzchni 1 ha pozwala zastąpić 4,37–5,92 Mg węgla kamiennego, w zależności od zastosowanego nawożenia i terminu zbioru roślin (tab. 1). Wskaźniki emisji  $\text{CO}_2$ , obliczone dla poszczególnych obiektów doświadczenia, okazały się większe w porównaniu z ustalonymi dla węgla kamiennego o określonych parametrach. Wskaźniki te są zbliżone do zalecanych do stosowania w raportach emisyjnych [Wartości... 2009]. W związku z większym wskaźnikiem emisji, przypadającym na tę samą ilość pozyskanej energii, rzeczywista emisja ditlenku węgla z biomasy badanej trawy okazała się większa niż po zastosowaniu węgla (tab. 2). Należy zaznaczyć, że obliczenia przeprowadzono dla wybranych paliw, nie zaś dla procesu spalania w konkretnej instalacji. Zastosowanie paliwa wiąże się z powstawaniem odpadów (żużel, popiół), zawierających niespalony węgiel, co uwzględnia się jako tzw. współczynnik utlenienia [Błachowicz, Levina 2003; Gillenwater 2005]. Część węgla pozostająca w odpadach będzie modyfikować

Tabela 1. Parametry chemiczne i energetyczne biomasy i węgla w przeliczeniu na stan roboczy

Table 1. Chemical and energy parameters of biomass and coal as converted into working status

Rodzaj paliwa Kind of fuel		Plon Yield [Mg·ha <sup>-1</sup> ]	Ekwiwalent węgla Coal equivalent [Mg]	Wartość opałowa Calorific value [MJ·kg <sup>-1</sup> ]	Popiół Ash [%]	Siarka całkowita Total sulphur [%]	Węgiel Carbon [%]	Azot Nitrogen [%]	Wskaźnik emisji CO <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> emission index
Nienawożone N Non-fertilized N	zbiór jednokrotny single harvest	7,67	4,37	14,90	4,9	0,09	41,92	0,31	103,2
	zbiór dwukrotny double harvest	7,81	4,52	15,08	5,4	0,14	42,14	0,72	102,5
Nawożone N Fertilized N	zbiór jednokrotny single harvest	10,05	5,92	15,38	4,3	0,08	42,73	0,31	101,9
	zbiór dwukrotny double harvest	9,34	5,49	15,33	4,7	0,13	42,25	0,70	101,1
Węgiel Hard coal		–	–	26,1	18,66	0,46	66,57	1,16	93,5

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

emisje gazowe, jednak na etapie oceny paliw kalkulacja taka nie jest możliwa. Mimo znaczącej ilości CO<sub>2</sub>, który uwalnia się do atmosfery wskutek spalania biomasy, nie jest on wliczany do sumy emisji ze spalania paliw, zgodnie z wytycznymi IPCC [IPCC/OECD 1995]. Założenie to stanowi podstawę systemu handlu emisjami [Krowiak i in. 2007].

Spartina periowa zbierana w okresie rozwoju wegetatywnego (latem) charakteryzowała się większą zawartością siarki w porównaniu z roślinami, których zbiór przeprowadzano zimą, po całkowitym zaschnięciu części nadziemnych (tab. 1). Wpłynęło to na zmniejszenie efektu redukcji SO<sub>2</sub> w przypadku zastosowania biomasy spartiny z 67,45% redukcji możliwej do uzyskania po wykorzystaniu biomasy zbieranej jednokrotnie, do 47,47% po spalaniu biomasy ze zbioru dwukrotnego (rys. 1). Odpowiada to 25,54 i 17,49 kg·ha<sup>-1</sup> ditlenku siarki.

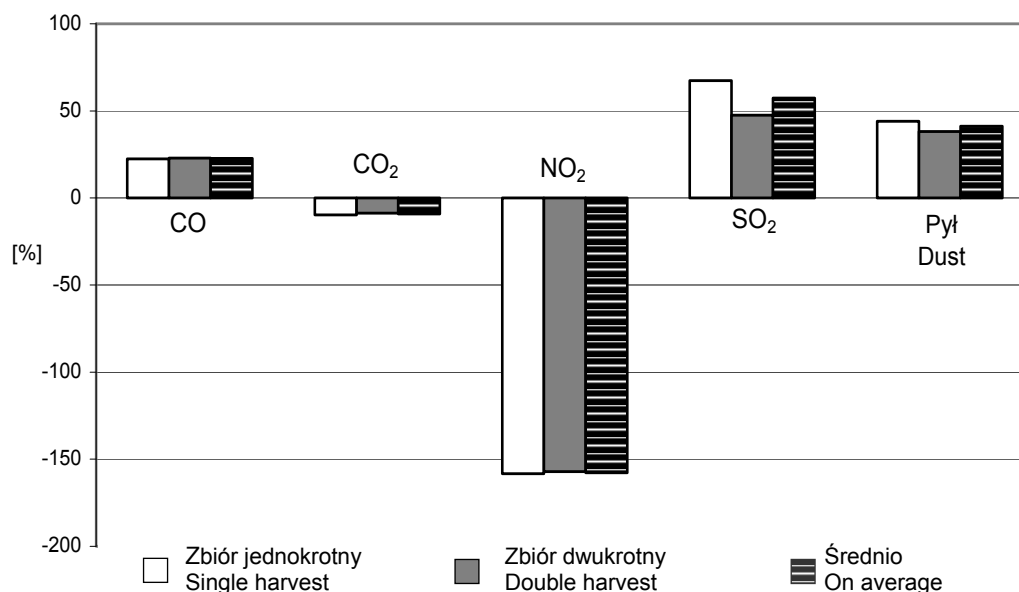
Tabela 2. Emisja podstawowych zanieczyszczeń powietrza i wielkość jej redukcji po zastąpieniu węgla kamiennego biomasa spartiny preriowej [kg·ha<sup>-1</sup>]  
 Table 2. Emitted basic air pollutants and range of their reduction after substitution of hard coal with *Spartina pectinata* biomass [kg·ha<sup>-1</sup>]

Rodzaj emisji Kind of emission	Nienawożone N Non-fertilized N		Nawożone N Fertilized N		Średnio On average	
	zbiór jednokrotny single harvest	zbiór dwukrotny double harvest	zbiór jednokrotny single harvest	zbiór dwukrotny double harvest	zbiór jednokrotny single harvest	zbiór dwukrotny double harvest
Emisja z ekwiwalentu węgla Emission from coal equivalent						
CO	437,18	451,60	591,95	549,39	514,57	500,49
CO <sub>2</sub>	10 664,33	11 030,38	14 446,87	13 397,52	12 555,60	12 213,95
NO <sub>2</sub>	4,37	4,52	5,92	5,49	5,15	5,00
SO <sub>2</sub>	32,18	33,24	43,57	40,43	37,87	36,84
Pył Dust	163,51	168,90	221,39	205,47	192,45	187,18
Emisja z biomasy Emission from biomass						
CO	345,30	351,62	452,20	420,45	398,75	386,03
CO <sub>2</sub>	11 794,01	12 071,92	15 750,58	14 475,72	13 772,29	13 273,82
NO <sub>2</sub>	11,51	11,72	15,07	14,01	13,29	12,87
SO <sub>2</sub>	11,81	18,70	12,85	20,00	12,33	19,35
Pył Dust	99,46	115,93	115,91	115,22	107,68	115,58
Redukcja emisji Reduction of the emission						
CO	91,89	99,98	139,75	128,94	115,82	114,46
CO <sub>2</sub>	-1 129,68	-1 041,54	-1 303,71	-1 078,20	-1 216,69	-1 059,87
NO <sub>2</sub>	-7,14	-7,20	-9,15	-8,52	-8,15	-7,86
SO <sub>2</sub>	20,37	14,54	30,72	20,43	25,54	17,49
Pył Dust	64,05	52,97	105,48	90,25	84,76	71,61

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Rośliny zbierane jednokrotnie zimą charakteryzowały się mniejszą zawartością popiołu w porównaniu z koszonymi dwukrotnie. Dzięki temu redukcja emisji pyłu w przypadku wykorzystania biomasy spartiny zbieranej jednokrotnie wyniosła 44,05% w porównaniu z emisją z węgla kamiennego, podczas gdy dla obiektów zbieranych dwukrotnie wielkość redukcji wyniosła 38,26% (rys. 1). Redukcja ta wyrażona w jednostkach fizycznych wyniosła odpowiednio 84,76 i 71,61 kg·ha<sup>-1</sup> (tab. 2).

Emisja NO<sub>2</sub> okazała się większa w przypadku spalania biomasy spartiny w porównaniu z ilością węgla odpowiadającą energetycznie wolumenowi plonu pozyskanemu z powierzchni 1 ha. Zawartość azotu w biomase spartiny była zdecydowanie mniejsza niż w węglu kamiennym, jednak spalanie biomasy powinno odbywać się w kotłach do tego celu przystosowanych, a wskaźnik emisji dla tych urządzeń jest większy niż dla kotłów węglowych. Również Ściążko i in. [2007], na podstawie pomiarów prowadzonych przez różne przedsiębiorstwa energetyczne, wskazują na możliwość zwiększenia emisji NO<sub>2</sub> w przypadku spalania lub współspalania biomasy z węglem.



Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Rys. 1. Redukcja emisji zanieczyszczeń w odniesieniu do równoważnej energetycznie ilości węgla kamiennego

Fig. 1. Reduction of pollutants' emission with reference to equivalent amount of the hard coal

Borycka [2009] podkreśla, że powszechnie uznawanymi wskaźnikami, świadczącymi o zgodności z wymogami ekologii w przypadku paliwa są: parametry emisji ditlenku siarki i pyłu lotnego. Biomasa spartiny preriowej, zastosowana jako biopaliwo w procesie spalania i współspalania, pozwala zredukować emisję tych zanieczyszczeń, może więc stanowić cenny surowiec energetyczny w kotłowniach.

## Wnioski

1. Zmiana paliwa z konwencjonalnego (węgiel kamienny) na biomasę spartiny preriowej przyczynia się do redukcji emisji zanieczyszczeń powietrza: SO<sub>2</sub>, CO i pyłu.
2. Spalanie biomasy powoduje zwiększenie emisji NO<sub>2</sub> do atmosfery w porównaniu z emisją powstającą podczas spalania węgla o tej samej wartości energetycznej, głównie wskutek zakładanej zmiany kotła dostosowanego do spalania biopaliwa.
3. Rzeczywista emisja CO<sub>2</sub> ze spalania spartiny preriowej przewyższa ilość ditlenku węgla przedostającego się do atmosfery podczas spalania węgla kamiennego. Przyjmuje się jednak, że CO<sub>2</sub> wyemitowany podczas spalania biomasy, jest absorbowany przez rośliny stanowiące biopaliwo.

4. Nawożenie azotem spartiny preriowej pozwala uzyskać większy plon biomasy z jednostki powierzchni, dzięki czemu możliwe jest uzyskanie większej redukcji emisji zanieczyszczeń odniesionej do 1 ha uprawy.
5. Zróżnicowany system uprawy spartiny preriowej, uwzględniający jedno- i dwukrotny zbiór roślin, okazał się niekorzystny z punktu widzenia składu chemicznego biomasy. Rośliny zbierane latem, w stanie wegetatywnym, charakteryzowały się większą zawartością popiołu i siarki, co zmniejsza wielkość redukcji emisji ditlenku siarki i pyłów.

## **Bibliografia**

Błachowicz A., Levina E. 2003. Przewodnik po monitorowaniu, raportowaniu i weryfikacji (MRV) emisji gazów cieplarnianych dla przedsiębiorstw. Center for Clean Air Policy. Washington, ss. 18

Borycka B. 2009. Ekologiczne aspekty współspalania biomasy z odpadów owocowo-warzywnych z węglem. *Energetyka*. Nr 6, s. 386–390

Dębski B., Olendrzyński K., Skośkiewicz J., Rosicki M., Pazdan R. 2003. Wskazówki dla wojewódzkich inwentaryzacji emisji na potrzeby ocen bieżących i programów ochrony powietrza. Ministerstwo Środowiska. Warszawa, ss. 128

Gillenwater M. 2005. Calculation tool for direct emission from stationary combustion. World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development (WRI/WBCSD) [online] [dostęp 10.12.2010] Dostępny w Internecie: [www.ghgprotocol.org/calculation-tools/all-tools](http://www.ghgprotocol.org/calculation-tools/all-tools) Gradziuk P. (red.) 2002. Biopaliwa. *Wieś Jutra*. Warszawa, ss. 160

IPCC/OECD 1995. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Bracknell. UK. Vol. 3, s. 1–145

Kościk B. (red.) 2003. Rośliny energetyczne. Wyd. AR. Lublin, ss. 146

Kowalczyk-Juśko A. 2009. Przydatność wybranych gatunków roślin do energetycznego wykorzystania. I. Jackowska (red.). *Biomasa jako źródło energii*. SGGW. Warszawa, s. 39–50

Kowalczyk-Juśko A., Kościk B. 2004. Produkcja biomasy miskanta cukrowego i spartiny preriowej w zróżnicowanych warunkach glebowych oraz możliwości jej konwersji na energię. *Biul. IHAR*. Nr 234, s. 213–218

Krowiak A., Stańczyk K., Bieniecki M. 2007. Korzyści ekonomiczne z handlu uprawnieniami do emisji CO<sub>2</sub> przy spalaniu w energetyce zawodowej mieszanek węgla z komponentami organicznymi. *Polityka Energetyczna*. T. 10. Z. 2, s. 213–228

Majtkowska G., Majtkowski W. 2003. Obserwacje nad rozwojem traw o typie fotosyntezy C<sub>4</sub> w warunkach Polski. *Biul. IHAR*. Nr 225, s. 387–392

Majtkowski W. 1998a. Przydatność wybranych gatunków traw typu C<sub>4</sub> do upraw alternatywnych w Polsce. Hod. Roślin i Nasiennictwo. Nr 2, s. 41–44

Majtkowski W. 1998b. Perspektywy wykorzystania gatunków traw „energetycznych” w zagospodarowaniu stref oddziaływania dróg ekspresowych i autostrad oraz gruntów odłogowanych. Mat. Konf. Wykorzystanie energii odnawialnej w rolnictwie. IBMER. Warszawa, s. 149–154

Majtkowski W. 1998c. Ocena przydatności traw w zagospodarowaniu nieużytków i odłogów. Bibliotheca Fragm. Agron. T. 5, s. 257–262

Majtkowski W., Podyma W., Góral S. 1996. Gatunki roślin do rekultywacji terenów zdegradowanych przez przemysł i gospodarkę komunalną. E. Nalborczyk (red.). Nowe rośliny uprawne na cele spożywcze, przemysłowe i jako odnawialne źródła energii. SGGW. Warszawa, s. 136–148

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 12 września 2008 r. w sprawie sposobu monitorowania wielkości emisji substancji objętych wspólnotowym systemem handlu uprawnieniami do emisji. Dz.U. Nr 183, poz. 1142

Ściążko M., Zuwała J., Pronobis M. (red.) 2007. Współspalanie biomasy i paliw alternatywnych w energetyce. IChPW, Politechnika Śląska. Zabrze, ss. 363

Wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO<sub>2</sub> (WE) w roku 2007 do raportowania w ramach Wspólnotowego Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2010. 2009. Krajowy Administrator Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji. Warszawa, ss. 5

Wskaźniki emisji substancji zanieczyszczających wprowadzanych do powietrza z procesów energetycznego spalania paliw. 1996. Materiały informacyjno-instruktażowe. Seria 1/96. Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa. Warszawa, ss. 12

## **REDUCTION OF THE POLLUTANTS' EMISSION OWING TO SUBSTITUTION OF COAL BY THE BIOMASS OF *SPARTINA PECTINATA***

### **Summary**

Paper presented the results of agrotechnic and chemical investigations dealing with the influence of differentiated agrotechnical treatments on yielding and environmental effects of using *Spartina pectinata* (Link.) biomass for energy purposes. Determination of the yield and its chemical composition enabled to assign the amount of pollutants emitted during combustion of *Spartina* biomass. On such a basis reduction of mentioned emission was calculated for the case of hard coal substitution by the biomass of investigated plant. It was stated that the combustion of *Spartina* biomass from the area



of 1 ha instead of hard coal of equivalent energetic value, enables to reduce the SO<sub>2</sub> and dust emission by about 50% and CO by about 20%. Real emission of NO<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> at biomass combustion proved to be higher than in case of coal.

**Key words:** biomass, *Spartina pectinata*, combustion, emission reduction

Praca wpłynęła do Redakcji: 06.05.2010 r.

*Recenzenci: doc. dr hab. Anna Grzybek  
prof dr hab. Zdzisław Wójcicki*

Adres do korespondencji:

dr inż. Alina Kowalczyk-Juśko  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
Wydział Nauk Rolniczych w Zamościu  
ul. Szczepreska 102, 22-400 Zamość  
tel. 84 677-27-53; e-mail: alina.jusko@up.lublin.pl

