

PLONOWANIE ORAZ CECHY MORFOLOGICZNE WIERZBY UPRAWIANEJ W SYSTEMIE EKO-SALIX*

JÓZEF TWORKOWSKI, STEFAN SZCZUKOWSKI, MARIUSZ STOLARSKI

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

jozef.tworkowski@uwm.edu.pl

Synopsis. W pracy określono plon biomasy oraz cechy morfologiczne wierzby uprawianej sposobem Eko-Salix w 3-letniej rotacji na gruntach rolniczych nie przydatnych pod kultury konsumpcyjne. W doświadczeniu uzyskano średnio 11 ton s.m.·ha⁻¹·rok⁻¹. Rośliny wierzby wysadzone z sadzonek długich (żywokółów) po trzech okresach wegetacji miały wysokość średnio 6,41 m, a średnica pędu wyniosła 5,01 cm. Po trzech latach uprawy wierzby w powyższym systemie, nie stwierdzono jej ujemnego wpływu na zmianę właściwości fizykochemicznych oraz zawartość składników przyswajalnych w poziomie Ap gleby.

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

WSTĘP

Wykorzystanie energii odnawialnej w kraju i UE wzrasta [Dyrektywa 2009/28/EC]. Dominującym źródłem energii odnawialnej jest biomasa [GUS 2007, 2008, Eurobserv'er 2007]. Głównym źródłem biomasy do celów energetycznych w kraju są lasy. Struktura źródeł pochodzenia biomasy musi się jednak zmienić, bowiem najpóźniej od 2015 roku aż 60 procent surowca lignocelulozowego do celów energetycznych winno pochodzić głównie z produkcji agrotechnicznej [Dz. U. nr 156, poz. 969, 2008], co jest dużym wyzwaniem dla rolnictwa [Budzyński i in. 2009]. Produkcja żywności jest jednakże priorytetem i pozyskiwanie surowców energetycznych na gruntach rolniczych nie może z nią konkurować. Dlatego autorzy podjęli nowatorską w porównaniu do powszechnie stosowanej, próbę uprawy wierzby w systemie Eko-Salix na gruntach rolniczych nieprzydatnych pod kultury konsumpcyjne. Głównie na glebach wadliwych, okresowo podmokłych lub stanowiących ekstensywne użytki zielone, głównie kompleksu 2z (klasa III i IV).

W systemie tym zakłada się niskonakładowy, uproszczony sposób przygotowania stanowiska, bez orki z nasadzeniem odmian wierzby w postaci żywokółów (sadzonek długich), w zagęszczeniu od 5000 do 7000 sztuk na hektar z okresowym mulczowaniem chwastów i pozyskiwaniem roślin w 3–5-letniej rotacji.

W pracy postawiono hipotezę, że uprawa szybko rosnących wierzby w systemie Eko-Salix na gruntach rolniczych nieprzydatnych pod kultury konsumpcyjne mogłaby przynieść istotny wkład w pokrycie popytu biomasy, zmniejszając udział klasycznych jej źródeł takich jak lasy i tradycyjna produkcja rolnicza.

Celem badań było określenie cech morfologicznych oraz plonu biomasy wierzby uprawianej w systemie Eko-Salix na madzie próchnicznej ciężkiej, okresowo podmokłej w trzy letniej rotacji zbioru.

* Praca wykonana w ramach projektu – PBZ-MNiSW-1/3/200

MATERIAŁ I METODY

Podstawą prowadzonych badań było ściśle doświadczenie polowe dwuczynnikowe, prowadzone w trzech powtórzeniach w latach 2006–2008 w pradolinie Wisły na Nizinie Kwidzyńskiej, w miejscowości Obory (53°43' N, 18°53' E). Doświadczenie założono w I dekadzie kwietnia 2006 r. na madzie próchnicznej ciężkiej całkowitej, okresowo podmokłej, klasy (R-IIIb), kompleksu zbożowo-pastewnego mocnego (8).

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 (żywokółów) – 5,2 i 7,4 tys. szt.·ha⁻¹. W pierwszym wariantcie (A – 5,2 tys. szt.·ha⁻¹) zastosowano pasowy system sadzenia, odległość dwóch rzędów w pasie wynosiła 0,75 m, następnie odstęp 1,80 m i ponownie 2 rzędy w pasie w odległości 0,75 m. Natomiast odległość żywokółów w rzędzie wynosiła 1,50 m. W drugim wariantcie (B – 7,4 tys. szt.·ha⁻¹) zastosowano międzyrzędzia o szerokości 1,80 m, natomiast odległość żywokółów w rzędzie wynosiła 0,75 m. Żywokoły, sadzonki długie, nieukorzenione przycięte do długości 2,4 m pozyskano z dwuletnich pędów wierzby. Żywokoły wysadzono na głębokość 0,4 m.

W doświadczeniu z wierzchniej warstwy gleby (poziom Ap 0–37 cm) pobrano próbki gleby i w Stacji Chemiczno-Rolniczej w Olsztynie wykonano następujące analizy: pH gleby w KCl i H₂O, zawartość przyswajalnych form fosforu, potasu i magnezu. Ponadto oznaczono zawartość węgla organicznego, substancji organicznej i N ogólnego. W obrębie doświadczenia założono piezometrię i monitorowano poziom wody gruntowej.

Nawożenia mineralnego w pierwszym roku nie stosowano, a w drugim (2007 r.) i trzecim (2008 r.) roku wegetacji, wiosną wysiewano ręcznie: N 40 kg·ha⁻¹ w formie mocznika; P 9 kg·ha⁻¹ w formie superfosfatu potrójnego; K 33 kg·ha⁻¹ w formie soli potasowej. W pierwszych dwóch latach wegetacji pielęgnację roślin w doświadczeniu ograniczono do 2-krotnego koszenia chwastów w międzyrzędziach przy użyciu kosi spalinowej.

Co roku po zakończeniu wegetacji przez wierzbę, określano obsadę roślin na poletkach oraz przeliczono ją na powierzchnię 1 ha. 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 trzech latach wegetacji określono na podstawie świeżej masy trzech pojedynczych z każdego poletka. Oznaczono wilgotność zebranej świeżej biomasy oraz wyliczono plon suchej masy drewna. Określono również udział pędu głównego oraz rozgałęzień bocznych w masie poszczególnych pojedynczych.

Wyniki badań opracowano statystycznie w oparciu o pakiet komputerowy STATISTICA 8,0 PL. Dla badanych cech obliczono średnie arytmetyczne. Za pomocą testu wielokrotnego SNK (Studenta Newmana-Keulsa) wyznaczono wartości NIR przy poziomie istotności $p = 0,05$.

WYNIKI I DISKUSJA

W okresie prowadzenia eksperymentu odczyn gleby był zasadowy i nie uległ zmianie (tab. 1). W 2008 roku oznaczono wyższą zawartość fosforu i magnezu w glebie niż w roku założenia doświadczenia, które utrzymywały się odpowiednio na wysokim i średnim poziomie. Stwierdzono nieznacznie mniejszą zawartość potasu i zbliżoną zawartość azotu. Zawartość węgla organicznego (35,2–35,9 g·kg⁻¹) i substancji organicznej (83,5–83,9 g·kg⁻¹) była wysoka i nie uległa zmianie w czasie prowadzenia eksperymentu. Po trzech latach uprawy wierzby

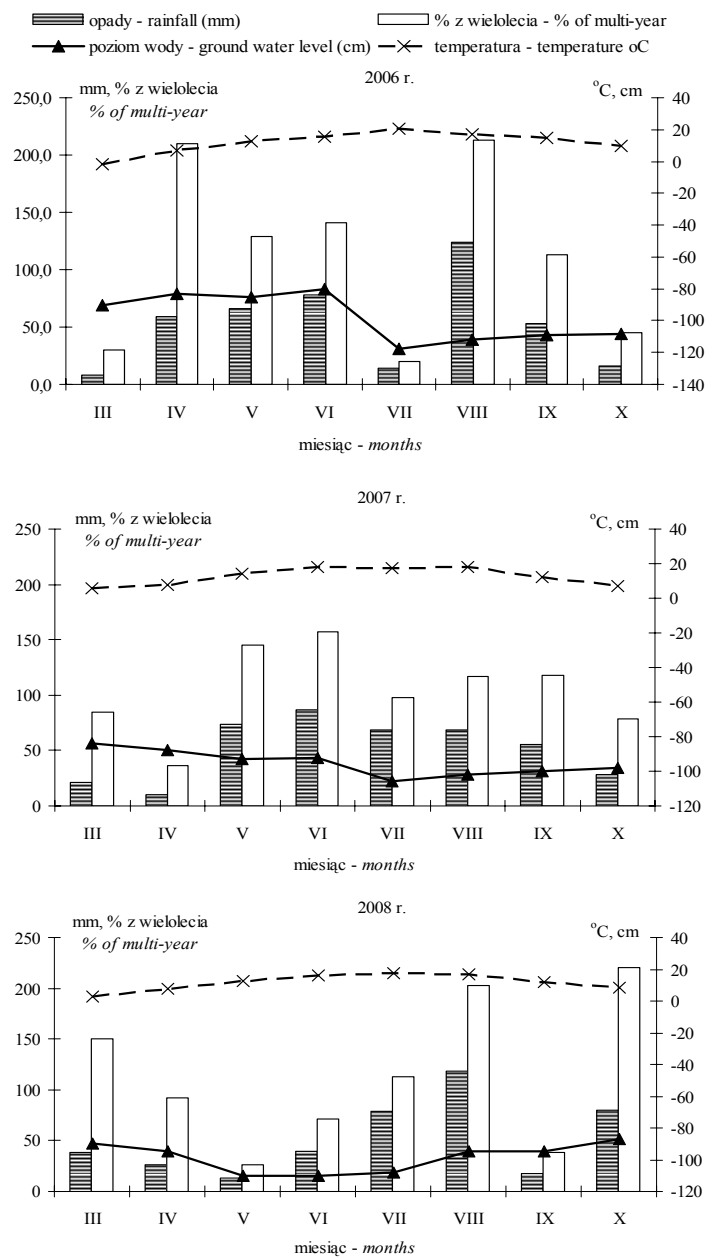
Tabela 1. Właściwości fizykochemiczne oraz zawartość składników przyswajalnych w poziomie próchnicznym gleby

Table 1. Physicochemical properties and nutrients content in humus level of the soil

Wyszczególnienie <i>Item</i>	pH		Formy przyswajalne <i>Available nutrients</i> (mg·kg ⁻¹ soils)			C organiczny <i>Organic C</i> (g·kg ⁻¹)	Substancja organiczna <i>Organic matter</i> (g·kg ⁻¹)	N ogółem <i>Total N</i> (g·kg ⁻¹)
	KCl	H ₂ O	P	K	Mg			
Rok założenia doświadczenia <i>Establishment year</i> <i>of experiment</i> (2006)	7,20	7,60	126	192	157	35,2	83,5	3,66
Po trzech latach <i>After three years</i> (2008)	7,19	7,60	183	170	177	35,9	83,9	3,35

w systemie Eko-Salix nie stwierdzono jej wpływu na zmianę właściwości fizykochemicznych oraz zawartość składników przyswajalnych w poziomie Ap gleby.

Opady atmosferyczne, średnia temperatura powietrza oraz poziom wód gruntowych w okresie marzec–październik w latach 2006–2008 przedstawiono na rysunku 1. W pierwszym roku wegetacji najbardziej krytycznym okresem był marzec i lipiec, w których spadło odpowiednio 30% i 20% wartości opadów z wielolecia. Skutkowało to obniżeniem poziomu wód gruntowych do poziomu około 120 cm, ale nie wpłynęło to ujemnie na ukorzenianie się żywokołów i początkowy ich wzrost. Opady atmosferyczne w 2007 roku były najbardziej zbliżone do wartości z wielolecia a poziom wód gruntowych był wysoki i w miarę stabilny, co stymulowało dynamiczny rozwój roślin wierzby wyrosłych z żywokołów. Rozkład opadów w okresie wegetacji 2008 r. dla wzrostu roślin wierzby nie był zbyt korzystny. Co prawda w marcu 2008 r. spadło 38,3 mm, stanowiło ponad 150% normy z wielolecia, ale w kolejnych miesiącach (kwiecień, maj, czerwiec) opady były niższe niż analogiczne wartości z wielolecia. W maju tego roku spadło niewiele deszczu, zaledwie 26,6% normy. W lipcu i sierpniu ilość opadów była wyższa niż analogiczne wartości z wielolecia, natomiast we wrześniu 2008 roku ponownie opady były znacznie niższe. Ilość opadów atmosferycznych przełożyła się bezpośrednio na poziom wód gruntowych, który na początku okresu wegetacji w marcu 2008 roku wynosił 90 cm, obniżał się on w kolejnych miesiącach do poziomu 110 cm w maju i czerwcu. Na skutek wysokich opadów sierpniowych poziom wód gruntowych ponownie wzrósł do 95 cm. Reasumując należy podkreślić, że w analizowanym trzyleciu, wzrost i rozwój roślin wierzby wyrosłych z żywokołów na madzie ciężkiej próchnicznej był dobry. W pierwszym roku badań ukorzenianie żywokołów i początkowy ich wzrost przebiegał prawidłowo i obsada roślin była zbliżona do obsady założonej. Natomiast w drugim roku wegetacji ukorzenione żywokoły szybko rozpoczęły wegetację i dalszy rozwój wierzby był bardzo dobry, a szczególnie imponowały przyrosty ich wysokości. W trzecim okresie wegetacji mimo niższych opadów niż w wieloleciu wierzba rosła dobrze. Bowiem na skutek wysokiego natężenia transpiracji roślin, korzenie prawdopodobnie szybko odwadniały kapilary gleby, co powodowało ciągłe podsiąkanie wody gruntowej do strefy korzeniowej i przyrosty biomasy były dobre.



Rys. 1. Opady atmosferyczne, temperatura powietrza oraz poziom wody gruntowej w okresie marzec – październik w latach prowadzenia eksperymentu

Fig. 1. Rainfall, air temperature and ground water level in the period March – October in the experiment period

Ubytki roślin w roku założenia eksperymentu (2006) wynosiły średnio 0,9% (tab. 2). W drugim roku trwania eksperymentu (2007) wzrosły one do średnio 2,4%. Liczba roślin na koniec okresu wegetacji 2008 roku, po trzech latach od założenia doświadczenia wynosiła średnio 5911 sztuk·ha⁻¹ i była niższa od obsady wyjściowej średnio o 6,5% (tab. 2). Spośród badanych odmian największe ubytki oznaczono u odmiany Turbo, średnio 9,7%. Ubytki roślin zawierały się w przedziale od 1,2% u *Salix viminalis* 1057 do 13,0% u Turbo rosnącej w wyższym zagęszczeniu. Z cytowanych danych wynika, że w porównaniu do poprzednich lat badań generalnie nastąpił nieznaczny wzrost ubytków wierzby, które wynikały głównie z uszkodzeń roślin przez zwierzęta.

Przyrost wysokości wysadzonych żywokołów w pierwszym roku wegetacji wynosił średnio 1,07 m (tab. 3). Natomiast w drugim roku wegetacji (2007) przyrost wysokości roślin był o ponad 1 m większy i wynosił średnio 2,31 m. W trzecim roku wegetacji przyrosty wysokości roślin wierzby wynosiły średnio około 1 m. Końcowa wysokość roślin wierzby po trzech latach wegetacji w doświadczeniu wynosiła średnio 6,41 m. Zawarta była ona w przedziale od 5,80 m u roślin Cordy rosnącej w mniejszym zagęszczeniu do 7,15 m u klonu *Salix viminalis* 1057 rosnącego w wyższym zagęszczeniu. Przyrosty długości roślin w trzech okresach wegetacji wynosiły średnio 4,41 m. Rośliny rosnące w mniejszym zagęszczeniu przyrosły średnio o 4,16 m, a przy wyższym zagęszczeniu o 4,65 m. Najwyższym przyrostem charakteryzował się klon *Salix viminalis* 1057. Niższe przyrosty wykazano u odmian Turbo i Corda.

Przyrost średnicy wysadzonych żywokołów (mierzonej na wysokości pierśnicy – 1,30 m) wzrastał wraz z wiekiem roślin od średnio 0,64 cm do 1,11 cm odpowiednio w 2006 i 2008 r. (tab. 4). Po trzech latach wegetacji średnica pędu *Salix* spp. wynosiła w doświadczeniu średnio 5,01 cm. Grubość pędu odmiany Duotur i klonu *Salix viminalis* 1057 była zbliżona i wysoce istotnie wyższa niż pozostałych badanych form. Wierzby rosnące w mniejszym zagęszczeniu dały pędy o nieco większej średnicy niż rosnące w większym zagęszczeniu. Grubość pędów w prowadzonym eksperymencie była zawarta w przedziale od 4,31 cm u klonu *Salix viminalis* 1054 rosnącego w dużym zagęszczeniu do 6,34 cm u odmiany Duotur rosnącej w mniejszym zagęszczeniu.

Liczba rozgałęzień I-rzędu u roślin wierzby na koniec 2008 r. wynosiła średnio 3,3 szt. (tab. 4). Zbliżoną liczbę rozgałęzień wytworzyły rośliny *Salix viminalis* 1054 i Turbo. Były to wartości istotnie wyższe niż u pozostałych badanych form wierzby. Rośliny wierzby rosnące w mniejszym zagęszczeniu (5,2 tys. szt·ha⁻¹) wytworzyły istotnie więcej rozgałęzień I-rzędu niż rosnące w wyższym zagęszczeniu (7,4 tys. szt·ha⁻¹). Liczba rozgałęzień I-rzędu w doświadczeniu wahała się od 2,1 u odmiany Corda rosnącej w większym zagęszczeniu do 5,1 u klonu *Salix viminalis* 1054 rosnącego w mniejszym zagęszczeniu.

Masa jednej rośliny po trzech okresach wegetacji wynosiła średnio 11,1 kg (tab. 5). Najwyższą masę jednej rośliny oznaczono u *Salix viminalis* 1057 (13,9 kg), a najniższą u odmiany Turbo (9,2 kg). Rośliny rosnące w mniejszym zagęszczeniu miały średnio o 0,7 kg wyższą masę niż rośliny pozyskane z większego zagęszczenia. Masa pędu głównego stanowiła średnio ponad 65% masy uzyskanej z całej rośliny wierzby. Plon świeżej biomasy wierzby po trzech okresach wegetacji wynosił średnio 65 t·ha⁻¹, natomiast wyliczony plon suchej masy wynosił średnio 33 t·ha⁻¹, co w przeliczeniu na rok użytkowania wynosiło 11 t·ha⁻¹·rok⁻¹. Najwyższy plon suchej masy dał klon *Salix viminalis* 1057 (14,6 t·ha⁻¹·rok⁻¹). Pozostałe odmiany dały plon od 3 do 6 ton niższy. Plon uzyskany z zagęszczenia 5,2 tys. roślin·ha⁻¹ (9,4 t·ha⁻¹·rok⁻¹) był o 26% niższy niż z zagęszczenia 7,4 tys. roślin·ha⁻¹ (12,7 t·ha⁻¹·rok⁻¹). Niższa masa pojedynczej rośliny rosnącej w większym zagęszczeniu była rekompensowana większą obsadą roślin co warunkowało większy plon.

Tabela 2. Ubytki roślin *Salix* spp. w kolejnych latach uprawy oraz ich liczba na powierzchni 1 ha po trzech latach wegetacjiTable 2. *Salix* spp. plants losses in subsequent years of cultivation and their final number after 3 year of vegetation

Odmiana lub klon <i>Variety or clone</i> (a)	Gęstość sadzenia <i>Plant density</i> (b)	Ubytki roślin (%) <i>Plants losses (%)</i>			Liczba roślin na koniec 2008 roku (szt.·ha ⁻¹) <i>Plant number on the end 2008 year</i> (plants·ha ⁻¹)
		2006	2007	2008	
Turbo	A*	0,2	1,0	6,3	4902
	B	1,0	1,7	13,0	6435
	Średnio <i>Mean</i>	0,6	1,4	9,7	5669
Tur	A	2,0	2,5	10,0	4706
	B	0,0	3,7	4,3	7083
	Średnio <i>Mean</i>	1,0	3,1	7,2	5895
Duotur	A	0,0	2,5	6,3	4902
	B	0,0	2,4	3,7	7130
	Średnio <i>Mean</i>	0,0	2,5	5,0	6016
Corda	A	0,1	3,5	8,8	4771
	B	0,0	2,4	4,9	6991
	Średnio <i>Mean</i>	0,1	3,0	6,9	5881
<i>S. viminalis</i> 1057	A	5,0	6,0	6,3	4902
	B	1,2	1,2	1,2	7315
	Średnio <i>Mean</i>	3,1	3,6	3,7	6108
<i>S. viminalis</i> 1054	A	0,0	0,0	6,3	4902
	B	1,2	1,2	6,8	6898
	Średnio <i>Mean</i>	0,6	0,6	6,5	5900
Średnio <i>Mean</i>	A	1,2	2,6	7,3	4847
	B	0,6	2,1	5,7	6975
	Średnio <i>Mean</i>	0,9	2,4	6,5	5911
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}		–	–	–	a – r.n. b – 560 a x b – r.n.

r.n. – różnice nieistotne – *non significant differences**A – 5,2; B – 7,4 tys. sztuk·ha⁻¹ – *thous. plants·ha⁻¹*

Tabela 3. Przyrost wysokości roślin *Salix* spp. w kolejnych latach wegetacji oraz ich wysokość końcowa po trzech latach wegetacjiTable 3. Increase in the height of the plant of *Salix* spp in subsequent years of vegetation and their final height after 3 year of vegetation

Odmiana lub klon <i>Variety or clone</i> (a)	Gęstość sadzenia <i>Plant density</i> (b)	Przyrost wysokości roślin w kolejnych latach wegetacji (m-rok ⁻¹) <i>Increase in the height of the plant in subsequent years of vegetation (m·year⁻¹)</i>			Wysokość roślin na koniec 2008 roku <i>Final height on the end 2008 year (m)</i>
		2006	2007	2008	
Turbo	A*	1,07	1,71	1,09	5,87
	B	0,99	1,89	1,38	6,26
	Średnio <i>Mean</i>	1,03	1,80	1,23	6,07
Tur	A	1,10	2,08	1,21	6,39
	B	1,16	3,08	0,61	6,85
	Średnio <i>Mean</i>	1,13	2,58	0,91	6,62
Duotur	A	0,97	2,22	1,10	6,29
	B	1,05	2,87	1,04	6,95
	Średnio <i>Mean</i>	1,01	2,54	1,07	6,62
Corda	A	0,95	1,91	0,94	5,80
	B	0,99	2,50	0,94	6,42
	Średnio <i>Mean</i>	0,97	2,21	0,94	6,11
<i>S. viminalis</i> 1057	A	1,06	2,53	0,96	6,55
	B	1,32	2,58	1,25	7,15
	Średnio <i>Mean</i>	1,19	2,55	1,10	6,85
<i>S. viminalis</i> 1054	A	1,07	2,13	0,88	6,08
	B	1,13	2,24	0,91	6,28
	Średnio <i>Mean</i>	1,10	2,18	0,89	6,18
Średnio <i>Mean</i>	A	1,04	2,10	1,03	6,16
	B	1,11	2,53	1,02	6,65
	Średnio <i>Mean</i>	1,07	2,31	1,02	6,41
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}		a – 0,09 b – 0,05 a x b – 0,12	a – r.n. b – 0,41 a x b – r.n.	a – r.n. b – r.n. a x b – r.n.	a – r.n. b – 0,36 a x b – r.n.

r.n. – różnice nieistotne – *non significant differences**A – 5,2; B – 7,4 tys. sztuk·ha⁻¹ – *thous. plants·ha⁻¹*

Tabela 4. Przyrost średnicy pędu głównego roślin *Salix* spp. w kolejnych latach wegetacji i ich średnica końcowa oraz liczba rozgałęzień I-stopnia po trzech latach wegetacjiTable 4. Increase in the diameter of the main shoot of *Salix* spp in subsequent years of vegetation, final diameter, number of branches and number of Ist-degree branching after three years of vegetation

Odmiana lub klon <i>Variety or clone</i> (a)	Gęstość sadzenia <i>Plant density</i> (b)	Przyrost średnicy pędu głównego w kolejnych latach wegetacji (cm-rok ⁻¹) <i>Increase in the diameter of the main shoot of Salix spp. in subsequent years of vegetation (cm-year⁻¹)</i>			Średnica pędu na koniec 2008 roku (cm) <i>Final diameter on the end 2008 year (cm)</i>	Liczba rozgałęzień I-rzędu <i>Number of Ist-degree branching</i>
		2006	2007	2008		
Turbo	A*	0,61	0,86	0,88	4,58	4,4
	B	0,45	0,62	1,02	4,49	3,3
	Średnio <i>Mean</i>	0,53	0,74	0,95	4,53	3,9
Tur	A	0,81	0,97	1,15	5,00	4,2
	B	0,67	1,16	0,77	4,76	2,5
	Średnio <i>Mean</i>	0,74	1,07	0,96	4,88	3,3
Duotur	A	0,90	1,14	1,98	6,34	3,5
	B	0,35	1,42	1,35	5,82	2,3
	Średnio <i>Mean</i>	0,62	1,28	1,66	6,08	2,9
Corda	A	0,40	1,45	0,83	4,50	3,1
	B	0,91	1,33	0,27	4,50	2,1
	Średnio <i>Mean</i>	0,65	1,39	0,55	4,50	2,6
<i>S. viminalis</i> 1057	A	0,59	1,35	1,40	5,67	3,4
	B	0,58	0,93	1,70	5,60	2,2
	Średnio <i>Mean</i>	0,58	1,14	1,55	5,64	2,8
<i>S. viminalis</i> 1054	A	0,77	0,72	1,06	4,54	5,1
	B	0,72	0,64	0,89	4,31	3,5
	Średnio <i>Mean</i>	0,74	0,68	0,97	4,42	4,3
Średnio <i>Mean</i>	A	0,68	1,08	1,21	5,10	3,9
	B	0,61	1,02	1,00	4,91	2,6
	Średnio <i>Mean</i>	0,64	1,05	1,11	5,01	3,3
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}		a – 0,05 b – 0,03 a x b – 0,07	a – 0,50 b – r.n. a x b – r.n.	a – 0,53 b – r.n. a x b – r.n.	a – 0,37 b – r.n. a x b – r.n.	a – 1,0 b – 0,6 a x b – r.n.

r.n. – różnice nieistotne – *non significant differences**A – 5,2; B – 7,4 tys. sztuk·ha⁻¹ – *thous. plants·ha⁻¹*

Tabela 5. Masa jednej rośliny, pędu głównego i rozgałęzień bocznych oraz plony świeżej i suchej biomasy po zakończeniu wegetacji w 2008 roku

Table 5. The mass of one plant, main shoot and lateral branches, yield of fresh and dry biomass after the growing season in 2008

Odmiana lub klon <i>Variety or clone</i> (a)	Gęstość sadzenia <i>Plant density</i> (b)	Masa rośliny <i>Mass of one plant</i> (kg)	Masa pędu głównego <i>Mass of main shoot</i> (kg)	Masa rozgałęzień <i>Mass of lateral branches</i> (kg)	Plon świeżej masy <i>Yield of fresh biomass</i> (t·ha ⁻¹)	Plon suchej masy <i>Yield of dry biomass</i> (t·ha ⁻¹)	Plon suchej masy (t·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹) <i>Yield of dry biomass (t·ha⁻¹·year⁻¹)</i>
Turbo	A*	9,2	4,9	4,3	45,1	22,8	7,6
	B	9,1	5,0	4,1	58,6	28,5	9,5
	Średnio <i>Mean</i>	9,2	5,0	4,2	51,8	25,7	8,6
Tur	A	12,4	6,1	6,3	58,4	30,6	10,2
	B	9,3	6,5	2,8	65,9	34,1	11,4
	Średnio <i>Mean</i>	10,9	6,3	4,6	62,1	32,4	10,8
Duotur	A	12,1	9,2	2,9	59,3	28,3	9,4
	B	11,2	8,1	3,1	79,9	38,7	12,9
	Średnio <i>Mean</i>	11,7	8,7	3,0	69,6	33,5	11,2
Corda	A	10,3	6,7	3,6	49,1	24,4	8,1
	B	9,2	6,3	2,9	64,3	33,7	11,2
	Średnio <i>Mean</i>	9,8	6,5	3,3	56,7	29,1	9,7
<i>S. viminalis</i> 1057	A	14,4	9,8	4,6	70,6	37,1	12,4
	B	13,4	10,2	3,2	98,0	50,3	16,8
	Średnio <i>Mean</i>	13,9	10,0	3,9	84,3	43,7	14,6
<i>S. viminalis</i> 1054	A	10,1	7,2	2,9	49,5	25,3	8,4
	B	12,1	7,3	4,8	83,5	43,0	14,3
	Średnio <i>Mean</i>	11,1	7,3	3,9	66,5	34,2	11,4
Średnio <i>Mean</i>	A	11,4	7,3	4,1	55,3	28,1	9,4
	B	10,7	7,2	3,5	75,0	38,1	12,7
	Średnio <i>Mean</i>	11,1	7,3	3,8	65,2	33,1	11,0
NIR _{0,05} – LSD _{0,05}		a – 0,3 b – 0,2 a x b – 0,5	a – 0,2 b – 0,1 a x b – 0,3	a – 0,1 b – 0,1 a x b – 0,2	a – 2,0 b – 1,1 a x b – 2,8	a – 1,0 b – 0,6 a x b – 1,4	a – 0,3 b – 0,2 a x b – 0,5

*A – 5,2; B – 7,4 tys. sztuk·ha⁻¹ – *thous. plants·ha⁻¹*

Plon suchej biomasy wierzby w doświadczeniu własnym był wysoki jednakże może być on obciążony błędem, ponieważ był wyliczony ze średniej masy rośliny i obsady roślin określonej po zakończeniu wegetacji w 2008 r. Wskazuje on jednakże na wysoki potencjał plonowania roślin wierzby uprawianej w systemie Eko-Salix na madzie próchnicznej ciężkiej całkowitej, wadliwej, okresowo podmokłej.

Aktualnie dominuje na gruntach rolniczych system uprawy wierzby krzewiastej o krótkiej rotacji. Przygotowanie gleby pod sadzenie wierzby obejmuje typowe rolnicze zabiegi. Zrzezy o długości 0,25 m sadi się w konfiguracji dwurzędowej. Odległość pomiędzy rzędami wynosi 0,75 m, a pomiędzy pasami 1,5 m. W rzędach zrzezy sadi się najczęściej co 0,5 m, daje to obsadę 18000 roślin·ha⁻¹. Zbiory roślin wierzby w celu pozyskania biomasy prowadzi się po opadnięciu liści w rotacji 3-letniej [Kopp i in. 1997, Labrecque i Teodorescu 2003, Labrecque i in. 1997, Szczukowski i in. 2004].

W systemie Eko-Salix zabiegi agrotechniczne zostały bardzo ograniczone, żywokoły wysadzone na stanowisku bez wcześniejszej uprawy płuźnej gleby. W pierwszym i drugim okresie wegetacji roślin wierzby prowadzono tylko w międzyrzędziach koszenie chwastów.

Plony wierzby w uprawie krótko rotacyjnej w doświadczeniach polowych ścisłych prowadzone w optymalnych warunkach osiągnęły wielkość do 30 t·ha⁻¹·rok⁻¹ suchej masy [Stolarski i in. 2008, Szczukowski i in. 2005]. Przeciętne plony w doświadczeniach prowadzonych w kraju mieściły się zwykle w przedziale od 10 do 12 t·ha⁻¹·rok⁻¹ suchej masy [Faber i Kuś 2007, Kuś i in. 2008, Stolarski 2009, Szczukowski in. 2002, 2005, Tworkowski i in. 2006]. Plony na plantacjach produkcyjnych wierzby były generalnie znacznie niższe i wynosiły średnio od 4 do 10 t·ha⁻¹·rok⁻¹ suchej masy. Zbliżone plony wierzby krzewiastej na plantacjach produkcyjnych osiąga się w Szwecji i Wielkiej Brytanii [Bullard i in. 2002, Melin i Larsson 2005].

Sposób uprawy wierzby w systemie Eko-Salix w przyszłości prawdopodobnie pozwoli na pozyskanie dużej masy drewna małowymiarowego poza lasem na gruntach rolniczych, które są mało efektywnie wykorzystywane do produkcji surowców konsumpcyjnych bądź stanowią grunty marginalne lub nieużytki. Nasadzenia te oprócz tego, że spełniałyby rolę użytków ekologicznych dawałyby dodatkowo wymierne efekty ekonomiczne. Uzyskany w doświadczeniu średni plon 11,0 t·ha⁻¹·rok⁻¹ suchej masy drewna przy jego rynkowej cenie 15 zł GJ (odpowiednio 270 zł·t⁻¹ suchej masy) dałby produkt o wartości rynkowej 2970 zł·ha⁻¹·rok⁻¹.

Wyżej przytoczone dane, chociaż są wstępnymi oszacowaniami, wskazują jak wielki potencjał mogłoby stanowić drewno pozyskane z gruntów nie przydatnych pod kultury konsumpcyjne, a wykorzystywane jako źródło energii.

WNIOSKI

1. W systemie Eko-Salix stosując do nasadzeń żywokoły wierzby na gruntach rolniczych nie przydatnych pod kultury konsumpcyjne (mada ciężka próchniczna, okresowo nadmiernie wilgotna) można uzyskać średnio 11 ton suchej masy z ha na rok, która w przyszłości może stanowić jedno ze źródeł zaopatrzenia energetyki.
2. Najwyższy plon biomasy dała *Salix viminalis* 1057 (14,6 t·ha⁻¹·rok⁻¹). Pozostałe odmiany plonowały od 3 do 6 ton niżej. Plon uzyskany z zagęszczenia 7,4 tys. roślin·ha⁻¹ był o 26% wyższy niż z zagęszczenia 5,2 tys. roślin·ha⁻¹.
3. Rośliny wierzby wysadzone z sadzonek długich (żywokołów) po trzech okresach wegetacji miały obsadę zbliżoną do założonej w eksperymencie. Niewielkie ubytki roślin (średnio 6,5%) powodowane były głównie przez zwierzęta.

4. Wysokość roślin wierzby po trzech okresach wegetacji wynosiła średnio 6,41 m, a średnica pędu 5,01 cm.
5. Po trzech latach uprawy wierzby w systemie Eko-Salix nie stwierdzono jej wpływu na zmianę właściwości fizykochemicznych oraz zawartość składników przyswajalnych w poziomie Ap cm badanej gleby.

PIŚMIENNICTWO

- 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.
- Dz. U. nr 156, poz. 969. Rozporządzenie Ministra gospodarki z 14 sierpnia 2008 roku w sprawie szczególnego 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.
- EurObserv'ER. 2007. State of Renewable Energies in Europe: ss. 82.
- Faber A., Kuś J. 2007. Rośliny energetyczne dla różnych siedlisk. *Wiś Jutra* 8–9: 11–12.
- GUS 2007. Energia ze źródeł odnawialnych w 2006 roku. Informacje i opracowania statystyczne, ss. 46.
- GUS 2008. Ochrona Środowiska. Informacje i opracowania statystyczne: ss. 525.
- 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., Daigle 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. Agrobränsle AB – world leading company on short rotation coppice willow. 14th European Biomass Conference, Paris, France, 17–21 October 2005: 36–37.
- Stolarski M. 2009. Agrotechniczne i ekonomiczne aspekty produkcji biomasy wierzby krzewiastej (Salix spp.) jako surowca energetycznego. *Rozprawy i Monografie, UWM Olsztyn* 148: ss. 145.
- 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. *Rostl. Vyroba* 48: 413–417.
- Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M. 2004. Wierzba energetyczna. *Plantpress*. Kraków, ss. 46.
- 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*. IPG PAN, Poznań 5: 45–50.

J. TWORKOWSKI, S. SZCZUKOWSKI, M. STOLARSKI

**YIELDING AND MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF WILLOW GROWN
IN ECO-SALIX SYSTEM****Summary**

The study determined the yield of biomass and morphological characteristics of willow *Salix* grown in Eco-Salix system in a 3-year rotation on agricultural land that is not utilized for food crops. The basis of this study was two-factor experimental field, carried out in three repetitions in 2006–2008 on the humic, heavy alluvial soil heavy alluvial soil (periodically excessively wet) located in the Vistula river marginal stream valley on the Kwidzyn's Plain. 11 tons of dry biomass·ha⁻¹·year⁻¹ was obtained in the foregoing experiment. Willow plants from long cuttings after three vegetation periods had an average height of 6.41 m and diameter 5.01 cm. After three years cultivation of willow in the system, no negative effects on its physicochemical properties and nutrients' content in the humus level of a soil. Preliminary results obtained indicate that the cultivation of willow Eco-Salix system on marginal land in a short 3-year rotation cycle, can bring an important contribution to cover the supply of agricultural biomass, used to generate renewable energy.