

## KOSZTY PRODUKCJI BIOMASY WIERZBY POZYSKIwanej SYSTEMEM EKO-SALIX\*

MARIUSZ STOLARSKI, STEFAN SZCZUKOWSKI, JÓZEF TWORKOWSKI

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

mariusz.stolarski@uwm.edu.pl

**Synopsis.** W pracy określono koszty oraz efektywność ekonomiczną produkcji biomasy wierzby w systemie Eko-Salix w 5-letniej rotacji na dwu siedliskach gruntów rolniczych nieprzydatnych pod kultury konsumpcyjne. Bezpośrednie koszty całkowite założenia plantacji wierzby w systemie Eko-Salix wynosiły 12275 zł·ha<sup>-1</sup> i 16353 zł·ha<sup>-1</sup>, odpowiednio przy zagęszczeniu; 5,2 i 7,4 tys. szt. żywokółów·ha<sup>-1</sup>. Bezpośredni koszt produkcji jednej tony zrębków zawarty był w przedziale od 145,3 do 189,3 zł. Wartości nadwyżki bezpośredniej produkcji zrębków wierzby w systemie Eko-Salix w rotacji 5-letniej, przy cenie 25 zł·GJ<sup>-1</sup> wynosiły 117,8-139,2 zł·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> na glebie ciężkiej – czarnej ziemi zbrunatniałej i 875,5–1087,7 zł·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> na glebie nadmiernie wilgotnej – torfowo-murszowej.

**Słowa kluczowe** – *key words*: wierzba – willow, system Eko-Salix – *Eco-Salix system*, biomasa – *biomass*, koszty produkcji – *costs of production*, ekonomiczna efektywność produkcji – *economic efficiency of production*

### WSTĘP

Pomimo wzrastającego zapotrzebowania na biomasę stałą pochodzenia nieleśnego, produkcja tego paliwa na gruntach rolniczych w warunkach Polski rozwija się bardzo powoli. Prace badawcze w zakresie oceny plonowania i jakości biomasy różnych gatunków roślin wieloletnich pozyskiwanych z gruntów rolniczych wykazują, że istnieją możliwości produkcji dobrego jakościowo paliwa stałego [Chołuj i Podlaski 2008, Faber i Kuś 2007, Kalembasa 2006, Kisiel i in. 2006, Kuś 2008, Szczukowski i in. 2000, 2005, Stolarski i in. 2008]. Mimo to rolnicy nie są zainteresowani uprawą wieloletnich roślin energetycznych głównie ze względów ekonomicznych jak również ze względu na brak konkurencyjnych ofert ze strony głównych odbiorców biomasy.

W ostatnim czasie jako jedną z alternatyw produkcji biomasy stałej proponuje się uprawę wierzby w systemie Eko-Salix na gruntach nieprzydatnych pod kultury konsumpcyjne [Tworkowski i in. 2010, Stolarski i in. 2010]. Zakłada się, że może to przynieść istotny wkład w pokrycie zapotrzebowania na biomasę, zmniejszając udział klasycznych jej źródeł takich jak lasy i tradycyjna produkcja rolnicza, pozostając jednocześnie w równowadze z kwestiami ekologicznymi i ekonomicznymi. W związku z powyższym w pracy postawiono hipotezę, że uprawa wierzby w systemie Eko-Salix w rotacji 5-letniej może być korzystna dla plantatorów z ekonomicznego punktu widzenia.

Celem pracy było określenie kosztów i efektywności ekonomicznej uprawy oraz produkcji biomasy wierzby sposobem Eko-Salix w pięcioletniej rotacji na dwu siedliskach gruntów rolniczych nieprzydatnych pod kultury konsumpcyjne.

\* Praca wykonana w ramach projektu badawczego rozwojowego finansowanego przez MNiSzW – R12 071 03

## MATERIAŁ I METODY

Wierzbę uprawiano w systemie Eko-Salix w dwóch ścisłych doświadczeniach polowych, zlokalizowanych w Północno-Wschodniej Polsce w miejscowościach Leginy (53°59' N, 21°08' E) i Kocibórz (54°00' N, 21°10' E). Uprawa wierzby w systemie Eko-Salix polega na wysadzeniu sadzonek długich (ok. 2,5 m – tzw. żywokołów) na gruntach marginalnych bez wcześniejszego przygotowania stanowiska. Żywokoły są nieukorzenione, wysadza się je na głębokość 0,4–0,5 m, natomiast nad powierzchnią gleby wystaje pęd o wysokości ok. 2,0 m. Ten system sadzenia wierzby ogranicza konieczność prowadzenia zabiegów agrotechnicznych.

W obiekcie Leginy rośliny wierzby uprawiano na czarnej ziemi zbrunatniałej (8Di), a w Kocibórze na glebie torfowo-murszowej (L-MtII cb). W każdym obiekcie testowano sześć odmian i klonów wierzby w dwóch gęstościach sadzenia: 5,2 (A) i 7,4 (B) tys. szt.·ha<sup>-1</sup>.

Żywokoły wysadzono wczesną wiosną 2006 roku. Biomasa wierzby pozyskano pierwszy raz od posadzenia, po pięciu okresach wegetacji. Plon świeżej biomasy określono na podstawie masy roślin wierzby zebranych z poletka każdego obiektu doświadczenia, następnie przeliczono go na powierzchnię 1 ha.

Analizę efektywności ekonomicznej uprawy i produkcji zrębków wierzby przedstawiono na podstawie wyliczonego średniego plonu świeżej masy badanych w doświadczeniu odmian i klonów dla dwóch obiektów przy dwóch gęstościach sadzenia.

W przeprowadzonej analizie ekonomicznej efektywności produkcji wierzby systemem Eko-Salix na etapie założenia plantacji wyróżniono: wykonanie otworów wodnym świdrem hydraulicznym, ręczne sadzenie żywokołów i ich dociskanie, koszenie chwastów kosą spaliniową, koszty zakupu żywokołów oraz podatek rolny. W zakresie kosztów produkcji biomasy po piątym roku użytkowania plantacji wyróżniono: koszty związane z założeniem plantacji, nawożenie, zbiór roślin przy użyciu mechanicznej piły łańcuchowej, zrębkowanie roślin rębakiem napędzanym wałkiem odbioru mocy ciągnika i transport biomasy loco plantacja.

Całość poniesionych kosztów bezpośrednich podzielono na etapy. Pierwszy z nich obejmował założenie plantacji, a drugi jej użytkowanie. Koszty bezpośrednie założenia plantacji przedstawiono w całości oraz podzielono na 20-letni okres jej użytkowania (cztery 5-letnie rotacje). Koszty bezpośrednie poniesione na założenie plantacji oraz pozyskanie zrębków nie uwzględniają zysku usługodawcy, operacje były wykonane z użyciem własnych środków produkcji [Muzalewski 2010].

Koszt pracy ludzkiej (18,72 zł za 1 godzinę) ustalono w oparciu o założenia, że pełnozatrudniona osoba w rolnictwie pracuje 176 godzin w miesiącu. Natomiast średnie miesięczne wynagrodzenie w rolnictwie w 2010 roku wynosiło 3294,48 zł [GUS 2010].

Wartość świeżych zrębków wierzbowych ustalono na poziomie: 160 i 200 zł za tonę, odpowiednio przy cenie 20 i 25 zł·GJ<sup>-1</sup>. Wartość plonu świeżej biomasy loco plantacja wyliczono jako iloczyn plonu biomasy i ceny za 1 tonę zrębków.

W ekonomicznej ocenie produkcji zrębków wierzby loco plantacja uwzględniono: jednostkowy bezpośredni koszt produkcji 1 tony świeżych zrębków – będący ilorazem kosztów bezpośrednich loco plantacja i plonu zrębków oraz nadwyżkę bezpośrednią produkcji zrębków – będącą różnicą pomiędzy wartością uzyskanego plonu a kosztami bezpośrednimi loco plantacja. Obliczona wartość nie określa dochodu producenta, a jedynie wskazuje sposoby postępowania, z których można uzyskać najkorzystniejszy efekt z poniesionych nakładów [Klepacki 2005]. W ocenie ekonomicznej produkcji zrębków wierzby sposobem Eko-Salix nie uwzględniono dopłat obszarowych.

## WYNIKI I DYSKUSJA

Całkowity koszt założenia plantacji wierzby dla obu obiektów (Leginy, Kocibórz) przy wysadzeniu 5,2 tys. szt.  $\cdot$ ha<sup>-1</sup> żywokołów wyniósł 12274,8 zł $\cdot$ ha<sup>-1</sup> (tab. 1). W przeliczeniu na rok użytkowania plantacji wynosiło to 613,7 zł $\cdot$ ha<sup>-1</sup>. Zwiększenie obsady roślin do 7,4 tys. szt. $\cdot$ ha<sup>-1</sup> skutkowało wzrostem kosztów całkowitych o 33,2% w porównaniu do niższej obsady. Największy udział w strukturze kosztów założenia plantacji stanowił koszt zakupu żywokołów (43,3–45,3%) (cena jednego żywokołu wynosiła 1 zł). Na drugim miejscu znalazły się koszty związane z pracą ludzi wykonaną podczas sadzenia i pielęgnacji (37,4-39,2%). Natomiast wykorzystanie maszyn i narzędzi stanowiło około 17% kosztów całkowitych. Należy podkreślić, że koszty zakładania plantacji były wysokie, znacząco wyższe niż koszty zakładania plantacji wierzby sposobem tradycyjnym w układzie pasowym, w szerokich rzędach na zbiór w rotacjach trzyletnich. Jedną z możliwości obniżenia kosztów zakładania plantacji w systemie Eko-Salix może być pozyskiwanie materiału rozmnożeniowego z własnych plantacji matecznych, wówczas koszt materiału sadzeniowego byłby równoważny kosztem jego produkcji. Ponadto należy poszukiwać możliwości mechanizacji sadzenia żywokołów na plantacji. Jednakże w niektórych warunkach siedliskowych może to być bardzo trudne.

Tabela 1. Koszty bezpośrednie założenia plantacji w systemie Eko-Salix w zależności od obsady roślin (zł $\cdot$ ha<sup>-1</sup>)

Table 1. Direct costs of setting up a plantation in the Eko-Salix system depending on the plant density (PLN $\cdot$ ha<sup>-1</sup>)

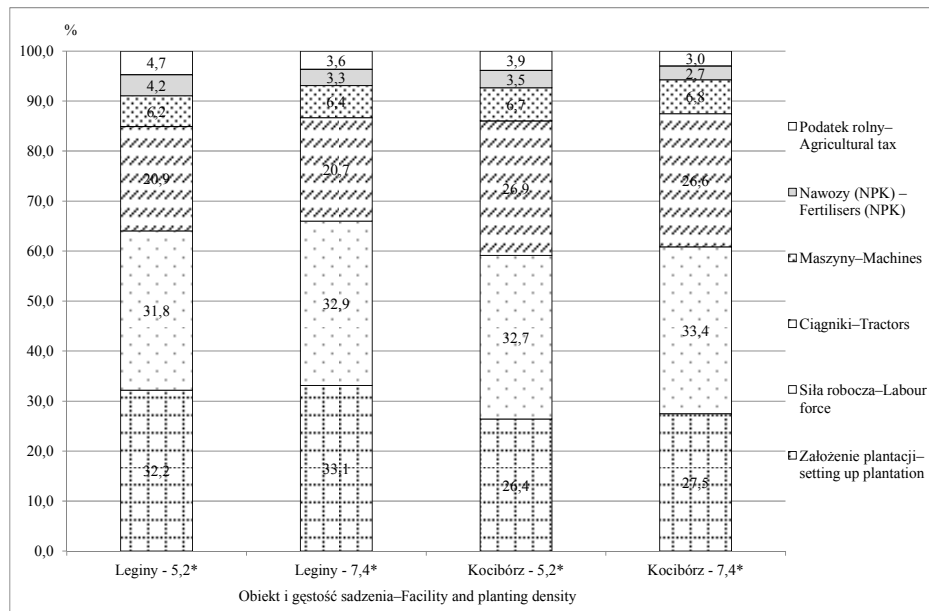
Wyszczególnienie – Item	Obsada (tys. szt. $\cdot$ ha <sup>-1</sup> ) Density (thousand plants $\cdot$ ha <sup>-1</sup> )	
	5,2	7,4
Koszt zakupu żywokołów Cost of cuttings' purchase	5 320,0	7 400,0
Wykonanie otworów Making holes	3 451,4	4 800,8
Sadzenie ręczne Manual planting	1 659,8	2 308,8
Pielęgnacja mechaniczna Mechanical cultivation	1 753,6	1 753,6
Podatek rolny Agricultural tax	90,0	90,0
Razem Total	12 274,8	16 353,2
Na rok użytkowania plantacji 1/20 $\Sigma$ Per year of plantation operation 1/20 $\Sigma$	613,7	817,7

Koszty bezpośrednie produkcji zrębków wierzby w systemie Eko-Salix po pięciu latach użytkowania plantacji były niższe w obiekcie Leginy niż w Kociborzu. Wynikało to z niższych plonów biomasy w obiekcie pierwszym. W obiekcie Leginy przy wyjściowym zagęszczeniu 5,2 tys. szt. $\cdot$ ha<sup>-1</sup> wynosiły one 9536,8 zł $\cdot$ ha<sup>-1</sup>, a przy wyższym zagęszczeniu były o 29% wyższe (tab. 2). Z kolei w obiekcie Kocibórz przy niższym zagęszczeniu koszty te wynosiły 11622,4 zł $\cdot$ ha<sup>-1</sup>, a przy wyższym zagęszczeniu 14881,7 zł $\cdot$ ha<sup>-1</sup>. Koszty związane z założeniem plantacji stanowiły od 26,4 do 33,1% kosztów całkowitych odpowiednio dla obiektu Kocibórz i niższego zagęszczenia oraz dla obiektu Leginy i wyższego zagęszczenia (rys. 1). Wysokie koszty ponoszone były na płace i stanowiły one ponad 31% kosztów całkowitych we wszystkich analizowanych wariantach. Wynikało to z dużego udziału pracy ręcznej przy zbiorze roślin wierzby i ich rozdrobnieniu na zrębki. W innych badaniach wykazano, że w systemie Eko-Salix w rotacji trzyletniej koszty te stanowiły od 42,1 do 43,3% kosztów całkowitych [Stolarski i in. 2010]. Natomiast koszty związane z założeniem plantacji w cytowanej pracy stanowiły około 23%. Kolejne pozycje w strukturze kosztów produkcji w badaniach własnych stanowiło wykorzystanie ciągników i maszyn. Nawozy mineralne stanowiły od 2,7 do 4,2%, a podatek rolny 3,0–4,7% kosztów całkowitych.

Tabela 2. Koszty bezpośrednie produkcji zrębków w systemie Eko-Salix w rotacji pięcioletniej, loco plantacja (zł $\cdot$ ha<sup>-1</sup>)

Table 2. Direct cost of willow chips production in the Eko-Salix system in a five-year rotation, loco plantation (PLN $\cdot$ ha<sup>-1</sup>)

Wyszczególnienie – <i>Item</i>	Obiekt – <i>Facility</i>			
	Leginy		Kocibórz	
	Obsada (tys. szt. $\cdot$ ha <sup>-1</sup> ) <i>Density (thousand plants<math>\cdot</math>ha<sup>-1</sup>)</i>			
	5,2	7,4	5,2	7,4
Koszt bezpośredni założenia plantacji <i>Direct cost of setting up plantation</i>	3068,7	4088,3	3068,7	4088,3
Siła robocza – <i>Labour force</i>	3036,7	4056,3	3803,0	4966,0
Ciągniki – <i>Tractors</i>	1990,3	2553,1	3124,7	3958,9
Maszyny – <i>Machines</i>	588,1	793,1	773,0	1015,5
Nawozy (NPK) – <i>Fertilisers (NPK)</i>	403,1	403,1	403,1	403,1
Podatek rolny – <i>Agricultural tax</i>	450,0	450,0	450,0	450,0
<i>Ogółem</i> – Total	9536,8	12343,8	11622,4	14881,7



\* – gęstość sadzenia tys. szt. żywokółów·ha<sup>-1</sup> – planting density, thousand cuttings·ha<sup>-1</sup>

Rys. 1. Struktura kosztów produkcji zrębków w systemie Eko-Salix w rotacji pięcioletniej, loco plantacja  
 Fig. 1. Cost structure in willow chips production in the Eko-Salix system in a five-year rotation, loco plantation

Plon świeżej biomasy wierzby uzyskany z zagęszczenia 5,2 tys. szt·ha<sup>-1</sup> po pięciu latach wyniósł średnio 50,6 t·ha<sup>-1</sup> w obiekcie Leginy, a w obiekcie Kocibórz był on o prawie 30 t·ha<sup>-1</sup> wyższy (tab. 3). Natomiast z większego zagęszczenia roślin uzyskano 65,2 t·ha<sup>-1</sup> w obiekcie Leginy. Ponownie w Kocibórz był on o ponad 36 t·ha<sup>-1</sup> wyższy. Bezpośredni koszt produkcji jednej tony zrębków wierzby zawarty był w przedziale od 145,3 zł z niższego zagęszczenia roślin w obiekcie Kocibórz do 189,3 zł z wyższego zagęszczenia roślin w obiekcie Leginy. Produkcja biomasy wierzby w systemie Eko-Salix przy jej cenie 20 zł·GJ<sup>-1</sup> w obiekcie Leginy była nieopłacalna. Natomiast w obiekcie Kocibórz wartość nadwyżki bezpośredniej w tym wariantcie zawierała się w przedziale 235,5–274,9 zł·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>. Symulowany wzrost ceny biomasy do 25 zł·GJ<sup>-1</sup> spowodował, że wartość nadwyżki bezpośredniej była dodatnia we wszystkich wariantach. W tym przypadku jej wartości wynosiły 117,8–139,2 zł·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> na glebie ciężkiej – czarnej ziemi zbrunatniałej i 875,5–1087,7 zł·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup> na glebie nadmiernie wilgotnej, torfowo-murszowej. We wcześniejszych badaniach [Stolarski i in. 2010] wykazano, że przy pozyskaniu biomasy wierzby w systemie Eko-Salix na madyzie ciężkiej w rotacji trzyletniej produkcja biomasy nie była opłacalna przy jej cenie na poziomie 15 zł·GJ<sup>-1</sup>. Natomiast wzrost ceny za 1 GJ energii zawartej w zrębkach do 20 i 25 zł dał wyższe wartości nadwyżki bezpośredniej ich produkcji niż w omawianej pracy. Cena jednostki energii zgromadzonej w biomasy wierzby jest bowiem jednym z podstawowych czynników rzutujących na efektywność ekonomiczną produkcji tego paliwa. Również w przypadku produkcji biomasy wierzby w powszechnie stosowanym systemie uprawy polowej wartości nadwyżki bezpośredniej były zróżnicowane w za-

Tabela 3. Nadwyżka bezpośrednia z produkcji wierzby krzewiastej w systemie Eko-Salix w rotacji pięcioletniej, loco plantacja w zależności od ceny za 1 GJ energii zawartej w zrębkach  
 Table 3. Direct surplus in production of willow coppice in the Eko-Salix system in a five-year rotation, loco plantation, depending on the price of 1 GJ of energy contained in willow chips

Wyszczególnienie – Item	Obiekt – Facility			
	Leginy		Kocibórz	
	Obsada (tys. szt.·ha <sup>-1</sup> ) Density (thousand plants·ha <sup>-1</sup> )			
	5,2	7,4	5,2	7,4
Plon świeżej biomasy (t·ha <sup>-1</sup> ) Yield of fresh biomass (t·ha <sup>-1</sup> )	50,6	65,2	80,0	101,6
Bezpośredni koszt produkcji (zł·t <sup>-1</sup> ) Direct production cost (PLN·t <sup>-1</sup> )	188,4	189,3	145,3	146,5
Cena zrębków (zł·t <sup>-1</sup> ) Price of chips (PLN·t <sup>-1</sup> )	160,0	160,0	160,0	160,0
Wartość uzyskanego plonu (zł·ha <sup>-1</sup> ) Value of the chips produced (PLN·ha <sup>-1</sup> )	8100,8	10432,0	12800,0	16256,0
Nadwyżka bezpośrednia (zł·ha <sup>-1</sup> ) Direct surplus (PLN·ha <sup>-1</sup> )	-1436,0	-1911,8	1177,6	1374,3
Nadwyżka bezpośrednia (zł·ha <sup>-1</sup> ·rok <sup>-1</sup> ) (przy cenie 20 zł·GJ <sup>-1</sup> ) Direct surplus (PLN·ha <sup>-1</sup> ·year <sup>-1</sup> ) (with the price of 20 PLN·GJ <sup>-1</sup> )	-287,2	-382,4	235,5	274,9
Nadwyżka bezpośrednia (zł·ha <sup>-1</sup> ·rok <sup>-1</sup> ) (przy cenie 25 zł·GJ <sup>-1</sup> ) Direct surplus (PLN·ha <sup>-1</sup> ·year <sup>-1</sup> ) (with the price of 25 PLN·GJ <sup>-1</sup> )	117,8	139,2	875,5	1087,7

leżności od wysokości uzyskiwanych plonów, ceny biomasy i sposobu jej pozyskania [Grzybek i Gradziuk 2006, Matyka 2008, Stolarski 2009, Stolarski i in. 2007].

Przeprowadzona analiza efektywności ekonomicznej produkcji wierzby w systemie Eko-Salix na dwu siedliskach gleb marginalnych w rotacji pięcioletniej potwierdza wcześniejsze badania uzyskane na glebie aluwialnej w rotacji trzyletniej [Stolarski i in. 2010]. Z badań tych wynika, że koszty związane z założeniem plantacji oraz pozyskiwaniem biomasy wierzby w systemie Eko-Salix były wysokie. Związane to było przede wszystkim z dużym udziałem siły roboczej w tej technologii. W związku z tym należy poszukiwać możliwości obniżania tych kosztów między innymi poprzez wprowadzenie bardziej wydajnych odmian wierzby do tego systemu uprawy oraz usprawnienie sposobu sadzenia i zbioru. Z drugiej strony należy mieć na uwadze fakt, że produkcja biomasy w systemie Eko-Salix przewidziana jest dla terenów nie-wykorzystywanych rolniczo, a więc tych, które nie przynoszą dochodów. W związku z tym ich

zagospodarowanie oraz pozyskanie biomasy na cele energetyczne stanowi dodatnią wartość, ze względu na podaż surowca energetycznego oraz ograniczenie konkurencji o tereny z uprawami roślin konsumpcyjnych.

## WNIOSKI

1. Założenie plantacji wierzby w systemie Eko-Salix wiąże się z kosztami na poziomie 12–16 tys. zł·ha<sup>-1</sup>. Wynika to głównie z ceny materiału rozmnożeniowego oraz dużego udziału pracy ręcznej przy sadzeniu żywokołów.
2. W obiekcie Leginy przy wyjściowym zagęszczeniu 5,2 tys. szt·ha<sup>-1</sup> koszty bezpośrednie produkcji zrębków po pięciu latach użytkowania plantacji wynoszą 9536,8 zł·ha<sup>-1</sup>, a w obiekcie Kocibórz 11622,4 zł·ha<sup>-1</sup>. Natomiast przy wyższym zagęszczeniu (7,4 tys. szt·ha<sup>-1</sup>) koszty te są wyższe w obu obiektach o około 29%.
3. Wykazano, że produkcja biomasy wierzby w systemie Eko-Salix przy jej cenie 20 zł·GJ<sup>-1</sup> w obiekcie Leginy jest nieopłacalna. Natomiast wzrost ceny biomasy do 25 zł·GJ<sup>-1</sup> powoduje, że wartość nadwyżki bezpośredniej była dodatnia we wszystkich wariantach.

## PIŚMIENNICTWO

- Chołuj D., Podlaski S. 2008. Kompleksowa ocena biologicznej przydatności 7 gatunków roślin wykorzystywanych w uprawach energetycznych. W: Energia odnawialna. Gradziuka P. (red). *Wiś Jutra*: 61–76.
- Faber A., Kuś J. 2007. Rośliny energetyczne dla różnych siedlisk. *Wiś Jutra* 8–9: 11–12.
- Grzybek A., Gradziuk P. 2006. Prospects for solid biomass use in energy production in Poland and its technical and economic properties. *Wiś Jutra*: ss. 83.
- GUS. 2010. *Biuletyn Statystyczny* 12.
- Kalembasa D. 2006. Ilość i skład chemiczny popiołu z biomasy roślin energetycznych. *Acta Agrophys.* 7(4): 909–914.
- Kisiel R., Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J. 2006. Biomasa pozyskiwana z gruntów rolniczych źródłem energii. *Zagad. Ekon. Rol.* 4: 90–101.
- Klepacki B. 2005. Ekonomiczne aspekty produkcji rzepaku. W: *Technologia produkcji rzepaku*. Muśniki C. (red.). *Wiś Jutra*: 164–172.
- Kuś J. 2008. Produkcyjność roślin energetycznych w różnych siedliskach. W: *Energia odnawialna*. Gradziuk P. (red). *Wiś Jutra*: 48–60.
- Matyka M. 2008. Opłacalność i konkurencyjność produkcji wybranych roślin energetycznych. *Studia i Raporty IUNG-PIB* 11: 113–123.
- Muzalewski A. 2010. Koszty eksploatacji maszyn. ITP, Falenty-Warszawa, ss. 56.
- 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. 2010. Ekonomiczne aspekty produkcji biomasy wierzby w systemie Eko-Salix. *Rocz. Nauk Rol., Ser. G* 97(1): 82–89.
- 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.
- Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J., Kopaczal M. 2007. Profitability of willow production in short cycles in the low Vistula valley. *Pol. J. Nat. Sci.* 2: 172–182.
- 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., Stolarski M. 2000. Biomasa krzewiastych wierzby (*Salix* spp.) pozyskiwana na gruntach ornych odnawialnym źródłem energii. *Pam. Puł.* 120: 421–428.
- Tworkowski J., Szczukowski S., Stolarski M. 2010. Plonowanie oraz cechy morfologiczne wierzby uprawianej w systemie Eko-Salix. *Fragm. Agron.* 27(4): 135–146.

M. STOLARSKI, S. SZCZUKOWSKI, J. TWORKOWSKI

### **COST OF PRODUCTION OF WILLOW BIOMASS PRODUCED IN THE EKO-SALIX SYSTEM**

#### **Summary**

The aim of the study was to determine the cost and cost-effectiveness of cultivation and production of willow biomass in the Eko-Salix system in a 5-year rotation at two sites on agricultural land unusable for the cultivation of consumer crops. The study was based on a three-factorial field experiment, conducted in triplicate in the years 2006–2010. **The analysis of costs and cost-effectiveness of cultivation and production of willow chips** was based on the calculated average yield of fresh biomass of the cultivars and clones examined in the study, at two sites and at two planting densities. The entire direct expenditure was divided into stages. The first stage included setting up the plantation and the second stage included operating it. Area payments were not taken into account in evaluation of the cost-effectiveness of willow chips production in the Eko-Salix system. The total direct costs of setting up the plantation in the Eko-Salix system amounted to 12.275 PLN·ha<sup>-1</sup> and 16.353 PLN·ha<sup>-1</sup>, at the density of 5.2 and 7.4 thousand willow cuttings·ha<sup>-1</sup>, respectively. Human labour and costs of setting up the plantation accounted for a large part (31.8–33.4% and 26.4–32.2%, respectively) of the direct cost of willow chips production. The direct cost of production of one tonne of chips ranged from 145.3 to 189.3 PLN. The surplus value of the willow chips production in the Eko-Salix system in 5-year rotation was equal to 117.8–139.2 PLN·ha<sup>-1</sup>·year<sup>-1</sup> (with the price of 25 PLN·GJ<sup>-1</sup>) on heavy soil – black brownish soil [8Di] and 875.5–1087.7 PLN·ha<sup>-1</sup>·year<sup>-1</sup> (with the price of 25 PLN·GJ<sup>-1</sup>) on excessively humid peat-muck soil [L-MtII cb]. The analysis of the cost-effectiveness of willow production in the Eko-Salix system has shown that the cost of setting up the plantation and biomass production was high. This is mainly associated with the large share of human labour in willow chip production. Therefore, a method of reducing the part of costs should be sought, for example, by mechanisation and by seeking new, more effective cultivars for this type of cultivation.