

Mariusz Stolarski, Stefan Szczukowski, Józef Tworkowski
Katedra Hodowli Roślin i Nasiennictwa
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

CHARAKTERYSTYKA BIOMASY WIERZBY UPRAWIANEJ W SYSTEMIE EKO-SALIX W ASPEKTCIE ENERGETYCZNYM

Streszczenie

Podstawą przeprowadzonych badań była biomasa pozyskana z roślin wierzby uprawianej w dwuczynnikowym doświadczeniu polowym w systemie Eko-Salix, po trzech latach wegetacji. W laboratorium oznaczono: wilgotność, zawartość popiołu, części lotne, ciepło spalania, wartość opałową oraz skład chemiczny biomasy. Uprawa wierzby w systemie Eko-Salix może dostarczyć biomasy drzewnej o korzystnych cechach ze względu na energetyczne wykorzystanie. Wilgotność biomasy wynosiła średnio 49,3%, zawartość popiołu $11,4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m., wartość opałowa $8,8 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, a zawartość siarki $0,26 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. Biomasa roślin odmiany Tur charakteryzowała się najmniejszą wilgotnością, zawartością popiołu i siarki oraz największą wartością opałową. Biomasa pozyskana w warunkach różnych gęstości sadzenia była mało zróżnicowana pod względem badanych cech. Paliwo pozyskane z pędów głównych *Salix* spp. miało korzystniejsze parametry energetyczne (mniej popiołu, siarki i azotu) w porównaniu z gałęziami.

Słowa kluczowe: biomasa, wierzba, system Eko-Salix, zawartość popiołu, wartość opałowa, skład chemiczny

Wstęp

Biomasa to ciągle dominujące źródło energii odnawialnej w Polsce oraz UE [Energia... 2009; Grzybek 2008; The state... 2008]. Głównym jej źródłem do celów energetycznych są obecnie lasy i przemysł przetwarzający drewno. Struktura źródeł pochodzenia biomasy musi się jednak zmienić, bowiem najpóźniej od 2015 r. aż 60% surowca lignocelulozowego do celów energetycznych powinno pochodzić głównie z produkcji agrotechnicznej [Rozporządzenie... 2008], co jest dużym wyzwaniem dla rolnictwa [Budzyński i in. 2009; Kuś, Faber 2009]. Jednym ze znaczących źródeł biomasy mają być wieloletnie rośliny energetyczne, uprawiane na gruntach rolniczych. Wymienia się tu

rodzime gatunki wierzby krzewiastej (*Salix* spp.), aklimatyzowany w Polsce ślązowiec pensylwański (*Sida hemaphrodita* R.), miskant olbrzymi (*Miscanthus x giganteus*) i inne [Grzybek 2003, 2006; Kuś 2008; Podlaski i in. 2009; Stolarski 2004; Stolarski i in. 2009; Szczukowski i in. 2000, 2004, 2005].

Nowym podejściem do produkcji biomasy drzewnej na gruntach rolniczych jest uprawa wierzby w systemie Eko-Salix. W systemie tym zakłada się uproszczony sposób przygotowania stanowiska – bez orki z nasadzeniem odmian wierzby w postaci tzw. żywokołów – sadzonek długich, bez nawożenia, z okresowym koszeniem chwastów i ich mulczowaniem. Poza tym zakłada się produkcję biomasy na terenach, które aktualnie są mało efektywnie wykorzystywane rolniczo, okresowo podmokłe lub stanowią ekstensywne użytki zielone, głównie kompleksów 2z i 3z (klasa III–V) [Tworowski i in. 2010].

Celem przeprowadzonych badań było określenie wilgotności, zawartości popiołu, części lotnych, ciepła spalania, wartości opałowej oraz składu chemicznego biomasy wierzby uprawianej w systemie Eko-Salix.

Metody badań

Podstawą prowadzonych badań było dwuczynnikowe ściśle doświadczenie polowe, prowadzone w trzech powtórzeniach w latach 2006–2008 w pradolinie Wisły na Nizinie Kwidzyńskiej. Doświadczenie założono w I dekadzie kwietnia 2006 r. Czynnikiem I w doświadczeniu było sześć odmian i klonów wierzby: Turbo, Tur, Duotur, Corda, *Salix viminalis* (1057), *Salix viminalis* (1054). Czynnikiem II stanowiła gęstość sadzenia sadzonek długich (żywokołów) A – 5,2 tys. szt. · ha⁻¹ i B – 7,4 tys. szt. · ha⁻¹. Sadzonki długie (żywokoły) nieukorzenione, przycięte do długości 2,4 m pozyskano z dwuletnich pędów wierzby. W niniejszej pracy wprowadzono czynnik III, którym był rodzaj biomasy z podziałem na pędy główne oraz gałęzie *Salix* spp. Plon i cechy biometryczne roślin przedstawiono w pracy Tworowskiego i in. [2010].

Po trzech latach wegetacji pobrano próbki biomasy *Salix* spp. do analiz laboratoryjnych z podziałem na pęd główny i rozgałęzienia boczne. Poszczególne analizy wykonywano w trzech powtórzeniach w laboratorium Katedry Hodowli Roślin i Nasiennictwa UWM w Olsztynie. W pierwszej kolejności oznaczano wilgotność biomasy metodą suszarkowo-wagową. W tym celu rozdrobioną biomasę suszono w temperaturze 105°C do uzyskania stałej masy. Następnie poszczególne próbki biomasy rozdrobiono w młynku analitycznym „IKA KMF 10 basic” z użyciem sita o średnicy oczek 0,25 mm. W tak przygotowanych próbkach analitycznych oznaczono zawartość popiołu w temperaturze 550°C oraz części lotnych w temperaturze 650°C w automatycznym analizatorze termogravimetrycznym ELTRA TGATHERMO-STEP. Ponadto oznaczono ciepło spalania suchej biomasy w kalorymetrze IKA C 2000 za pomocą metody dynamicznej. Na podstawie ciepła spalania oraz wilgotności

biomasy obliczono wartość opałową świeżej biomasy. Określono również zawartość węgla, wodoru i siarki za pomocą automatycznego analizatora ELTRA CHS 500, natomiast zawartość azotu oznaczono metodą Kjeldahla z użyciem mineralizatora K-435 oraz destylarki B-324 BUCHI.

Wyniki badań opracowano statystycznie, wykorzystując pakiet komputerowy STATISTICA 8,0 PL. Obliczono średnie arytmetyczne wartości badanych parametrów. Za pomocą testu wielokrotnego SNK (Studenta-Newmana-Keuls) wyznaczono wartości *NIR* na poziomie istotności $p = 0,05$. Dla wybranych parametrów obliczono odchylenie standardowe oraz zbadano wzajemne zależności i przedstawiono je w postaci macierzy współczynników korelacji *r*-Pearsona.

Wyniki badań i ich omówienie

Wilgotność biomasy z trzyletnich roślin *Salix* spp., uprawianych w systemie Eko-Salix, wynosiła średnio 49,29% (tab. 1). Istotnie największą wilgotnością biomasy charakteryzowała się odmiana Duotur (51,89%). Zbliżoną wartość tego parametru oznaczono w odmianie Turbo. Najmniejszą wilgotność miało drewno odmiany Tur (47,83%). Nie stwierdzono różnic w wilgotności biomasy uzyskanej z badanych gęstości sadzenia. Gałęzie zawierały nieznacznie mniej wody niż pędy główne. Jak wykazano w innych eksperymentach prowadzonych technologią tradycyjną, w warunkach zbioru biomasy wierzbyw rotacjach trzy-, czteroletnich jej wilgotność kształtowała się na zbliżonym poziomie – 47–52% [Stolarski 2009; Szczukowski i in. 2005; Tworkowski i in. 2007].

Zawartość popiołu w doświadczeniu wynosiła średnio $11,4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. (tab. 1). Istotnie najmniejszą zawartość popiołu miała biomasa roślin odmiany Tur, średnio $8,6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. Pozostałe odmiany zawierały średnie ilości popiołu – od $11,3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. (Turbo) do $13,0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. (Duotur). Biomasa pozyskiwana z zagęszczenia $7,4 \text{ tys. roślin} \cdot \text{ha}^{-1}$ zawierała o $1,7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. więcej popiołu niż z zagęszczenia $5,2 \text{ tys. roślin} \cdot \text{ha}^{-1}$. Pędy główne zawierały istotnie mniej popiołu o $5,4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. niż gałęzie. W całym eksperymencie zawartość popiołu mieściła się w przedziale od $6,3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. w pędach odmiany Tur, pozyskanej z zagęszczenia $5,2 \text{ tys. roślin} \cdot \text{ha}^{-1}$, do $19,2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. w gałęziach odmiany Duotur, rosnącej w zagęszczeniu $7,4 \text{ tys. roślin} \cdot \text{ha}^{-1}$. Małą zawartość popiołu w biomacie roślin odmiany Tur stwierdził również Stolarski [2009].

Ciepło spalania drewna wynosiło średnio $19,68 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. (tab. 1). Istotnie największą wartość tego parametru oznaczono w odmianie Tur, średnio $19,80 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. Najmniejszym ciepłem spalania charakteryzowało się natomiast drewno odmiany Duotur. Biomasa pozyskana z roślin wysadzonych w mniejszym zagęszczeniu miała nieco większe ciepło spalania niż z rosnących w większym zagęszczeniu. Ciepło spalania było istotnie ujemnie skorelowane z zawartością popiołu (tab. 2).

Tabela 1. Badane parametry biomasy *Salix spp.*

Odmiana lub klon (a)	Gęstość sadzenia (b)	Wilgotność W_f [%]			Zawartość popiołu A^d [g · kg ⁻¹ s.m.]			Ciepło spalania Q_s^a [MJ · kg ⁻¹ s.m.]			Wartość opałowa Q_i^f [MJ · kg ⁻¹]		
		pędy (c)	gałęzie (c)	średnio	pędy (c)	gałęzie (c)	średnio	pędy (c)	gałęzie (c)	średnio	pędy (c)	gałęzie (c)	średnio
Turbo	A	48,79	49,99	49,39	9,3	11,5	10,4	19,58	19,60	19,59	8,84	8,58	8,71
	B	50,89	51,63	51,26	10,6	13,7	12,2	19,65	19,76	19,71	8,41	8,30	8,35
	średnio	49,84	50,81	50,32	10,0	12,6	11,3	19,62	19,68	19,65	8,62	8,44	8,53
Tur	A	47,69	47,29	47,49	6,3	13,4	9,8	19,76	19,64	19,70	9,17	9,20	9,19
	B	46,87	49,47	48,17	7,1	7,8	7,5	19,80	19,99	19,90	9,38	8,89	9,13
	średnio	47,28	48,38	47,83	6,7	10,6	8,6	19,78	19,81	19,80	9,28	9,05	9,16
Duotur	A	54,17	50,39	52,28	7,3	14,3	10,8	19,75	19,68	19,71	7,73	8,53	8,13
	B	52,85	50,16	51,51	11,2	19,2	15,2	19,59	19,50	19,54	7,95	8,49	8,22
	średnio	53,51	50,28	51,89	9,2	16,8	13,0	19,67	19,59	19,63	7,84	8,51	8,18
Corda	A	51,34	49,27	50,31	8,0	13,4	10,7	19,78	19,83	19,80	8,37	8,86	8,61
	B	48,97	46,26	47,62	9,8	18,0	13,9	19,67	19,53	19,60	8,84	9,37	9,10
	średnio	50,15	47,77	48,96	8,9	15,7	12,3	19,72	19,68	19,70	8,61	9,11	8,86
<i>S. viminalis</i> 1057	A	46,86	48,06	47,46	8,4	12,7	10,5	19,57	19,75	19,66	9,26	9,08	9,17
	B	49,15	48,27	48,71	7,8	16,9	12,3	19,60	19,77	19,68	8,76	9,05	8,91
	średnio	48,01	48,17	48,09	8,1	14,8	11,4	19,59	19,76	19,67	9,01	9,07	9,04
<i>S. viminalis</i> 1054	A	47,59	50,03	48,81	8,6	14,2	11,4	19,79	19,62	19,70	9,21	8,58	8,90
	B	47,70	49,28	48,49	10,7	14,6	12,7	19,63	19,51	19,57	9,10	8,69	8,90
	średnio	47,64	49,66	48,65	9,7	14,4	12,0	19,71	19,57	19,64	9,16	8,64	8,90
Średnio	A	49,41	49,17	49,29	8,0	13,2	10,6	19,71	19,69	19,70	8,76	8,81	8,78
	B	49,40	49,18	49,29	9,5	15,0	12,3	19,66	19,68	19,67	8,74	8,80	8,77
	średnio	49,41	49,18	49,29	8,8	14,1	11,4	19,68	19,68	19,68	8,75	8,80	8,78
NIR _{0,05}		a - 0,16 b - ni axb - 0,22 c - 0,07 axc - 0,22 bxc - 0,10 axbxc - 0,32			a - 0,4 b - 0,2 axb - 0,6 c - 0,2 axc - 0,6 bxc - 0,3 axbxc - 0,8			a - 0,01 b - 0,01 axb - 0,02 c - ni axc - 0,02 bxc - 0,01 axbxc - 0,03			a - 0,03 b - ni axb - 0,05 c - 0,01 axc - 0,05 bxc - 0,02 axbxc - 0,07		

Objaśnienia: A – 5,2 tys. szt. · ha⁻¹, B – 7,4 tys. szt. · ha⁻¹.

Obliczona wartość opałowa świeżej biomasy roślin *Salix spp.* wynosiła średnio 8,78 MJ · kg⁻¹ (tab. 1). Istotnie największą wartość tego parametru miała biomasa odmiany Tur (9,16 MJ · kg⁻¹). Również wartość opałowa drewna *Salix viminalis* 1057 wynosiła ponad 9 MJ · kg⁻¹. W pozostałych odmianach stwierdzono istotnie mniejsze wartości tego parametru. W całym eksperymencie jego wartość zawierała się w przedziale od 7,73 MJ · kg⁻¹ w pędach odmiany Duotur, pozyskanej z zagęszczenia 5,2 tys. roślin · ha⁻¹, do 9,38 MJ · kg⁻¹ w pędach odmiany Tur, pozyskanej z zagęszczenia 7,4 tys. roślin · ha⁻¹. Wartość opałowa była, oczywiście, ujemnie skorelowana z zawartością wody (tab. 2). Biomasa wierzby pozyskanej w trzyletnim cyklu zbioru miała średnią wartość opałową od 8,32 do 8,49 MJ · g⁻¹, odpowiednio dla odmiany Duotur i Corda [Stolarski 2009]. Wartość opałowa biomasy 4-letnich rośliny wierzby wynosiła natomiast 8,98 MJ · kg⁻¹ [Tworowski i in. 2007].

Table 1. Examined parameters of the willow biomass

Zawartość części lotnych V ^d [g · kg ⁻¹ s.m.]			Zawartość węgla C ^d [g · kg ⁻¹ s.m.]			Zawartość wodoru H ^d [g · kg ⁻¹ s.m.]			Zawartość siarki S ^d [g · kg ⁻¹ s.m.]			Zawartość azotu N ^d [g · kg ⁻¹ s.m.]		
pędy (c)	gałęzie (c)	średnio	pędy (c)	gałęzie (c)	średnio	pędy (c)	gałęzie (c)	średnio	pędy (c)	gałęzie (c)	średnio	pędy (c)	gałęzie (c)	średnio
801,7	787,0	794,4	485,5	467,4	476,5	56,1	57,7	56,9	0,23	0,25	0,24	3,3	5,0	4,1
796,2	784,4	790,3	493,2	473,2	483,2	58,7	58,3	58,5	0,32	0,35	0,34	3,3	5,8	4,5
798,9	785,7	792,3	489,4	470,3	479,8	57,4	58,0	57,7	0,28	0,30	0,29	3,3	5,4	4,3
800,8	792,9	796,8	476,5	468,0	472,2	58,0	56,9	57,5	0,21	0,24	0,23	2,8	3,7	3,2
807,6	799,8	803,7	489,2	472,3	480,7	60,0	57,5	58,7	0,15	0,27	0,21	2,3	4,2	3,2
804,2	796,3	800,3	482,8	470,1	476,5	59,0	57,2	58,1	0,18	0,26	0,22	2,5	3,9	3,2
800,6	791,9	796,3	492,6	475,6	484,1	57,9	58,7	58,3	0,23	0,27	0,25	2,7	4,1	3,4
797,2	783,6	790,4	470,2	484,9	477,6	56,8	58,5	57,6	0,18	0,25	0,21	3,3	4,6	3,9
798,9	787,7	793,3	481,4	480,3	480,8	57,4	58,6	58,0	0,20	0,26	0,23	3,0	4,3	3,7
814,6	800,2	807,4	478,8	463,0	470,9	56,9	56,1	56,5	0,20	0,25	0,23	2,5	3,4	3,0
807,4	793,1	800,3	482,7	477,7	480,2	57,5	57,8	57,6	0,23	0,32	0,28	2,6	3,7	3,2
811,0	796,6	803,8	480,7	470,4	475,5	57,2	57,0	57,1	0,22	0,28	0,25	2,6	3,5	3,1
804,1	786,7	795,4	501,9	480,0	490,9	61,3	60,4	60,8	0,20	0,30	0,25	2,4	4,8	3,6
810,4	775,8	793,1	506,9	492,0	499,5	66,8	61,4	64,1	0,24	0,33	0,29	2,3	5,1	3,7
807,2	781,3	794,3	504,4	486,0	495,2	64,1	60,9	62,5	0,22	0,31	0,27	2,3	4,9	3,6
793,6	790,3	791,9	499,3	476,0	487,7	60,2	60,1	60,1	0,37	0,32	0,34	7,6	5,4	6,5
800,5	791,7	796,1	497,0	479,8	488,4	59,8	58,4	59,1	0,24	0,27	0,26	3,2	5,5	4,4
797,1	791,0	794,0	498,2	477,9	488,0	60,0	59,2	59,6	0,31	0,29	0,30	5,4	5,4	5,4
802,6	791,5	797,0	489,1	471,7	480,4	58,4	58,3	58,4	0,24	0,27	0,26	3,5	4,4	4,0
803,2	788,1	795,6	489,9	480,0	484,9	59,9	58,6	59,3	0,23	0,30	0,26	2,8	4,8	3,8
802,9	789,8	796,3	489,5	475,8	482,7	59,2	58,5	58,8	0,23	0,28	0,26	3,2	4,6	3,9
a-1,6 b-0,7 axb-2,3 c-0,7 axc-2,3 bxc-1,0 abxc-3,2			a-1,7 b-0,8 axb-2,5 c-0,8 axc-2,5 bxc-1,1 abxc-3,5			a-0,5 b-0,2 axb-0,7 c-0,2 axc-0,7 bxc-0,3 abxc-1,0			a-0,01 b-ni axb-0,02 c-0,01 axc-0,02 bxc-ni abxc-0,02			a-0,1 b-ni axb-0,1 c-0,3 axc-0,1 bxc-ni abxc-0,2		

Źródło: badania własne.

Zawartość części lotnych była największa w biomacie roślin odmiany Corda, średnio 803,8 g · kg⁻¹ s.m., a najmniejsza – odmiany Turbo 792,3 g · kg⁻¹ s.m. (tab. 1). Zanotowana w niniejszych badaniach minimalna zawartość części lotnych wynosiła 784,4 g · kg⁻¹ s.m., a maksymalna – 814,6 g · kg⁻¹ s.m. Mniejszą zawartość części lotnych w stanie analitycznym (761 g · kg⁻¹ s.m.) oznaczyli Tworowski i in. [2007]. W pozyskanej biomacie *Salix* spp. oznaczono średnio 482,7 g · kg⁻¹ s.m. węgla (tab. 1). Największą zawartość tego pierwiastka oznaczono w *Salix viminalis* 1057, średnio 495,2 g · kg⁻¹ s.m.

W pędach wierzby było istotnie więcej węgla niż w gałęziach. W gałęziach odmiany Corda pozyskanych z zagęszczenia 5,2 tys. roślin · ha⁻¹ zawartość węgla wynosiła 463,0 g · kg⁻¹ s.m., a w pędach *Salix viminalis* 1057 pozyskanych z zagęszczenia 7,4 tys. roślin · ha⁻¹ była ona o 43,9 g · kg⁻¹ s.m. więk-

sza. Zawartość węgla była istotnie dodatnio skorelowana z zawartością wodoru (0,71) i części lotnych (0,25), a ujemnie – z zawartością popiołu (–0,32) – tabela 2.

Tabela 2. Odchylenie standardowe i współczynniki korelacji r-Pearsona dla wybranych cech

Table 2. Standard deviation and coefficient of r-Pearson correlation for selected features

Wyszczególnienie	Odchylenie standardowe	Wilgotność	Części lotne	Zawartość popiołu	Ciepło spalania	Wartość opałowa	Zawartość			
							C	H	S	N
Wilgotność	1,93	1,00	–0,01	–0,06	0,06	–0,99*	–0,19	–0,25*	–0,04	–0,01
Części lotne	0,92	–0,01	1,00	–0,75*	0,15	0,03	0,25*	0,03	–0,62*	–0,72*
Zawartość popiołu	0,36	–0,06	–0,75*	1,00	–0,43*	0,00	–0,32*	–0,11	0,45*	0,45*
Ciepło spalania	0,12	0,06	0,15	–0,43*	1,00	0,08	–0,16	–0,11	0,08	0,04
Wartość opałowa	0,43	–0,99*	0,03	0,00	0,08	1,00	0,17	0,23	0,05	0,02
Zawartość:										
– C	1,16	–0,19	0,25*	–0,32*	–0,16	0,17	1,00	0,71*	0,05	–0,16
– H	0,23	–0,25	0,03	–0,11	–0,11	0,23	0,71*	1,00	0,15	–0,01
– S	0,01	–0,04	–0,62*	0,45*	0,08	0,05	0,05	0,15	1,00	0,75*
– N	0,13	–0,01	–0,72*	0,45*	0,04	0,02	–0,16	–0,01	0,75*	1,00

* Współczynniki korelacji istotne na poziomie $p \leq 0,05$, $n = 72$.

Źródło: badania własne.

Zawartość wodoru w biomase wynosiła średnio $58,8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. (tab. 1). Największą jego zawartość oznaczono w *Salix viminalis* 1057, średnio $62,5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m., a najmniejszą w odmianie Corda. Biomasa pozyskana z roślin z większego zagęszczenia zawierała więcej wodoru niż pozyskana z mniejszego zagęszczenia. Pędy zawierały o niespełna $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. więcej wodoru niż gałęzie. Większe zawartości węgla (średnio $516 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.) i wodoru (średnio $64 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.) w biomase trzyletnich roślin wierzby oznaczył Stolarski [2009], natomiast w jednorocznych roślinach *Salix* spp. zawartość tych pierwiastków wynosiła odpowiednio $543 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. i $62,5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. [Stolarski i in. 2007]. Z kolei Cuiping i in. [2004] na podstawie badań przeprowadzonych w Chinach na różnych rodzajach biomasy stwierdzili średnią zawartość węgla w drewnie wierzby, wynoszącą $467,9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m., a wodoru – $71,0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.

Biomasa *Salix* spp. charakteryzowała się małą zawartością siarki (tab. 1). Istotnie najmniej tego pierwiastka oznaczono w odmianie Tur ($0,22 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m.), a najwięcej w *Salix viminalis* 1054, było to średnio $0,30 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. W gałęziach oznaczono istotnie więcej siarki niż w pędach głównych. Biomasa odmiany Tur pozyskana z pędów roślin wysadzonych w zagęszczeniu $7,4 \text{ tys. roślin} \cdot \text{ha}^{-1}$ zawierała średnio $0,15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. siarki, a gałęzie *Salix viminalis* 1057 – dwukrotnie więcej. Zawartość siarki była istotnie dodat-

nie skorelowana z zawartością azotu (0,75) (tab. 2). Równie małą zawartość siarki ($0,28 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$) w biomacie czteroletnich pędów *Salix* spp. oznaczyli Tworkowski i in. [2007], natomiast w doświadczeniu Stolarskiego [2009] wynosiła ona od $0,29 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ w klonie UWM 046 do $0,48 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ w odmianie Corda, pozyskiwanych w rotacji trzyletniej.

Największą zawartość azotu w biomacie stwierdzono w *Salix viminalis* 1054, średnio $5,4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$, a najmniejszą w biomacie odmiany Corda – $3,1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ (tab. 1). W gałęziach oznaczono istotnie więcej ($4,6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$) azotu niż w pędach głównych ($3,2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$). Stolarski [2009] podaje, że zawartość azotu w biomacie wierzby pozyskanej w cyklu trzyletnim wynosiła średnio $3,4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ i zwiększała się wraz ze skracaniem cyklu zbioru do $3,8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ (zbiór co dwa lata) i $5,5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ (zbiór co roku).

Wnioski

1. Uprawa wierzby w systemie Eko-Salix może dostarczyć biomasy drzewnej o korzystnych parametrach energetycznych.
2. Biomasa trzyletnich roślin *Salix* spp. miała średnią wilgotność 49,3%, a wartość opałową $8,8 \text{ MJ} \cdot \text{g}^{-1}$, popiołu zawierała $11,4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$, natomiast siarki – $0,26 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$
3. Biomasa roślin odmiany Tur charakteryzowała się najkorzystniejszymi parametrami pod względem przydatności do celów energetycznych, tj.: najmniejszą wilgotnością, zawartością popiołu i siarki oraz największą wartością opałową.
4. Biomasa pozyskana z wierzby wysadzonej w różnej gęstości była mało zróżnicowana pod względem badanych cech, natomiast z pędów głównych miała korzystniejsze parametry energetyczne (mniej popiołu, siarki i azotu) niż z gałęzi.

Bibliografia

- Budzyński W. i in. 2009. Wybrane problemy z zakresu produkcji roślinnej na cele energetyczne. W: Przyszłość sektora rolno-spożywczego i obszarów wiejskich. Praca zbiorowa. Redakcja A. Harasim. I Kongres Nauk Rolniczych Nauka-Praktyce. IUNG-PIB. Puławy, s. 77–89
- Cuiping L. i in. 2004. Chemical elemental characteristics of biomass fuels in China. *Biomass and Bioenergy*. Vol 27, s. 119–130
- Grzybek A. 2003. Kierunki zagospodarowania biomasy na cele energetyczne. *Wieś Jutra*. Nr 9, s. 10–11
- Grzybek A. 2006. Zasoby krajowe biopaliw stałych i możliwości ich wykorzystania w aspekcie technicznym i organizacyjnym. *Energetyka*. Nr 9, s. 8–11
- Grzybek A. 2008. Ziemia jako czynnik warunkujący produkcję biopaliw. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 1, s. 63–70

Energia ze źródeł odnawialnych w 2008 roku. Informacje i opracowania statystyczne 2009. GUS. Warszawa

Kuś J., Faber A. 2009. Produkcja roślinna na cele energetyczne a racjonalne wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej Polski. W: Przyszłość sektora rolno-spożywczego i obszarów wiejskich. Praca zbiorowa. Redakcja A. Hara-sim. I Kongres Nauk Rolniczych Nauka-Praktyce. IUNG-PIB. Puławy, s. 63–76

Kuś J. 2008. Produkcyjność roślin energetycznych w różnych siedliskach. W: Energia odnawialna. Praca zbiorowa. Redakcja P. Gradzinek. Wieś Jutra. Warszawa, s. 48–60

Podlaski S. i in. 2009. Kryteria wyboru roślin energetycznych do uprawy w określonych warunkach przyrodniczych. Wieś Jutra. Nr 8–9(133/134), s. 15–17

Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii. Dz. U. 2008. Nr 156 poz. 969

Stolarski M. 2004. Produkcja oraz pozyskiwanie biomasy z wieloletnich upraw roślin energetycznych. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 3(45), s. 47–56

Stolarski M. 2009. Agrotechniczne i ekonomiczne aspekty produkcji biomasy wierzby krzewiastej (*Salix* spp.) jako surowca energetycznego. Rozprawy i Monografie. 148. Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego. Olsztyn

Stolarski M. i in. 2007. Charakterystyka wybranych biopaliw z biomasy stałej. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 4, s. 21–26

Stolarski M. i in. 2009. Ocena przydatności do celów energetycznych biomasy wybranych gatunków roślin wieloletnich. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych praca w druku

Szczukowski S. i in. 2005. Productivity of willow coppice plants grown in short rotations. Plant Soil Environment. Vol. 51(9), s. 423–430

Szczukowski S. i in. 2000. Biomasa krzewiastych wierzb (*Salix* sp.) pozyskiwana na gruntach ornych odnawialnym źródłem energii. Pamiętnik Puławski. Z. 120, s. 421–428

Szczukowski S. i in. 2004. Wierzba energetyczna. Plantpress. Kraków

The state of renewable energies in Europe. 2008. 8th EurObserv'ER Report

Tworkowski J. i in. 2007. Charakterystyka biomasy wierzby jako paliwa. W: Biomasa dla energetyki i ciepłownictwa – szanse i problemy. Wieś Jutra. Warszawa, s. 82–84

Tworkowski J. i in. 2010. Plonowanie oraz cechy morfologiczne wierzby uprawianej w systemie Eko-Salix. Fragmenta Agronomica praca w druku

CHARACTERISTICS OF BIOMASS FROM WILLOWS CULTIVATED UNDER ECO-SALIX SYSTEM IN ENERGETIC ASPECT

Summary

Biomass obtained from the willows cultivated in a two-factor experiment under the Eco-Salix system, after three years of vegetation was used as an experimental material. Following parameters were determined in laboratory analyses: moisture content, ash content, volatile matter, heat of combustion, heating value and the elementary composition of biomass. Cultivation of willows under the Eco-Salix system may provide wooden biomass of advantageous properties with respect to its use as a fuel. The average moisture content was 49.3%, ash content – $11.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ d.m.}$, heating value – $8.8 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ and the sulphur content $0.26 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ d.m.}$ The level of moisture content, ash and sulphur contents were the lowest in biomass of the Tur cultivar and its heating value was the highest. Biomass obtained at various planting densities varied a little in terms of parameters analysed in the experiment. The fuel obtained from main shoots of the *Salix* spp. achieved better parameters affecting its energetic value (less ash, sulphur and nitrogen contents) than that obtained from the branches.

Key words: willow, biomass, Eco-Salix system, chemical composition, heating value, ash content

Praca wpłynęła do Redakcji 24.02.2010 r.

*Recenzenci: prof. dr hab. Andrzej Chochowski
doc. dr hab. Anna Grzybek*

Adres do korespondencji:

dr hab. inż. Mariusz Stolarski
Katedra Hodowli Roślin i Nasiennictwa
Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
pl. Łódzki 3, 10-727 Olsztyn
tel. 89 523-48-38, e-mail: mariusz.stolarski@uwm.edu.pl

