

## PLON BIOMASY WIERZBY PRODUKOWANEJ SYSTEMEM EKO-SALIX\*

STEFAN SZCZUKOWSKI, MARIUSZ STOLARSKI, JÓZEF TWORKOWSKI

*Katedra Hodowli Roślin i Nasiennictwa, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie*

stefan.szczukowski@uwm.edu.pl

**Synopsis.** W pracy określono plon biomasy oraz cechy morfologiczne wierzby uprawianej sposobem Eko-Salix w 5-letniej rotacji na gruntach rolniczych nie przydatnych pod rośliny konsumpcyjne. W doświadczeniu uzyskano średnio 7,46 ton·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> s.m. Rośliny wierzby wysadzone z sadzonek długich (żywokołów) po pięciu okresach wegetacji miały wysokość średnio 7,5 m, a średnica pędu wyniosła 55 mm. Klon UWM 043 dał wyższy plon (10,16 t·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> s.m.) o korzystniejszych cechach morfologicznych roślin niż uprawiane w doświadczeniu odmiany wierzby. Plon uzyskany z gleby torfowo-murszowej był istotnie wyższy niż z gleby ilastej bardzo ciężkiej. Rośliny uprawiane w zagęszczeniu 5,2 tys. roślin·ha<sup>-1</sup> plonowały o ponad 22% niżej niż w zagęszczeniu 7,4 tys. roślin·ha<sup>-1</sup>.

**Słowa kluczowe** – *key words*: wierzba – *willow*, system Eko-Salix – *Eco-Salix system*, biomasa – *biomass*, plon – *yield*, gleby marginalne – *marginal soils*

### WSTĘP

Uprawy drzewne na gruntach rolniczych, zbierane w krótkiej rotacji są propagowane jako sposób produkowania biomasy do wytwarzania ciepła i/lub energii elektrycznej [Rozporządzenie Ministra Gospodarki Dz. U. Nr 156, poz. 969, z 2008 r., Dz. U. Nr 34, poz. 182, z 2010 r., Budzyński i in. 2009], a ostatnio również do wytwarzania gazowych i ciekłych paliw transportowych, alternatywnych dla paliw ropopochodnych [Dyrektywa..., 2009, Biernat 2010a, 2010b, Ciechanowicz i Szczukowski 2010]. Przed rolnictwem staje zadanie produkcji surowców żywnościowych i energetycznych. Produkcja żywności na gruntach rolniczych pozostaje priorytetem i pozyskiwanie surowców energetycznych z tych gruntów nie może z nią konkurować. Podjęliśmy się zatem opracowania sposobu uprawy wierzby w systemie Eko-Salix, jako alternatywnego dla (SRWC – Short-rotation woody crops), na gruntach nie przydatnych pod kultury konsumpcyjne. W niniejszej koncepcji postawiono hipotezę, że uprawa szybko rosnących wierzby na gruntach nie użytkowanych rolniczo (ekstensywne użytki zielone: 2z, 3z, gleby okresowo nadmiernie wilgotne: kompleks 8, część nieużytków) w 5–6-letnim cyklu rotacyjnym zbioru może przynieść istotny wkład w pokrycie popytu biomasy do celów energetycznych, zmniejszając udział klasycznych jej źródeł takich jak lasy i tradycyjna produkcja rolnicza, pozostając jednocześnie w równowadze z kwestiami ekologicznymi, ekonomicznymi i społecznymi [Stolarski i in. 2010a, 2010b, Tworkowski i in. 2010].

Istotą przeprowadzonych badań było wykazanie, że istnieje możliwość zakładania dużych przemysłowych upraw wierzby przy użyciu trzyletnich żywokołów rosnących w zagęszczeniu od 5,2 do 7,4 tys. sztuk·ha<sup>-1</sup> na dwu siedliskach gleb marginalnych: bardzo ciężkiej tzw.

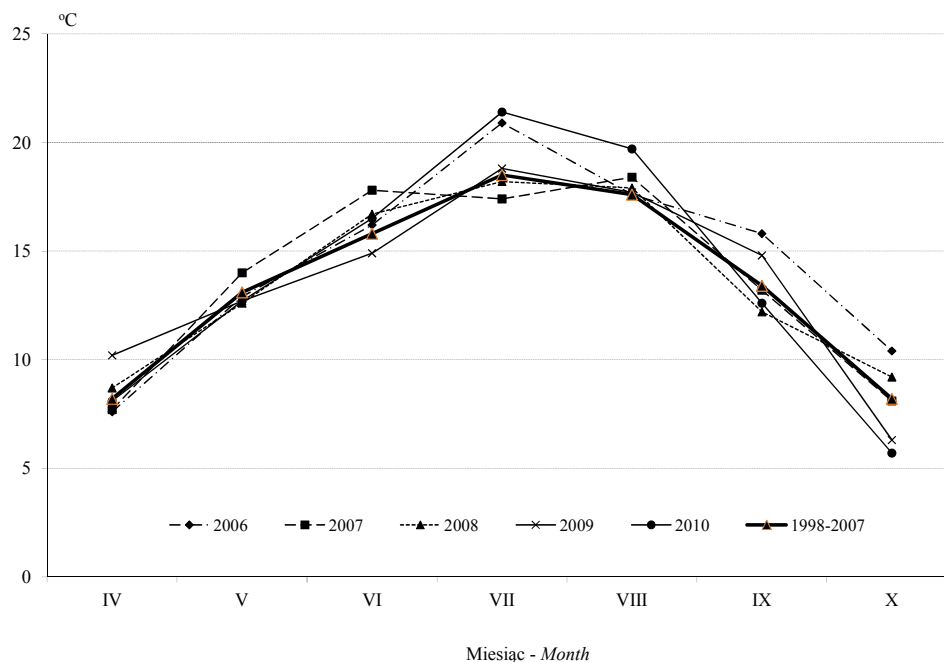
\* Praca wykonana w ramach projektu badawczego rozwojowego finansowanego przez MNiSzW–R1207103

„minutowej” i organicznej okresowo nadmiernie wilgotnej. Ponadto wskazanie odmian, które pozyskiwane w rotacji 5-letniej dałyby wysoki plon masy drzewnej. W kolejnym etapie badań zostanie określona przydatność wytworzonej biomasy do konwersji termochemicznej w celu wytworzenia gazu syntetycznego, który ma być alternatywą dla gazu ziemnego w jego lokalnym wykorzystaniu.

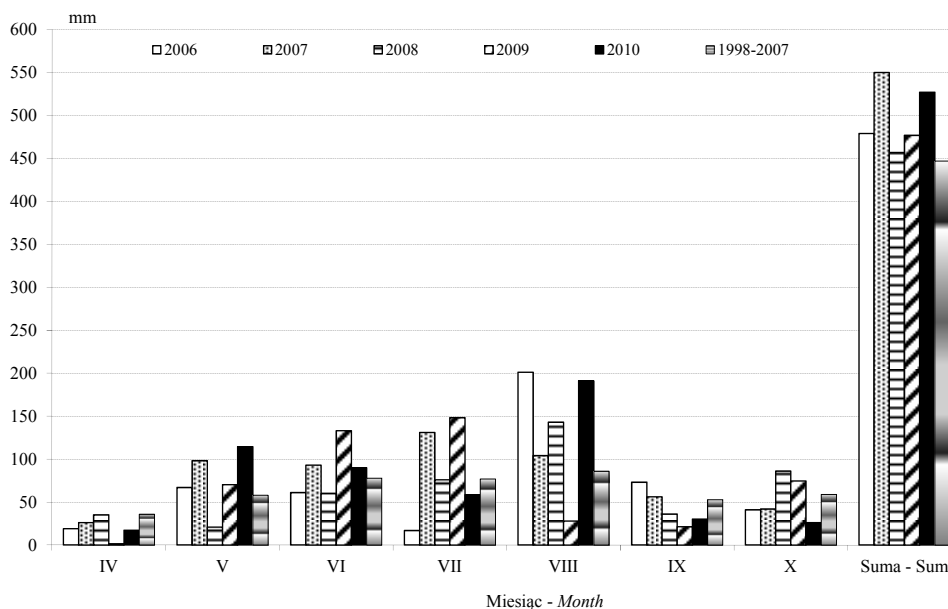
Stąd celem pracy było określenie cech morfologicznych i plonu biomasy sześciu odmian wierzby uprawianych w ekstensywnych warunkach bez orki z ograniczonym nawożeniem i pielęgnacją na dwu siedliskach gleb marginalnych i zbieranych w 5-letniej rotacji.

## MATERIAŁ I METODY

Doświadczenia polowe zlokalizowano w Północno-Wschodniej Polsce w miejscowości Leginy (53°59' N, 21°08' E) i Kocibórz (54°00' N, 21°10' E) oddalonych od siebie o 3 km w Stacji Badawczo-Dydaktycznej Łęzany należącej do Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Roczne opady atmosferyczne wynoszą tu 650-750 mm, okres wegetacyjny od 200 do 210 dni, a średnia roczna temperatura powietrza około 8°C. Suma opadów w okresie wegetacji (IV–X) w czasie prowadzenia eksperymentu wahała się od 457 do 550 mm a średnia temperatura powietrza w analogicznym okresie od 13,6 do 14,5°C (rys. 1 i 2).



Rys. 1. Średnie miesięczne temperatury powietrza w czasie prowadzenia eksperymentu  
*Fig. 1. Average monthly air temperature during the experiment*



Rys. 2. Miesięczne sumy opadów w czasie prowadzenia eksperymentu

Fig. 2. Monthly total precipitation during the experiment

Eksperyment obejmował lata 2006-2010. Doświadczenie założono w układzie split-block-split-plot w trzech powtórzeniach. Czynnikiem I w doświadczeniu były dwa siedliska: Leginy – czarna ziemia zbrunatniała [8Di] i Kocibórz – gleba torfowo-murszowa [Ł-MtII cb].

Czynnikiem II było sześć odmian i klonów wierzby: Turbo (*Salix viminalis* L.), Tur (*Salix viminalis* L.), Duotur (*Salix alba* L.), Corda (*Salix alba* L.), UWM-043 (*Salix viminalis* L.), UWM-046 (*Salix viminalis* L.). Czynnikiem III stanowiła gęstość sadzenia sadzonek długich (żywokołów): 5,2 (A) i 7,4 (B) tys. szt.·ha<sup>-1</sup>.

W obiekcie Leginy doświadczenie prowadzono na czarnej ziemi zbrunatniałej [8Di]. Warstwa gleby (Ap 0–32 cm) to ilt o oliwkowo-czarnej barwie, zawiera ponad 10 procent materii organicznej, 0,21 procent węgla wapnia, odczyn obojętny. Jest to gleba żyzna, bardzo ciężka, trudna w uprawie (tab. 1).

W obiekcie Kocibórz doświadczenie prowadzono na glebie torfowo-murszowej wytworzonej z torfów [Ł-MtII cb], okresowo nadmiernie wilgotnej (tab. 1). Warstwa powierzchniowa 0–23 cm [Mt1] to mursz torfowy właściwy o popielności ponad 54 procent o odczynie obojętnym (pH<sub>KCL</sub> 6,8).

Poziom wód gruntowych w okresach wegetacji w obiekcie Leginy zalegał na głębokości 150–220 cm, a w obiekcie Kocibórz na głębokości 10–50 cm. Przedplonem dla roślin wierzby krzewiastej w obiekcie Leginy była lucerna uprawiana na zieloną masę, a w obiekcie Kocibórz użytek zielony, który był ekstensywnie użytkowany. Późną jesienią w roku poprzedzającym nasadzenia wierzby skoszono lucernę i rośliny na użytku zielonym i pozostawiono je na polu.

Tabela 1. Charakterystyka profilu glebowego w obiektach Leginy i Kocibórz  
 Table 1. Description of soil profiles in Leginy and Kocibórz

Siedlisko – Facility			
Leginy		Kocibórz	
Położenie Location	płaskie o dobrym odpływie	Położenie Location	płaskie o dobrym odpływie
Ap 0–32 cm	ił o oliwkowo-czarnej barwie w stanie świeżym (7,5Y 3/2); zawiera 10,27% materii organicznej, odczyn obojętny (pH <sub>KCL</sub> 7,0); zawiera 0,21% CaCO <sub>3</sub> , przejście wyraźne	Mt1 0–23 cm	mursz torfowy właściwy o popielności 54,71%, barwa czarna w stanie świeżym (7,5Y 2/1); odczyn obojętny (pH <sub>KCL</sub> 6,8); przejście wyraźne
Bbrg 32–80 cm	ił marmurkowo oglejony o oliwkowo-brązowej barwie; odczyn obojętny (pH <sub>KCL</sub> 7,0); zawiera 5,78% CaCO <sub>3</sub> , przejście stopniowe	OtniolR3 23–56 cm	torf olesowy silnie rozłożony (R <sub>3</sub> ) z kawałkami drewna i szuwar o popielności 26,63%; barwa brązowo-czarna w stanie świeżym (2,5Y 3/1); odczyn obojętny (pH <sub>KCL</sub> 6,7); przejście wyraźne
Ccag 80–150 cm	ił marmurkowo oglejony o oliwkowo-brązowej barwie w stanie świeżym (2,5Y 4/3); odczyn obojętny (pH <sub>KCL</sub> 7,0); zawiera 14,93% CaCO <sub>3</sub>	OtniszR2 56–100 cm	torf szuwarowy średnio rozłożony (R <sub>2</sub> ) o popielności 8,80%; barwa czarna w stanie świeżym (7,5Y 2/1); odczyn obojętny (pH <sub>KCL</sub> 6,6); przejście wyraźne
Określenie	gleba bardzo ciężka ilasta (czarna ziemia zbrunatniała 8D i)	OtniszR2 100–160 cm	torf szuwarowy słabo rozłożony (R <sub>1</sub> ) o popielności 8,29%; barwa czarna w stanie świeżym (10Y 2/1); odczyn obojętny (pH <sub>KCL</sub> 6,7); zawiera 0,29% CaCO <sub>3</sub> , przejście wyraźne
		OtniszR2 160–250 cm	Gytia detytrusowo-wapienna (wapienna) o szaro-oliwkowej barwie w stanie świeżym (7,5Y 5/2); zawiera 23,26% materii organicznej, zawiera 52,34% CaCO <sub>3</sub> , przejście wyraźne
		OtniszR2 250–370 cm	Gytia detytrusowo-wapienna (wapienna) o szaro-oliwkowej barwie w stanie świeżym (7,5Y 4/2); zawiera 21,03% materii organicznej, zawiera 48,04% CaCO <sub>3</sub> , przejście wyraźne
		OtniszR2 370–480 cm	Gytia detytrusowo-wapienna (wapienna) o szaro-oliwkowej barwie w stanie świeżym (7,5Y 4/2); zawiera 17,60% materii organicznej, zawiera 48,86% CaCO <sub>3</sub> , przejście wyraźne
		< 480 cm	glina piaszczysta
		Określenie	Gleba torfowo-murszowa wytworzona z torfów olesowych i szuwarowych na gytii detytrusowo-wapiennej, średnio zmurszała [Ł – MtII cb]

W pierwszym wariantcie (A – 5,2 tys. sztuk·ha<sup>-1</sup>) zastosowano pasowy system sadzenia, odległość dwóch rzędów w pasie wynosiła 0,75 m, następnie odstęp 1,8 m i ponownie 2 rzędy w pasie w odległości 0,75 m. Na każdym poletku (38,3 m<sup>2</sup>) były dwa rzędy, a odległość żywokołów w rzędzie wynosiła 1,5 m. W drugim wariantcie (B – 7,4 tys. szt.·ha<sup>-1</sup>) zastosowano międzyrzędzia o szerokości 1,8 m. Na każdym poletku (54 m<sup>2</sup>) były dwa rzędy, a odległość żywokołów w rzędzie wynosiła 0,75 m. Żywokoły, sadzonki długie (2,4 m) pozyskano z trzy-letnich pędów wierzb, były one nieukorzone, wysadzano je na głębokość 0,4 m, przy użyciu świdra wodnego i dokładnie dociśnięto glebę do sadzonki.

Nawożenia mineralnego w pierwszym (2006) roku nie stosowano, a w drugim i trzecim roku wegetacji, wiosną wysiewano ręcznie: N – 40 kg·ha<sup>-1</sup> w formie saletry amonowej, P – 9 kg·ha<sup>-1</sup> w formie superfosfatu potrójnego, K – 33 kg·ha<sup>-1</sup> w formie soli potasowej. W pierwszych i drugim roku wegetacji pielęgnację roślin wierzb w doświadczeniu ograniczono do 1-krotne go koszenia chwastów w międzyrzędziach przy użyciu kosy spalinowej.

Co roku po zakończeniu wegetacji przez wierzbę, określono obsadę roślin na poletkach oraz przeliczono ją na powierzchnię 1 hektara. Wykonywano pomiary biometryczne na 10 roślinach z każdego poletka uwzględniając: wysokość roślin, średnicę pędu (mierzone na wysokości pierśnicy – 1,30 m), liczbę rozgałęzień I rzędu.

Plon biomasy po pięciu latach wegetacji określono na podstawie świeżej masy roślin wierzb zebranych (III dekada stycznia 2011 r.) z jednego poletka każdego obiektu doświadczenia, przeliczono go na powierzchnię 1 ha.

Rośliny wierzb z każdej odmiany rozdrobiono na zębki rębakiem Skorpion 120SD połączono w kombinacje i pobrano reprezentatywne próby do wykonania analiz laboratoryjnych. Wilgotność biomasy oznaczono metodą suszarkowo-wagową w temperaturze 105°C. Rozdrobione drewno suszono do uzyskania stałej masy.

Plon suchej masy w t·ha<sup>-1</sup> obliczono na podstawie oznaczonej wilgotności i plonu świeżej biomasy.

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

## WYNIKI BADAŃ

W roku 2006 po sadzeniu żywokołów znacznie niższe opady niż w wieloleciu praktycznie od kwietnia do lipca (z nieco większymi opadami w maju) powodowały deficyt wody w glebie (rys. 1 i 2). Ponadto silne wiatry powodowały suszę atmosferyczną. Mimo tych ekstremalnie trudnych warunków atmosferycznych procent przyjęcia roślin był bardzo wysoki w obu siedliskach (tab. 2).

Liczba roślin wierzb po pięciu okresach wegetacji w 2010 r. w doświadczeniu wyniosła średnio 5901 sztuk·ha<sup>-1</sup> (tab. 2). W obiekcie Leginy liczba roślin wierzb rosnącej na glebie ciężkiej była nieznacznie wyższa niż w Kociborzu, gdzie wierzba rosła na glebie organicznej. Obsada roślin badanych odmian wierzb była zbliżona. Liczba roślin była istotnie zróżnicowana przy obu gęstościach sadzenia, zgodnie z planowanymi założeniami i wyniosła odpowiednio: 4875 i 6928 sztuk·ha<sup>-1</sup>.

Ubytki roślin po pięciu latach wegetacji były niskie i wyniosły średnio 6,6%, wynikały one głównie z uszkodzeń roślin powodowanych przez zwierzęta. W obu obiektach doświadczal-

Tabela 2. Obsada roślin na powierzchni 1 ha oraz ubytki roślin po zakończeniu piątego okresu wegetacji  
 Table 2. Plant number per ha and plant loss after the end of the fifth vegetation period

Wyszczególnienie – Item		Liczba roślin (szt.·ha <sup>-1</sup> ) Plant number (plants·ha <sup>-1</sup> )	Ubytki roślin po pięciu latach Loss after five years (%)
Siedlisko – Facility	Leginy	5939	6,1
	Kocibórz	5863	7,1
Odmiana Cultivar	Turbo	5844	7,5
	Tur	5784	8,6
	Duotur	5880	7,2
	Cordea	5938	5,7
	UWM 043	6039	4,4
	UWM 046	5922	6,2
Gęstość sadzenia Planting density	A – 5,2 tys.	4875	6,8
	B – 7,4 tys.	6928	6,4
Średnio – Average		5901	6,6

a, b, c... – grupy jednorodne – *homogenous groups*

nych były one zbliżone. Wartość tej cechy u badanych odmian wahała się w przedziale od 4,4 do 8,6%.

Wysokość roślin wierzby wysadzonej z żywokołów w końcu piątego okresu wegetacji (2010 r.) wyniosła w doświadczeniu średnio 7,5 m (tab. 3). Rośliny wierzby rosnące na glebie torfowo murszowej w Kociborzu były o 1,5 m wyższe niż w obiekcie Leginy gdzie rośliny rosły na łące. Najwyższe rośliny w obu obiektach dał klon UWM 043, średnio 8,3 m. Rośliny rosnące w wyższym zagęszczeniu (7,4 tys. sztuk·ha<sup>-1</sup>) były nieznacznie choć istotnie wyższe niż przy niższym zagęszczeniu (5,2 tys. sztuk·ha<sup>-1</sup>). Przyrost roczny wysokości roślin wierzby w obiektach Leginy i Kocibórz wyniósł średnio odpowiednio: 0,94 i 1,24 m (żywokoły po sadzeniu w 2006 r. miały 2,00 m wysokości).

Średnica pędu głównego wierzby mierzona w pierśnicy (1,3 m) po zakończeniu okresu wegetacji w 2010 roku wyniosła w doświadczeniu średnio 55 mm. Grubość pędów w Kociborzu (64 mm) była istotnie wyższa niż w Leginach (47 mm). Roczny przyrost średnicy pędu w doświadczeniu wyniósł średnio 7 mm. Liczba rozgałęzień I-go rzędu na roślinie wierzby w doświadczeniu wyniosła średnio 2,2 szt. Cecha ta u badanych odmian zawarta była w przedziale od 1,7 do 2,8 sztuk.

Świeża masa pojedynczej rośliny wierzby po pięciu latach uprawy w doświadczeniu wyniosła średnio 14,2 kg (tab. 4). Masa rośliny uzyskana w Kociborzu (17,8 kg) była istotnie wyższa niż w Leginach (10,5 kg). Najwyższą masę rośliny stwierdzono u klonu UWM 043 (19,6 kg), a istotnie najniższą u odmiany Cordea (10,1 kg). Rośliny rosnące w mniejszym zagęszczeniu miały masę, średnio o 2,0 kg wyższą niż pozyskane z większego zagęszczenia.

Tabela 3. Wysokość rośliny, średnica pędu oraz liczba rozgałęzień wierzby przed zbiorem  
 Table 3. Plant height, shoot diameter and number of branches before harvest

Wyszczególnienie <i>Item</i>		Wysokość rośliny <i>Plant height (m)</i>	Przyrost wysokości po 5 latach <i>Height increase after 5 years (cm)</i>	Średnica pędu <i>Shoot diameter (mm)</i>	Przyrost średnicy po 5 latach <i>Diameter increase after 5 years (cm)</i>	Liczba rozgałęzień (szt.) <i>Number of branches</i>
Siedlisko <i>Facility</i>	Leginy	6,7 b	4,7 b	47 b	26 b	2,3 a
	Kocibórz	8,2 a	6,2 a	64 a	43 a	2,0 b
Odmiana <i>Cultivar</i>	Turbo	7,2 c	5,2 c	50 b	29 c	2,5 b
	Tur	7,4 c	5,4 c	46 c	26 c	1,7 d
	Duotur	7,9 b	5,9 b	68 a	45 a	2,2 bc
	Conda	7,4 c	5,4 c	52 b	34 b	1,8 d
	UWM 043	8,3 a	6,3 a	69 a	47 a	2,1 c
	UWM 046	6,6 d	4,6 d	46 c	27 c	2,8 a
Gęstość sadzenia <i>Planting density</i>	A – 5,2 tys.	7,2 b	5,2 b	57 a	35	2,2
	B – 7,4 tys.	7,7 a	5,7 a	54 b	34	2,2
Średnio – <i>Average</i>		7,5	5,5	55	35	2,2

a, b, c... – grupy jednorodne – *homogenous groups*

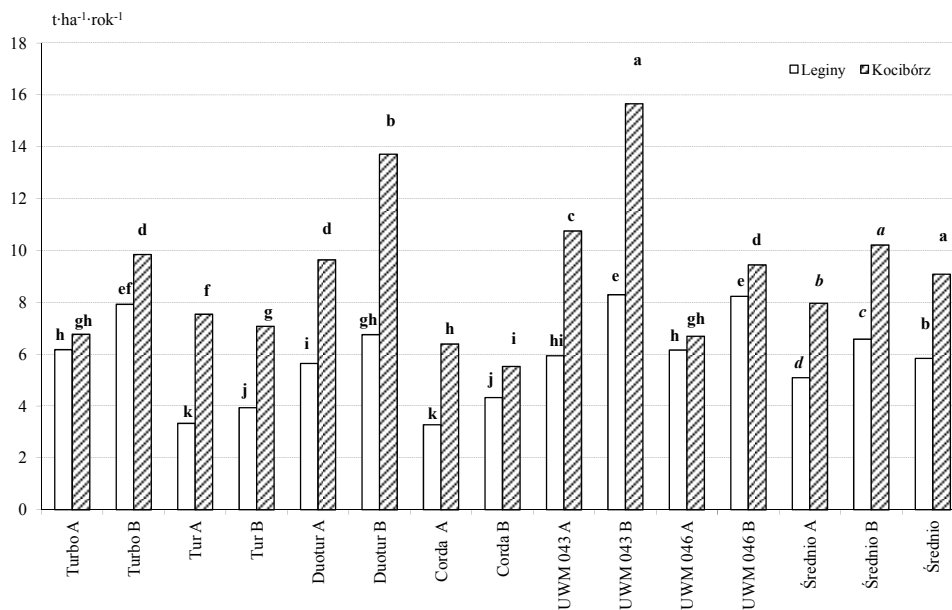
Tabela 4. Plon świeżej i suchej biomasy wierzby oraz jej wilgotność w czasie zbioru  
 Table 4. Yield of fresh and dry willow biomass and its moisture content on harvest

Wyszczególnienie <i>Item</i>		Masa świeżej rośliny (kg·szt. <sup>-1</sup> ) <i>Mass of fresh plant (kg·plant<sup>-1</sup>)</i>	Plon świeżej masy <i>Yield of fresh biomass (t·ha<sup>-1</sup>)</i>	Wilgotność <i>Moisture content (%)</i>	Plon suchej masy <i>Yield of dry biomass (t·ha<sup>-1</sup>)</i>
Siedlisko <i>Facility</i>	Leginy	10,5 b	57,9 b	49,7	29,2 b
	Kocibórz	17,8 a	90,8 a	49,8	45,4 a
Odmiana <i>Cultivar</i>	Turbo	14,1 c	73,9 c	48,1 d	38,4 c
	Tur	10,9 d	51,8 d	47,3 e	27,3 d
	Duotur	17,3 b	94,6 b	52,7 b	44,7 b
	Conda	10,1 d	52,0 d	53,1 a	24,4 e
	UWM 043	19,6 a	101,6 a	50,1 c	50,8 a
	UWM 046	13,0 c	72,3 c	47,2 e	38,4 c
Gęstość sadzenia <i>Planting density</i>	A – 5,2 tys.	15,2 a	65,3 b	49,9 b	32,6 b
	B – 7,4 tys.	13,2 b	83,4 a	49,6 a	41,9 a
Średnio – <i>Average</i>		14,2	74,4	49,7	37,3

a, b, c... – grupy jednorodne – *homogenous groups*

Plon świeżej biomasy wierzby po pięciu latach uprawy w doświadczeniu wyniósł średnio  $74,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . W obiekcie Kocibórz ( $90,8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) był on istotnie o około  $33 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  wyższy niż w Legninach. Plon biomasy klonu UWM 043 ( $101,6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) był istotnie wyższy niż uzyskany u odmiany Duotur i wysoce istotnie wyższy niż u pozostałych badanych odmian. Plon biomasy uzyskany z zagęszczenia  $7,4 \text{ tys. szt}\cdot\text{ha}^{-1}$  był istotnie wyższy niż z zagęszczenia  $5,2 \text{ tys. szt}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Wilgotność biomasy przy zbiorze 5-letnich roślin wierzby (III dekada stycznia 2011 r.) wynosiła średnio  $49,7\%$ . Wartość tej cechy u badanych odmian była zróżnicowana od  $47,2$  do  $53,1\%$ .

Plon suchej biomasy pozyskany z 5-letnich roślin wierzby wyniósł średnio  $37,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  (tab. 4). Plon suchej biomasy uzyskany w Kociborzu ( $45,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) był istotnie o  $16,3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  wyższy niż w obiekcie Legniny. Klon UWM 043 dał najwyższy plon suchej biomasy ( $50,8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) istotnie wyższy niż odmiana Duotur. Najniższy plon suchej biomasy dała odmiana Corda. Plon uzyskany z zagęszczenia  $5,2 \text{ tys. roślin}\cdot\text{ha}^{-1}$  był o ponad  $22\%$  niższy niż z zagęszczenia  $7,4 \text{ tys. roślin}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Najwyższy plon ( $15,7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ ) w całym eksperymencie w przeliczeniu na rok użytkowania plantacji odnotowano u klonu UWM 043 uprawianego w Kociborzu w zagęszczeniu  $7,4 \text{ tys. roślin}\cdot\text{ha}^{-1}$  (rys. 3). Na nieco niższym tylko poziomie w tym obiekcie i zagęszczeniu plonowała odmiana Duotur. Plony u tych genotypów przy niższej gęstości sadzenia były niższe o około  $3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ . Bardzo niskie plony (około  $4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ ) dały odmiany Tur i Corda w obiekcie Legniny przy niższym zagęszczeniu.



a, b, c... – grupy jednorodne – *homogenous groups*

A – 5,2; B – 7,4 – wyjściowa gęstość sadzenia (tys. szt. żywokółów·ha<sup>-1</sup>) – *initial planting density (thousand cuttings·ha<sup>-1</sup>)*

Rys. 3. Plon suchej masy wierzby w dwóch obiektach w zależności od odmiany i gęstości sadzenia ( $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ )

Fig. 3. Yield of dry willow biomass at two sites depending on the cultivar and planting density ( $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ )



## DYSKUSJA

Przeprowadzony eksperyment wykazał, że istnieje możliwość produkcji biomasy wierzby (drewna małego wymiarowego) w warunkach ekstensywnej uprawy w systemie Eko-Salix przy użyciu żywokołów na dwu siedliskach gleb nie przydatnych pod uprawy „żywnościowe”: mineralnej bardzo ciężkiej „minutowej” i organicznej okresowo nadmiernie wilgotnej. Plon świeżej biomasy pozyskany z 5-letnich roślin wierzby na glebie torfowo-murszowej  $90,8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  ( $18,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ ) był wysoki, istotnie wyższy niż na glebie ilastej  $57,9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  s.m. ( $11,6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ ).

Nowy wyselekcjonowany klon UWM 043 (*Salix viminalis*) okazał się najbardziej przydatny do nasadzeń na oba badane siedliska gleb marginalnych. Żywokoły trzyletnie tego klonu o długości 2,4 m, grubości około 25 mm oraz masie około 1 kg po wysadzeniu przyjęły się praktycznie w 100%. Po pięciu latach wzrostu dały rośliny o wysokości średnio ponad 8 metrów i średnicy pędu około 70 mm (w pierśnicy) i plonie średnio ponad  $20 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$  świeżej biomasy. Odmiana Duotur plonowała na zadawalającym choć istotnie niższym poziomie niż cytowany klon, natomiast pozostałe badane odmiany wierzby prawdopodobnie nie będą nadawały się do uprawy na tych siedliskach gleb marginalnych w tym systemie uprawy z powodu wysoce istotnie niższego plonu drewna.

Wyżej przytoczone dane, chociaż są wstępnymi oszacowaniami (konieczne są plony z kolejnych rotacji zbioru), wskazują jak szybki i duży potencjał może stanowić drewno małego wymiarowe wierzby pozyskane z gruntów marginalnych nie przydatnych pod uprawę roślin konsumpcyjnych.

W Polsce roczne przyrosty drewna [PGL - LP 2007, GUS 2009] w lesie naturalnym wynoszą około  $7 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$  ( $4,9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$  świeżej masy;  $1 \text{ m}^3=0,7 \text{ t}$ ), a drzewa leśne najwcześniej wchodzi w okres rębności po 40 latach. Wynika z tego, że wierzba daje średnio 3-4 razy więcej masy drzewnej, a przy tym nawet 8 krotnie szybciej niż w lesie. Ponadto zakłada się, że po każdej z czterech rotacji pędy wierzby będą odrastać z karp.

Rosnące zapotrzebowanie na drewno małego wymiarowe w Polsce może być częściowo uzupełnione alternatywną uprawą szybko rosnących wierzby w systemie Eko-Salix, które mogą ograniczyć (zbilansować) jego deficyt na rynku. Drewno to można pozyskiwać poza lasem na terenach niewykorzystywanych w produkcji rolnej na glebach marginalnych. Dotyczy to głównie nadrzecznych gleb aluwialnych, gleb organicznych, terenów podlegających erozji i gleb trudnych w uprawie, które w Polsce stanowią duży areał. Zagospodarowanie części tych terenów szybko rosnącymi wierzby w systemie Eko-Salix miałyby duże znaczenie gospodarcze i ekonomiczne.

W systemie uprawy Eko-Salix zabiegi agrotechniczne zostały bardzo ograniczone, żywokoły (2,4 m) wysadzono na stanowisku bez wcześniejszej uprawy płuźnej gleby. W pierwszym i drugim okresie wegetacji roślin wierzby prowadzono tylko w międzyrzędziach 1-krotne koszenie chwastów aby nie dopuścić do ich nadmiernego rozwoju i owocowania, dopóki rozrastające się korony nie ocienią gleby. Już w trzecim okresie wegetacji uprawę wierzby można pozostawić bez dalszej pielęgnacji ponieważ bujnie wytworzone korony ograniczają dostęp światła i rozwój chwastów. Opadające liście tworzą również warstwę izolacyjną dla kiełkujących nasion, po czym rozkładają się one i tworzy się próchnica. Nawożenie mineralne zostało również bardzo ograniczone (patrz metodyka).

Na gruntach rolniczych jest rozpowszechniony aktualnie system uprawy wierzby (SRWC) w krótkiej 3-letniej rotacji zbioru [Kopp i in. 1997, Labrecque i Teodorescu 2003, Labrecque i in. 1997, Mitchell 1995, Szczukowski i in. 2004, 2011]. Przygotowanie gleby pod sadzenie zrzewów wierzby obejmuje typowe zabiegi agrotechniczne. Zrzewy (długości 0,20-0,25 m) sadzi

się w konfiguracji dwurzędowej. Odległość między rzędami wynosi 0,75 m, a pomiędzy pasami 1,5 m. W rzędach sadi się najczęściej co 0,5 m, daje to obsadę 18000 zrzędów·ha<sup>-1</sup>.

Plony wierzby w uprawie krótko rotacyjnej (SRWC) w doświadczeniach połowych ścisłych prowadzone w optymalnych warunkach osiągnęły wielkość około 60 t·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> świeżej biomasy (30 t·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> suchej masy) [Stolarski i in. 2008, Szczukowski in. 2005]. Przeciętne plony w doświadczeniach w kraju mieściły się zwykle w przedziale od 20 do 24 t·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> świeżej masy [Faber i Kuś 2007, Jeżowski i in. 2011, Kuś i in. 2008, Stolarski i in. 2008, Szczukowski in. 2002, Tworkowski in. 2006]. Plony na plantacjach produkcyjnych wierzby były generalnie znacznie niższe i wynosiły średnio od 8 do 20 t·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> świeżej biomasy. Zbliżone plony wierzby krzewiastej na plantacjach produkcyjnych osiąga się w Szwecji i Wielkiej Brytanii [Bullard i in. 2002, Melin i Larsson 2005].

W innym doświadczeniu prowadzonym przez autorów [Tworkowski i in. 2010] w systemie Eko-Salix w pradolinie rzeki Wisły na madzie ciężkiej, próchnicznej okresowo nadmiernie wilgotnej uzyskano w rotacji 3-letniej średnio 21,7 t·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> świeżej masy drewna, a klon UWM 043 dał plon najwyższy (28,1 t·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> świeżej masy). Plon z zagęszczenia 7,4 tys. żywokołów·ha<sup>-1</sup> był o 26% wyższy niż z zagęszczenia 5,2 tys. żywokołów·ha<sup>-1</sup>.

Reasumując należy stwierdzić, że istnieje możliwość produkcji drewna małego wymiarowego wierzby sposobem Eko-Salix w warunkach ekstensywnej uprawy (bez orki, przy ograniczonym nawożeniu i pielęgnacji roślin) przy użyciu żywokołów. Na obu glebach marginalnych zalecany jest klon UWM 043 (*Salix viminalis*), który w 5-letniej rotacji zbioru szczególnie wysoko plonuje na glebie murszowo-torfowej.

## WNIOSKI

1. Do upraw produkcyjnych wierzby sposobem Eko-Salix z użyciem trzyletnich żywokołów na obu siedliskach gleb marginalnych można wstępnie zalecić klon UWM 043 (*Salix viminalis*), który dobrze się przyjmuje, a po 5-latach daje rośliny o wysokości ponad 8 m i średnicy około 70 mm, z którego pozyskuje się ponad 20 t·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> świeżej masy drewna (10,0 t·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> suchej masy).
2. Plon suchej biomasy uzyskany na glebie torfowo-murszowej okresowo nadmiernie wilgotnej był istotnie wyższy niż na glebie ilastej, bardzo ciężkiej. Ponadto z zagęszczenia 7,4 tys. roślin·ha<sup>-1</sup> był on o ponad 22% wyższy niż z zagęszczenia 5,2 tys. roślin·ha<sup>-1</sup>.
3. Obsada roślin wierzby po pięciu okresach wegetacji była zbliżona do założonej w eksperymencie. Niewielkie ubytki (średnio 6,6 procent) powodowane były głównie przez zwierzęta.
4. Wysokość roślin wysadzonych z żywokołów po zakończeniu piątego okresu wegetacji wyniosła średnio 7,5 m, a średnica pędu 55 mm. Roczne przyrosty wysokości roślin wierzby w obiektach Leginy (ił) i Kocibórz (torf) wyniosły odpowiednio: 0,94 i 1,24 m. Roczny przyrost średnicy pędu w doświadczeniu wyniósł średnio 7 mm.

## PIŚMIENNICTWO

- Biernat K. 2010a. Biopaliwa - definicje i wymagania obowiązujące w Unii Europejskiej. Czysta Energia 10: 25–28.
- Biernat K. 2010b. Rozwój technologii wytwarzania biopaliw. Czysta Energia 11: 33–36.

- Budzyński W., Szczukowski S., Tworkowski J. 2009. Wybrane problemy z zakresu produkcji roślinnej na cele energetyczne. I Kongres Nauk Rolniczych. Przyszłość sektora rolno-spożywczego i obszarów wiejskich. Puławy: 76–89.
- 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.
- Ciechanowicz W., Szczukowski S. 2010. Transformacja cywilizacji z ery ognia do ekonomii wodoru i metanolu. Wyd. WIT Warszawa: ss. 609.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych.
- Faber A., Kuś J. 2007. Rośliny energetyczne dla różnych siedlisk. *Więś Jutra* 8–9: 11–12.
- GUS. 2009. Leśnictwo w 2008 roku. Warszawa.
- 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.
- 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.
- Melin G., Larsson S. 2005. Agrobränslä AB – world leading company on short rotation coppice willow. 14<sup>th</sup> Europ. Biomass Conf., Paris, France 17–21 October 2005: 36–37.
- Mitchell C.P. 1995. New cultural treatments and yield optimization. *Biomass Bioenerg.* 9: 11–34.
- PGL - LP. 2007. Raport o stanie lasów w Polsce 2006. Warszawa, ss. 86.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 14 sierpnia 2008 roku 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. nr 156, poz. 969., Dz. U. nr 34, poz. 182 z 2010 r.
- 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., Tworkowski J. 2010a. Ekonomiczne aspekty produkcji biomasy wierzby w systemie Eko-Salix. *Rocz. Nauk Rol., Ser. G* 97(1): 82–89.
- Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J. 2010b. Charakterystyka biomasy wierzby uprawianej w systemie Eko-Salix w aspekcie energetycznym. *Probl. Inż. Rol.* 1: 125–133.
- Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski 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., Tworkowski J., Przyborowski J., Klasa A. 2005. Productivity of willow coppice plants grown in short rotations. *Plant Soil Environ.* 51: 423–430.
- Szczukowski S., Tworkowski J., Klasa A., Stolarski M. 2002. Productivity and chemical composition of wood tissues of short rotation willow coppice cultivated on arable land. *Rost. Vyr.* 48: 413–417.
- Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M. 2004. Wierzba energetyczna. *Plantpress.* Kraków: ss. 46.
- Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M., Fortuna W. 2009. Plon biomasy wierzby pozyskanej w krótkich rotacjach na plantacji przemysłowej. *Fragm. Agron.* 26(3): 146–155.
- Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M., Kwiatkowski J., Krzyżaniak M., Lajszner W., Graban Ł. 2011. Wieloletnie Rośliny Energetyczne. *Oficyna Wyd. Multico.* Warszawa: ss. 174.
- Tworkowski J., Szczukowski S., Stolarski M. 2006. Productivity and calorific value of willow (*Salix* spp.) biomass in relation to selected agronomical factors. W: *Alternative plants for sustainable agriculture.* Wyd. IGR PAN, Poznań 5: 45–50.
- Tworkowski J., Szczukowski S., Stolarski M. 2010. Plonowanie oraz cechy morfologiczne wierzby uprawianej w systemie Eko-Salix. *Fragm. Agron.* 27(4): 135–146.

---

S. SZCZUKOWSKI, M. STOLARSKI, J. TWORKOWSKI

## YIELD OF WILLOW BIOMASS PRODUCED IN THE EKO-SALIX SYSTEM

### Summary

The authors propose a novel method of willow cultivation in the Eko-Salix system on agricultural land which is unusable for consumer crops; this could significantly contribute to satisfying the demand for biomass by reducing the contribution of its traditional sources, such as forests and traditional agricultural produce. Such willow could be cultivated mainly on faulty soils with low agricultural effectiveness which are periodically boggy, difficult to cultivate or are currently laid fallow. The study was based on a three-factorial field experiment, conducted in triplicate in the years 2006–2010 at two sites: on heavy black brownish soil [8Di] and on excessively moist peat-muck soil [L-MtII cb]. The second factor taken into account were six willow genotypes and the third one – two densities of planting the willow cuttings (5.2 and 7.4 thousand cuttings·ha<sup>-1</sup>). Willows planted from long cuttings yielded 7.46 t·ha<sup>-1</sup>·year<sup>-1</sup> of dry biomass on average after five vegetation periods. The dry willow biomass yield from peat-muck soil [L-MtII cb] was significantly higher than that from very heavy clay-soil [8Di]. The yield obtained at the density of 5.2 thousand plants·ha<sup>-1</sup> was 22% higher than at the density of 7.4 thousand plants·ha<sup>-1</sup>. The UWM 043 clone yield was significantly the highest (10.16 t·ha<sup>-1</sup>·year<sup>-1</sup> of dry biomass). The willow plant density after five vegetation periods was similar to that adopted for the experiment. Slight plant loss (6.6% on average) was caused mainly by animals. The average height of willows planted from long cuttings was 7.5 m and the shoot diameter (measured at breast height – 1.3 m) was 55 mm. The average annual height increase rate ranged from 0.94 to 1.24 m and the average annual shoot thickness increase rate was 7 mm.