

## PLON I JAKOŚĆ BIOMASY WYBRANYCH GATUNKÓW WIERZBY W CZTEROLETNIJ ROTACJI ZBIORU\*

STEFAN SZCZUKOWSKI<sup>1</sup>, MARIUSZ J. STOLARSKI<sup>1</sup>, JÓZEF TWORKOWSKI<sup>1</sup>, PAWEŁ RUTKOWSKI<sup>2</sup>,  
PIOTR GOLIŃSKI<sup>3</sup>, MIROSLAW MLECZEK<sup>3</sup>, KINGA SZENTNER<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Katedra Hodowli Roślin i Nasiennictwa, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie,  
Pl. Łódzki 3, 10-727 Olsztyn

<sup>2</sup>Katedra Hodowli Lasu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 69,  
60-625 Poznań

<sup>3</sup>Katedra Chemii, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Wojska Polskiego 75,  
60-625 Poznań

**Synopsis.** W pracy określono cechy morfologiczne, plon oraz jakość biomasy czterech gatunków wierzby uprawianych na glebie mułowo-murszowej, wytworzonej z gytii wapiennej na podłożu ilastym (ekstensywny użytek zielony) w zagęszczeniu 10000 szt.·ha<sup>-1</sup> roślin w czteroletniej rotacji zbioru. Nowy, wyselekcjonowany i wprowadzony do badań gatunek *Salix viminalis* (UWM 006) wydał bardzo wysoki plon suchej biomasy 25,31 t·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>. Gatunek ten wydał pełną obsadę roślin (10 tys. szt.·ha<sup>-1</sup>), wytworzył średnio 20,5 tys. szt.·ha<sup>-1</sup> czteroletnich pędów o średnicy 61 mm, a wysokość rośliny wyniosła średnio 7,94 m. Gatunki: *Salix alba* v. *chermesina* (UP) oraz *Salix pontederana* (UP) plonowały wysoce istotnie niżej i nie będą zalecane do uprawy na tej glebie. Wilgotność biomasy *Salix viminalis* (UWM 006) przy zbiorze wynosiła 48,2%, a jej wartość opałowa 9,0 MJ·kg<sup>-1</sup> świeżej masy. Oznaczona zawartość azotu, siarki i chloru w biomacie tego gatunku wyniosła odpowiednio: 0,5; 0,03 i 0,01% s.m.

**Słowa kluczowe:** wierzba, gatunki, cechy morfologiczne, plon, biomasa, cechy termochemiczne biomasy

### WSTĘP

Zadaniem rolnictwa jest aktualnie produkcja surowców żywnościowych i energetycznych [Stolarski 2009, Szczukowski i in. 2009, 2011, Wilkinson i in. 2007]. Produkcja „żywności” na gruntach rolniczych pozostaje priorytetem i pozyskiwanie surowców energetycznych z tych gruntów nie może z nią konkurować. W niniejszej pracy postawiono hipotezę, że uprawa szybko rosnących wierzby na gruntach nie użytkowanych rolniczo (ekstensywny użytek zielony) w czteroletniej rotacji zbioru może przynieść istotny wkład w pokrycie popytu biomasy, zmniejszając udział klasycznych jej źródeł takich jak lasy i tradycyjna produkcja rolnicza.

Szeroki zakres genetycznej różnorodności w obrębie rodzaju *Salix* stwarza ogromny potencjał zwiększenia plonów biomasy przez klasyczne metody hodowli. W Katedrze Hodowli Roślin i Nasiennictwa Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie od lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku prowadzono długoterminowy program hodowlany, który pozwolił na otrzymanie siedmiu odmian wierzby [COBORU 2007, 2009]. W wyniku prowadzenia dalszych prac hodowlanych otrzymano wysoko produktywne klony wierzby, z których dwa włączono do badań w niniejszym doświadczeniu.

<sup>1</sup> Adres do korespondencji – *Corresponding address*: stefan.szczukowski@uwm.edu.pl

\* Praca wykonana w ramach projektu badawczego rozwojowego Nr R12 00 65

Istotą przeprowadzonych badań jest wskazanie gatunków wierzby, które posadzone na glebie mułowo-murszowej w zagęszczeniu 10 tys. szt.·ha<sup>-1</sup> roślin i pozyskiwane w 4-letniej rotacji dałyby wysoki plon masy drzewnej o dobrej jakości, przydatnej do celów energetycznych.

Celem pracy było porównanie cech morfologicznych, plonu biomasy oraz cech termochemicznych czterech gatunków wierzby uprawianych w zagęszczeniu 10000 szt.·ha<sup>-1</sup> roślin i pozyskiwanych w czteroletniej rotacji.

## MATERIAŁ I METODY

Doświadczenia polowe zlokalizowano w północno-wschodniej Polsce w miejscowości Bałdy (53°35' N, 20°36' E) w Stacji Dydaktyczno-Badawczej należącej do Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Roczne opady atmosferyczne w SDB Bałdy wynoszą 550–650 mm, okres wegetacyjny od 210 do 220 dni, a średnia roczna temperatura powietrza około 9°C. Suma opadów w okresie wegetacji (IV–X) w czasie prowadzenia eksperymentu wahała się od 384,5 do 510,6 mm, a średnia temperatura powietrza w analogicznym okresie od 14,6 do 15,1°C.

Doświadczenie prowadzono na glebie mułowo-murszowej, wytworzonej z gytii wapiennej na podłożu ilastym, klasy bonitacyjnej IVb, kompleksu przydatności rolniczej – użytki zielone średnie. Odczyn gleby na badanym stanowisku był obojętny (pH 7,27). Ilość węgla ogólnego w glebie określono na 92 g·kg<sup>-1</sup> gleby. Zawartość P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Mg i Ca wynosiła odpowiednio: 8,0 mg, 13,4 mg, 4,3 mg, 422 mg·100 g<sup>-1</sup> gleby. Stosunek C:N, wynosił 14,2. Lustro wody gruntowej określono na głębokości poniżej 0,8 m.

Doświadczenie jednoczynnikowe w czterech powtórzeniach prowadzono w latach 2009–2012. Czynnikiem doświadczenia były cztery gatunki wierzby: *Salix alba* v. *chermesina* UP, *Salix pontederana* UP (pozyskane z kolekcji UP w Poznaniu), *Salix alba* UWM 075 i *Salix viminalis* UWM 006 (pozyskane z hodowli UWM w Olsztynie).

Zrzesy o długości 25 cm, wysadzono w drugiej dekadzie kwietnia 2009 roku w zagęszczeniu 10000 szt.·ha<sup>-1</sup>. Odległość zrzesów między rzędami i w rzędzie wynosiła 1,0 m. W 2009 roku zastosowano nawożenie w dawkach: N – 90 kg·ha<sup>-1</sup> w formie saletry amonowej, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 30 kg·ha<sup>-1</sup> w formie superfosfatu potrójnego, K<sub>2</sub>O – 60 kg·ha<sup>-1</sup> w formie soli potasowej. Azot stosowano w dwóch równych dawkach, pierwszą wysiano po ruszeniu wegetacji, a drugą w drugiej dekadzie maja. W doświadczeniach prowadzono standardowe zabiegi agrotechniczne.

Co roku po zakończeniu okresu wegetacji określano obsadę roślin na jednostce powierzchni i ich ubytki. Ponadto określano liczbę pędów na karpie, średnicę pędów (pomiar wykonano na wysokości 0,5 m od powierzchni gleby) oraz wysokość rośliny (wyniki z powyższych cech w pracy zamieszczono tylko z ostatniego roku). W rotacji czteroletniej (III dekada grudnia 2012 r.) zebrano rośliny poszczególnych gatunków wierzby z poletek. Plon świeżej i suchej masy podano w t·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>.

Wilgotność biomasy oznaczono metodą suszarkowo-wagową. W tym celu suszono biomasę w temperaturze 105°C do uzyskania stałej masy. Następnie biomasę rozdrabniano na młynku analitycznym „IKA KMF 10 basic” przy użyciu sita o średnicy oczek 0,25 mm. W tak przygotowanych próbkach oznaczono zawartość popiołu oraz części lotnych w automatycznym analizatorze termogravimetrycznym ELTRA TGA-THERMOSTEP. Ciepło spalania oznaczano w kalorymetrze IKA C 2000 w oparciu o metodę dynamiczną. Następnie obliczono wartość opałową paliw przy ich wilgotności podczas zbioru [Kopetz i in. 2007]. Zawartość węgla, wodoru i siarki oznaczono za pomocą automatycznego analizatora ELTRA CHS 500. Zawartość azotu oznaczono metodą Kjeldahla z użyciem mineralizatora K-435 oraz jednostki destylującej B-324 BUCHI, natomiast zawartość chloru z zastosowaniem mieszaniny Eschki.

Dla badanych cech obliczono średnie arytmetyczne i podano odchylenie standardowe. W przypadku udowodnienia istotności wpływu czynnika na badane cechy wykorzystano test wielokrotny SNK (Studenta Newmana-Keulsa) za pomocą, którego wyznaczono najmniejszą istotną różnicę przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ . Wszystkie wyniki badań opracowano statystycznie w oparciu o pakiet komputerowy STATISTICA 9,0 PL.

## WYNIKI BADAŃ

Liczba roślin wierzby po zakończeniu czwartego okresu wegetacji w 2012 roku była wysoce istotnie zróżnicowana (tab. 1). Obsada roślin klonów *Salix alba* UWM 075 i *Salix viminalis* UWM 006 wynosiła zgodnie z pierwotnym założeniem 10000 szt. $\cdot$ ha<sup>-1</sup>. Nie notowano u tych klonów po czterech latach wegetacji ubytków roślin. Liczba roślin u klonu *Salix alba* v. *chermesina* UP i *Salix pontederana* UP była znacznie obniżona w porównaniu do założonej teoretycznie i wyniosła odpowiednio: 4250 i 3000 szt. $\cdot$ ha<sup>-1</sup>, a ich ubytki odpowiednio 58 i 70%. W pierwszym roku wegetacji 2009 obsada roślin tych klonów była również bardzo niska i wyniosła odpowiednio 4750 i 3500 szt. $\cdot$ ha<sup>-1</sup>, przyczyną było słabe ukorzenianie i przyjmowanie się zrzezów. Wynikało ono prawdopodobnie z przesuszenia tych zrzezów od momentu ich pobrania z roślin matecznych do momentu dostarczenia ich do sadzenia w doświadczeniu.

Tabela 1. Obsada roślin i ich ubytki oraz charakterystyka morfologiczna roślin wierzby przed zbiorem w czwartym roku wegetacji (2012)

Table 1. Number of plants, plants loss and morphological features of willow plants before harvest in fourth year of vegetation (2012)

Wyszczególnienie Specification	Gatunek – Species				Średnio Mean	NIR <sub>0,05</sub> LSD <sub>0,05</sub>
	<i>Salix alba</i> v. <i>chermesina</i> UP	<i>Salix</i> <i>pontederana</i> UP	<i>Salix alba</i> UWM 075	<i>Salix</i> <i>viminalis</i> UWM 006		
Liczba roślin (sztuk $\cdot$ ha <sup>-1</sup> ) Number of plants (plants $\cdot$ ha <sup>-1</sup> )	4250 $\pm$ 1708	3000 $\pm$ 817	10000 $\pm$ 0	10000 $\pm$ 0	6813 $\pm$ 3430	1459
Ubytki (%) Plants loss (%)	57,5 $\pm$ 17,1	70,0 $\pm$ 8,2	0,0 $\pm$ 0,0	0,0 $\pm$ 0,0	31,9 $\pm$ 34,3	r.n.
Liczba pędów na roślinie (szt.) Number of stems	1,6 $\pm$ 0,3	2,9 $\pm$ 0,6	2,0 $\pm$ 0,3	2,1 $\pm$ 0,6	2,1 $\pm$ 0,6	r.n.
Wysokość (m) Height (m)	4,8 $\pm$ 1,2	2,8 $\pm$ 0,8	6,1 $\pm$ 0,8	7,9 $\pm$ 0,4	5,4 $\pm$ 2,1	1,3
Średnica (mm) Diameter (mm)	37,4 $\pm$ 23,5	25,0 $\pm$ 8,2	48,0 $\pm$ 8,4	61,2 $\pm$ 4,8	42,9 $\pm$ 18,3	20,6

$\pm$  odchylenie standardowe – standard deviation; r.n. – różnice nieistotne – non significant differences

Liczba pędów na jednej karpie była niska i słabo zróżnicowana u badanych gatunków wierzby i zawarta była ona w przedziale od 1,6 szt. u *Salix alba* v. *chermesina* UP do 2,9 szt. u *Salix pontederana* UP (tab. 1). Wysokość czteroletnich roślin wierzby w doświadczeniu wyniosła średnio 5,42 m. Klony pochodzące z UWM były wysoce istotnie wyższe niż z kolekcji UP.

Najwyższe rośliny dał nowy wprowadzony do badań klon *Salix viminalis* UWM 006 (7,94 m). Średnica pędu (mierzona na wysokości 0,5 m od powierzchni gleby) była wysoce istotnie zróżnicowana od 25,0 mm u klonu *Salix pontederana* UP do 61,2 mm u klonu *Salix viminalis* UWM 006.

Plon świeżej biomasy u badanych gatunków wierzby był wysoce istotnie zróżnicowany w doświadczeniu wyniósł średnio 74,0 t·ha<sup>-1</sup> (tab. 2). Klon *Salix viminalis* UWM 006 wydał bardzo wysoki plon świeżej biomasy 195,5 t·ha<sup>-1</sup> był on prawie 2,7-krotnie wyższy niż klonu *Salix alba* UWM 075 i odpowiednio o ponad 12 i 17-krotnie wyższy niż u klonów *Salix pontederana* UP i *Salix alba* v. *chermesina* UP. Plon suchej biomasy w przeliczeniu na rok użytkowania wierzby był silnie zróżnicowany i zawarty był w przedziale od 1,53 do 25,31 t·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>, odpowiednio klonu *Salix pontederana* UP i *Salix viminalis* UWM 006.

Tabela 2. Plon świeżej i suchej biomasy wierzby po czwartym roku wegetacji (2012)  
Table 2. Yield of fresh and dry willow biomass after fourth year of vegetation (2012)

Wyszczególnienie Specification	Gatunek – Species				Średnio Mean	NIR <sub>0,05</sub> LSD <sub>0,05</sub>
	<i>Salix alba</i> v. <i>chermesina</i> UP	<i>Salix</i> <i>pontederana</i> UP	<i>Salix alba</i> UWM 075	<i>Salix</i> <i>viminalis</i> UWM 006		
Plon świeżej biomasy Yield of fresh biomass (t·ha <sup>-1</sup> )	15,8±11,5	11,4±12,9	73,3±6,4	195,5±40,8	74,0±79,3	34,5
Plon suchej masy Yield of dry biomass (t·ha <sup>-1</sup> )	7,38±5,39	6,12±6,88	35,30±3,07	101,24±21,22	37,51±41,19	17,85
Plon suchej masy Yield of dry biomass (t·ha <sup>-1</sup> ·rok – year <sup>-1</sup> )	1,84±1,35	1,53±1,72	8,83±0,77	25,31±5,30	9,38±10,30	4,46

± odchylenie standardowe – standard deviation

Wilgotność biomasy przy zbiorze czteroletnich pędów wierzby w doświadczeniu wynosiła średnio 49,9% (tab. 3). Istotnie najniższa była ona u gatunku *Salix pontederana* UP 46,5%. Wilgotność biomasy klonu *Salix viminalis* UWM 006 była o 1,7%, a klonu *Salix alba* v. *chermesina* UP aż o 6,6% wyższa niż klonu *Salix pontederana* UP. Zawartość popiołu po spieceniu biomasy wierzby w doświadczeniu wyniosła średnio 1,4%. Zawartość popiołu w biomacie klonu *Salix viminalis* UWM 006 była istotnie niższa niż w biomacie klonu *Salix alba* UWM 075 i wysoce istotnie wyższa niż w biomacie obu klonów pochodzących z kolekcji UP.

Ciepło spalania biomasy wierzby w doświadczeniu było wysokie. Wynosiło średnio 19,5 MJ·kg<sup>-1</sup> suchej masy i było słabo choć istotnie zróżnicowane u badanych gatunków (tab. 3). Wartość opałowa biomasy (uwzględniająca jej wilgotność podczas zbioru) istotnie najwyższa była u klonu *Salix pontederana* UP. W biomacie badanych gatunków wierzby oznaczono średnio nieco ponad 20% części stałych i ponad 78% części lotnych.

Skład elementarny biomasy (węgiel, wodór – pożądana wysoka ich zawartość; siarka, azot, chlor – pożądana niska ich zawartość) pozyskanej z czteroletnich pędów wierzby przedstawiono w tabeli 4. Zawartość węgla oznaczona w biomacie wierzby zawarta była w przedziale od

Tabela 3. Wilgotność, zawartość popiołu oraz wartość opałowa biomasy wierzby pozyskanej po czwartym roku wegetacji (2012)

Table 3. Moisture content, ash content and lower heating value of willow biomass harvested after fourth year of vegetation (2012)

Wyszczególnienie Specification	Gatunek – Species				Średnio Mean	NIR <sub>0,05</sub> LSD <sub>0,05</sub>
	<i>Salix alba</i> v. <i>chermesina</i> UP	<i>Salix</i> <i>pontederana</i> UP	<i>Salix alba</i> UWM 075	<i>Salix</i> <i>viminalis</i> UWM 006		
Wilgotność (%) Moisture (%)	53,1±0,6	46,5±0,4	51,9±0,2	48,2±0,5	49,9±2,8	0,68
Popiół (% s.m.) Ash (% DM)	1,5±0,10	1,6±0,0	1,3±0,0	1,2±0,0	1,4±0,2	0,06
Ciepło spalania Higher heating value (MJ·kg <sup>-1</sup> s.m.–DM)	19,4±0,0	19,5±0,0	19,3±0,0	19,6±0,0	19,5±0,1	0,03
Wartość opałowa Lower heating value (MJ·kg <sup>-1</sup> )	7,8±0,1	9,3±0,1	8,0±0,0	9,0±0,1	8,5±0,7	0,15
Części stałe (%) Fixed carbon (%)	19,6±0,1	20,7±0,1	20,2±0,1	19,8±0,1	20,0±0,5	0,12
Części lotne (%) Volatile matter (%)	78,8±0,11	77,6±0,1	78,4±0,0	79,0±0,1	78,4±0,5	0,14

± odchylenie standardowe – standard deviation

Tabela 4. Skład elementarny biomasy wierzby pozyskanej po czwartym roku wegetacji (2012)

Table 4. Elemental analysis of willow biomass harvested after fourth year of vegetation (2012)

Wyszczególnienie Specification	Gatunek – Species				Średnio Mean	NIR <sub>0,05</sub> LSD <sub>0,05</sub>
	<i>Salix alba</i> v. <i>chermesina</i> UP	<i>Salix</i> <i>pontederana</i> UP	<i>Salix alba</i> UWM 075	<i>Salix</i> <i>viminalis</i> UWM 006		
Węgiel (% s.m.) Carbon (% DM)	49,6±0,3	52,0±0,2	50,6±0,2	52,1±0,1	51,1±1,1	0,32
Wodór (% s.m.) Hydrogen (% DM)	5,5±0,1	5,5±0,1	5,8±0,1	5,9±0,1	5,7±0,2	0,17
Siarka (% s.m.) Sulphur (% DM)	0,04±0,00	0,03±0,00	0,03±0,00	0,03±0,00	0,03±0,01	0,002
Azot (% s.m.) Nitrogen (% DM)	0,5±0,0	0,7±0,0	0,6±0,0	0,5±0,0	0,6±0,1	0,01
Chlor (% s.m.) Chlorine (% DM)	0,02±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00	0,001

± odchylenie standardowe – standard deviation

49,6 do 52,1% s.m. odpowiednio u klonu *Salix alba* v. *chermesina* UP i *Salix viminalis* UWM 006. Zawartość wodoru oznaczona w biomacie wierzby w doświadczeniu wyniosła średnio 5,66% s.m. przy niewielkim odchyleniu standardowym 0,21%. Oznaczona zawartość siarki i chloru w biomacie badanych gatunków wierzby była niska odpowiednio średnio 0,03 i 0,01%. Zawartość azotu oznaczona w biomacie wierzby wahała się od 0,5 do 0,7% s.m. odpowiednio u klonów *Salix viminalis* UWM 006 i *Salix pontederana* UP.

## DYSKUSJA

Istnieje możliwość produkcji drewna małowymiarowego wierzby na glebie mułowo-murszowej, wytworzonej z gytii, kompleksu przydatności rolniczej – użytki zielone średnie, w małym zagęszczeniu 10000 szt. roślin·ha<sup>-1</sup> w krótkiej 4-letniej rotacji zbioru. Nowy, wyselekcjonowany i wprowadzony do badań klon UWM 006 (*S. viminalis*) jest wstępnie preferowany do tego sposobu uprawy. Klon ten zachował po czterech latach uprawy założoną obsadę roślin na powierzchni hektara wytworzył 20 tys. szt·ha<sup>-1</sup> czteroletnich pędów o średnicy 61,2 mm, a wysokość rośliny wyniosła średnio 7,9 m. Wilgotność biomasy przy zbiorze pędów wyniosła 48,2%. Cytowane korzystne cechy tego klonu przełożyły się na bardzo wysoki plon 25,31 t·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> suchej masy. Konieczne będą dalsze badania tego nowego klonu aby sprawdzić jego trwałość w kolejnych czteroletnich rotacjach zbioru. Wówczas będzie mógł być on zalecany do uprawy w powyższym systemie.

Na gruntach rolniczych aktualnie jest rozpowszechniony system uprawy wierzby (SRWC – Short-rotation woody crops) w krótszej 3-letniej rotacji zbioru [Adegbi i in. 2001, Kopp i in. 1997, Labrecque i in. 1997, Labrecque i Teodorescu 2003, Mitchell 1995, Szczukowski i in. 2004]. Przygotowanie gleby pod sadzenie zrzędów wierzby obejmuje typowe zabiegi agrotechniczne. Zrzędy (długości 0,20–0,25 m) sadi się w konfiguracji dwurzędowej. Odległość między rzędami wynosi 0,75 m, a pomiędzy pasami 1,5 m. W rzędach sadi się najczęściej co 0,50–0,35 m, daje to obsadę 18000–25000 zrzędów·ha<sup>-1</sup>. Przeciętne plony wierzby w uprawie krótko rotacyjnej (SRWC) w doświadczeniach połowych w kraju mieściły się zwykle w przedziale od 10 do 15 t·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> suchej biomasy [Jeżowski i in. 2011, Kuś i in. 2008, Stolarski i in. 2008, Szczukowski in. 2002, Tworowski in. 2006]. Plony na plantacjach produkcyjnych wierzby były generalnie znacznie niższe i wynosiły średnio od 6 do 12 t·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> suchej biomasy. Zbliżone plony wierzby krzewiastej na plantacjach produkcyjnych osiąga się w USA, Szwecji i Wielkiej Brytanii [Bullard i in. 2002, MacPherrson 1995, Melin i Larsson 2005].

Sposób sadzenia wierzby w małym zagęszczeniu 10000 szt. zrzędów·ha<sup>-1</sup> i jej zbiór co cztery lata mógłby być prowadzony również w małych gospodarstwach w Polsce. Rolnicy w takich gospodarstwach posiadają często użytki zielone na glebach mułowo-murszowych prowadzone ekstensywnie, ponieważ zaniechali oni produkcję zwierzęcą. Pozyskane drewno wierzby mogłoby być wykorzystane do celów energetycznych w gospodarstwie własnym rolnika lub w lokalnej ciepłowni. Stwarza to możliwość uzyskania przez rolnika dodatkowego ekwiwalentu za dostarczone paliwo do lokalnej ciepłowni.

## WNIOSKI

1. Do upraw produkcyjnych wierzby na glebie mułowo-murszowej w zagęszczeniu 10000 szt. roślin·ha<sup>-1</sup> w czteroletniej rotacji zbioru można wstępnie zalecać nowy wyselekcjonowany i wprowadzony do badań klon UWM 006 (*Salix viminalis*), który dał rośliny o korzystnych cechach morfologicznych i bardzo wysoki plon suchej biomasy (25,3 t·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>).

2. Klony wierzby: *Salix alba* UWM 075, *Salix alba* v. *chermesina* UP i *Salix pontederana* nie potwierdziły przydatności do uprawy na glebie mułowo-murszowej w zagęszczeniu 10000 szt. roślin·ha<sup>-1</sup> w czteroletniej rotacji zbioru z powodu niskich plonów biomasy.
3. Klon *Salix viminalis* UWM 006 dał biomasę o korzystnych cechach. Wilgotność biomasy przy zbiorze wynosiła 48,2%, a jej wartość opałowa 9,0 MJ·kg<sup>-1</sup>. Oznaczona zawartość niepożądanych pierwiastków w biomacie tego gatunku: azotu, siarki i chloru była niska.

## PIŚMIENNICTWO

- Adegbidi H.G., Volk T.A., White E.H., Abrahamson L.P., Briggs R.D., Bickelhaupt D.H. 2001. Biomass and nutrient removal by willow clones in experimental bioenergy plantations in New York State. *Biomass Bioenerg.* 20: 399–411.
- Bullard M.J., Mustill S.J., McMillan S.D., Nixon P.M.I., Carver P., Britt C.P. 2002. Yield improvements through modification of planting density and harvest frequency in short rotation coppice *Salix* spp. 1. Yield response in two morphologically diverse varieties. *Biomass Bioenerg.* 22: 15–25.
- COBORU – Decyzja Dyrektora z dnia 26 stycznia 2009 r. w sprawie przyznania hodowcy – UWM w Olsztynie wyłącznego prawa do odmian: Tur, Oltur, Kortur, Monotur.
- COBORU – Decyzja Dyrektora z dnia 5 lutego 2007 r. w sprawie przyznania hodowcy – UWM w Olsztynie wyłącznego prawa do odmian: Start, Sprint i Turbo.
- Jeżowski S., Głowacka K., Kaczmarek Z., Szczukowski S. 2011. Field traits of eight common osier clones in the first three years following planting in Poland. *Biomass Bioenerg.* 35: 1205–1210.
- Kopetz H., Jossart J.M., Ragossnig H., Metschina Ch. 2007. European biomass statistics 2007. European Biomass Association (AEBIOM), Brussels: ss. 73.
- Kopp R.F., Abrahamson L.P., White E.H., Burns K.F., Nowak C.A. 1997. Cutting cycle and spacing effects on a willow clone in New York. *Biomass Bioenerg.* 12: 313–319.
- Kuś J., Faber A., Stasiak M., Kawalec A. 2008. Produkcyjność wybranych gatunków roślin uprawianych na cele energetyczne w różnych siedliskach. *Studia i Raporty IUNG-PIB* 11: 68–80.
- Labrecque M., Teodorescu T.I. 2003. High biomass yield achieved by *Salix* clones in SRIC following two 3-year coppice rotations on abandoned farmland in southern Quebec, Canada. *Biomass Bioenerg.* 25: 135–146.
- Labrecque M., Teodorescu T.I., Dajgle S. 1997. Biomass productivity and wood energy of *Salix* species after 2 years growth in SRIC fertilized with wastewater sludge. *Biomass Bioenerg.* 12: 409–417.
- MacPherson G. 1995. Home – grown energy from short – rotation coppice. *Farming Press North America*: ss. 214.
- Melin G., Larsson S. 2005. Agrobränsle AB – world leading company on short rotation coppice willow. 14<sup>th</sup> European Biomass Conference, 17–21 October 2005, Paris, France: 36–37.
- Mitchell C.P. 1995. New cultural treatments and yield optimization. *Biomass Bioenerg.* 9: 11–34.
- Stolarski M. 2009. Agrotechniczne i ekonomiczne aspekty produkcji biomasy wierzby krzewiastej (*Salix* spp.) jako surowca energetycznego. *Rozpr. Monogr., UWM Olsztyn* 148: ss. 145.
- Stolarski M., Szczukowski S., Tworowski J., Klasa A. 2008. Productivity of seven clones of willow coppice in annual and quadrennial cutting cycles. *Biomass Bioenerg.* 32: 1227–1234.
- Szczukowski S., Stolarski M., Tworowski J. 2011. Plon biomasy wierzby produkowanej systemem Eko-Salix. *Fragm. Agron.* 28(4): 104–115.
- Szczukowski S., Tworowski J., Klasa A., Stolarski M. 2002. Productivity and chemical composition of wood tissues of short rotation willow coppice cultivated on arable land. *Rost. Vyroba* 48: 413–417.
- Szczukowski S., Tworowski J., Stolarski M., Fortuna W. 2009. Plon biomasy wierzby pozyskanej w krótkich rotacjach zbioru na plantacji przemysłowej. *Fragm. Agron.* 26(3): 146–155.
- Szczukowski S., Tworowski J., Stolarski M., Przyborowski J. 2004. Plon biomasy wierzby krzewiastej pozyskiwanych z gruntów rolniczych w cyklach jednorocznych *Fragm. Agron.* 21(2): 5–18.

- Tworkowski J., Szczukowski S., Stolarski M. 2006. Productivity and calorific value of willow (*Salix* spp.) biomass in relation to selected agronomical factors. In: Alternative plants for sustainable agriculture. Wyd. IGR PAN, Poznań 5: 45–50.
- Wilkinson J.M., Evans E.J., Bilsborrow P.E., Wright C., Hewison W.O., Pilbeam D.J. 2007. Yield of willow cultivars at different planting densities in a commercial short rotation coppice in the north of England. *Biomass Bioenerg.* 31: 469–474.

S. SZCZUKOWSKI, M.J. STOLARSKI, J. TWORKOWSKI, P. RUTKOWSKI, P. GOLIŃSKI, M. MLECZEK, K. SZENTNER

### YIELD AND QUALITY OF BIOMASS OF SELECTED WILLOW SPECIES GROWN IN A FOUR-YEAR HARVEST ROTATION

#### Summary

This paper hypothesizes that the cultivation of fast-growing willows on non-agricultural land (extensive grassland) in a short rotation may contribute significantly to satisfying the demand for biomass and reducing the demand on traditional sources, such as forests and traditional agricultural production. The aim of the study was to identify the willow species which would give a good quality yield usable in both chipboard production and energy generation. The study used alluvial muck-soil, formed from lime gyttja on loamy substrate, quality class IVb, medium grassland, with the willow planted at a density of 10,000 plants·ha<sup>-1</sup> and harvested in a 4-year rotation. A single-factorial experiment in four replications was conducted in the years 2009–2012 at the Research Station of the University of Warmia and Mazury in Baldy. The experimental factors included four willow species: *S. alba* v. *chermesina* UP, *S. pontederana* UP (acquired from the collection of the UP in Poznań), *S. alba* UWM 075 and *S. viminalis* UWM 006 (acquired from the collection of the UWM in Olsztyn). The plant density and plant loss were determined. The number of shoots on a rootstock, the shoot diameter and the plant height were determined before the harvest. All of the willows were harvested in the four-year rotation (2012). The yield of shoots was determined and the thermochemical properties of the biomass of each willow species under study was determined. A new selected species (*S. viminalis* UWM 006) was used in the study and gave a very high yield of dry biomass (25.31 t·ha<sup>-1</sup>·year<sup>-1</sup>). A species analysis was performed for the entire plant population (10,000 plants·ha<sup>-1</sup>) which produced 20,500 four-year shoots with a diameter of 61 mm per ha and the average plant height was 7.94 m. The other species gave a significantly lower yield than *S. viminalis* UWM 006. The moisture content in the biomass of *S. viminalis* UWM 006 at harvest was 48.2%, and its heating value was 9 MJ·kg<sup>-1</sup>. The contents of nitrogen, sulphur and chlorine in the species biomass were: 0.5, 0.03 and 0.01% of dry mass, respectively. One can tentatively recommend the clone *S. viminalis* UWM 006 for growing on alluvial muck-soil. The willow species: *S. alba* v. *chermesina* UP, *S. pontederana* UP are not suitable for cultivation on the soil under study.

**Key words:** willow, species, morphological features, yield, biomass, thermochemical features of biomass

Zaakceptowano do druku – *Accepted for print*: 25.02.2014

Do cytowania – *For citation*:

Szczukowski S., Stolarski M., Tworkowski J., Rutkowski P., Goliński P., Mleczek M., Szentner K.. 2014. Plon i jakość biomasy wybranych gatunków wierzby w czteroletniej rotacji zbioru. *Fragm. Agron.* 31(2): 107–114.