

EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNA PRODUKCJI BIOMASY WIERZBY SYSTEMEM EKO-SALIX*

Mariusz J. Stolarski, Stefan Szczukowski, Józef Tworkowski,
Michał Krzyżaniak

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Streszczenie. Celem badań było określenie kosztów i efektywności ekonomicznej produkcji biomasy wierzby pozyskanej z uprawy jednorodnej i mieszanki klonów w systemie Eko-Salix w 5-letniej rotacji, zbieranych ręcznie i maszynowo. Podstawą badań było doświadczenie polowe łanowe dwuczynnikowe prowadzone w czterech powtórzeniach. Koszt założenia plantacji w obsadzie 4,5 tys. szt.·ha⁻¹ żywokołów wyniósł 13 546 PLN·ha⁻¹. Koszt produkcji zrębków wierzby zawarty był w przedziale od 13,3 PLN·GJ⁻¹ w uprawie jednorodnej i zbiorze maszynowym do 18,0 PLN·GJ⁻¹ w uprawie mieszanej klonów i zbiorze ręcznym roślin wierzby. Nadwyżka bezpośrednia produkcji biomasy wierzby (przy cenie paliwa 20 PLN·GJ⁻¹) loco plantacja w uprawie jednorodnej była wyższa (średnio 1140 PLN·ha⁻¹·rok⁻¹) niż w uprawie mieszanej (średnio 315 PLN·ha⁻¹·rok⁻¹). Przy zastosowaniu zbioru maszynowego uzyskano wyższą wartość nadwyżki bezpośredniej niż w obiektach ze zbiorem ręcznym.

Słowa kluczowe: wierzba, żywokoły, biomasa, koszty produkcji, nadwyżka bezpośrednia

WSTĘP

Wykorzystanie biomasy z upraw polowych (agroplantacji) jest korzystne pod względem energetycznym oraz środowiskowym [Rosenqvist i Dawson 2005, Volk i in. 2006, Stolarski i in. 2014], jednakże obecnie gospodarka ogranicza możliwości jej zastosowania na szerszą skalę ze względów ekonomicznych. Należy podkreślić, że uprawy te stanowią szansę aktywizacji terenów wiejskich i dają możliwość zagospodarowania gleb

*Praca wykonana w ramach projektu badawczego własnego finansowanego przez NCN – Nr N N310 778840.

Adres do korespondencji – Corresponding author: Mariusz J. Stolarski, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa, Katedra Hodowli Roślin i Nasiennictwa, ul. Plac Łódzki 3, 10-724 Olsztyn, e-mail: mariusz.stolarski@uwm.edu.pl

nieużytkowanych rolniczo i nieużytków [Tharakan i in. 2005, Kisiel i in. 2006, Walle i in. 2007, Grzybek 2008, Kuś i in. 2008, Kotecki 2010].

Jedną z alternatyw produkcji dendromasy może być uprawa wierzby w systemie Eko-Salix na gruntach nieprzydatnych pod kultury konsumpcyjne [Tworkowski i in. 2010, Stolarski i in. 2011b]. Zakłada się, że może to przynieść istotny wkład w pokrycie zapotrzebowania na biomase, zmniejszając udział klasycznych jej źródeł, takich jak lasy i tradycyjna produkcja rolnicza, pozostając jednocześnie w równowadze z kwestiami ekologicznymi i ekonomicznymi. Jednakże produkcja biomasy w tym systemie wiąże się z dużymi kosztami wynikającymi ze znacznego udziału siły roboczej (pracy ręcznej) w tej technologii [Stolarski i in. 2010]. W związku z tym podjęto próbę poszukiwania możliwości obniżania tych kosztów między innymi poprzez wprowadzenie bardziej wydajnych klonów wierzby do tego systemu uprawy oraz usprawnienie sposobu zbioru roślin z plantacji. W związku z powyższym w pracy postawiono hipotezę, że uprawa wierzby w systemie Eko-Salix na glebie torfowo-murszowej nieprzydatnej pod uprawę roślin konsumpcyjnych może być korzystna dla plantatorów z ekonomicznego punktu widzenia przy wprowadzeniu mechanizacji zbioru. Dlatego też celem badań było określenie kosztów i efektywności ekonomicznej produkcji biomasy wierzby pozyskanej z uprawy jednorodnej i mieszaniny klonów w systemie Eko-Salix w 5-letniej rotacji, zbieranych ręcznie i maszynowo.

MATERIAŁ I METODY

Podstawą prezentowanych badań było doświadczenie polowe łanowe, dwuczynnikowe, prowadzone systemem Eko-Salix zlokalizowane w północno-wschodniej Polsce w miejscowości Kocibórz (54°00' N, 21°10' E) w Stacji Badawczo-Dydaktycznej w Łężanach należącej do Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Wielkość poletka, z którego zbierano biomase w poszczególnych kombinacjach wynosiła 3520 m². Biomase wierzby pozyskano po pięciu okresach wegetacji (III dekada stycznia 2014 r.).

Czynnikiem pierwszym doświadczenia był rodzaj nasadzeń, w tym: jednorodna uprawa wierzby z gatunku *Salix viminalis* (klon UWM 043) i mieszanka trzech klonów: (UWM 043, UWM 067, UWM 046 – 33% udział w mieszance). Czynnikiem drugim stanowił sposób zbioru wierzby: ręczny oraz maszynowy.

Sposób ręczny zbioru roślin wierzby przeprowadzono przy użyciu piły spalinowej Husqvarna 354. Pędy po ich wycięciu rozdrabniano rębakiem Junkkarii HJ 106 napędzanym wałkiem odbioru mocy ciągnika New Holland TM 130 KM. Rozdrobnioną biomase z każdego poletka w postaci zrębków odbierano na przyczepę ciągnikową i ważono. Do maszynowego zbioru roślin wierzby zastosowano ciągnik specjalistyczny (forwarder) wyposażony w głowicę ścinkową Mecanil EG250A oraz zamontowany na nim rębak nożowy. Forwarder po wjeździe na agropiantację wierzby ścinał stojące drzewa i dokonywał ich rozdrabniania. Biomasa w postaci zrębków transportowana była przez wyrzutnik turbinowy do zasobnika o pojemności 21 m³. Po napełnieniu wytworzoną biomase zasobnik wraz z forwarderem ważono. Następnie operator za pomocą układu hydraulicznego dokonywał przesypania zrębków na pryzmę.

Analizę efektywności ekonomicznej uprawy i produkcji zrębków wierzby przedstawiono na podstawie średniego plonu świeżej masy z badanych obiektów doświadczenia. 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 spalinową, koszty zakupu żywokołów oraz podatek rolny. W zakresie kosztów produkcji biomasy po piątym roku użytkowania plantacji wyróżniono: koszty związane z założeniem plantacji, nawożenie (P i K), zbiór roślin wierzby (ręczny lub maszynowy).

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 ręczne koszenie roślin i pozyskanie zrębków były wyliczone z uwzględnieniem własnych środków produkcji. Koszty produkcji określono według metodyki zaproponowanej przez Muzalewskiego [2010]. Maszynowy zbiór roślin za pomocą forwardera był wykonany na zlecenie.

Koszt pracy ludzkiej ustalono na kwotę 18,72 PLN za godzinę. Cenę świeżych zrębków wierzbowych ustalono na poziomie: 20 i 25 PLN·GJ⁻¹ energii zawartej w paliwie. Wartość energetyczną 1 tony zrębków obliczono na podstawie jej wilgotności oraz wartości opałowej. Wilgotność biomasy oznaczono metodą suszarkowo-wagową zgodnie z PN-80/G-04511. Ciepło spalania biomasy oznaczono w kalorymetrze IKA C 2000, wykorzystując metodę dynamiczną (PN-81/G-04513), a jej wartość opałową obliczono przy jej wilgotności roboczej [Kopetz i in. 2007]. Następnie z iloczynu wartości opałowej świeżej biomasy (GJ·t⁻¹) i ceny proponowanej za biomase (PLN·GJ⁻¹) wyliczono cenę 1 tony zrębków (PLN·t⁻¹). 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; nadwyżkę bezpośrednią produkcji zrębków, będącą różnicą między wartością uzyskanego plonu a kosztami bezpośrednimi loco plantacja. W ocenie ekonomicznej produkcji zrębków wierzby sposobem Eko-Salix nie uwzględniono dopłat obszarowych.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Przy wysadzeniu 4,5 tys. szt·ha⁻¹ żywokołów całkowity koszt założenia plantacji wierzby w uprawie jednorodnej klonu UWM 043 i mieszanej trzech klonów był taki sam i wyniósł 13 545,5 PLN·ha⁻¹ (tab. 1), w przeliczeniu na rok użytkowania plantacji – 677,3 PLN·ha⁻¹. Największy udział w strukturze kosztów założenia plantacji stanowił koszt zakupu żywokołów (47%) (cena jednego żywokołu wynosiła 1,4 PLN). Na drugim miejscu znalazły się koszty związane z pracą ludzi (32%), a wykorzystanie maszyn i narzędzi stanowiło około 20% kosztów całkowitych.

Tabela 1. Koszty bezpośrednie założenia plantacji w systemie Eko-Salix w uprawie jednorodnej i mieszanej [PLN·ha⁻¹]Table 1. Direct costs of setting up a plantation in the Eko-Salix system in homogeneous and mixed crop cultivation [PLN·ha⁻¹]

Wyszczególnienie – Item	Koszty – Costs
Koszt zakupu żywokołów Cost of long cuttings' purchase	6363,0
Wykonanie otworów Making holes	3920,8
Sadzenie ręczne Manual planting	1418,0
Pielęgnacja mechaniczna Mechanical cultivation	1753,6
Podatek rolny Agricultural tax	90,0
Razem Total	13545,5
Na rok użytkowania plantacji 1/20 Σ Per year of plantation operation 1/20 Σ	677,3

Koszty zakładania plantacji wierzby w systemie Eko-Salix były wysokie, wyższe niż przy zakładaniu plantacji sposobem tradycyjnym (SRWC – short rotation woody crops). Należy tu podkreślić, że koszty zakładania plantacji wierzby są ciągle wysokie, a wśród nich szczególnie dużą pozycję stanowią koszty zakupu zręzków lub żywokołów. Potwierdzają to inne badania, w których wykazano, że koszty założenia plantacji wierzby oraz udział kosztu sadzonek w ich strukturze mogą być bardzo zróżnicowane i są zależne od zastosowanej gęstości sadzenia, ceny materiału nasadzeniowego oraz zastosowanej agrotechniki [Sadowski i in. 2007, Matyka 2008, Stolarski i in. 2010, Kwaśniewski 2011, 2013]. W systemie Eko-Salix istnieje możliwość obniżenia kosztów zakładania plantacji poprzez pozyskiwanie żywokołów z własnych plantacji matecznych oraz zmechanizowanie ich sadzenia. Ponadto należy dodać, że koszty założenia plantacji wierzby znacząco obciążają inwestora jednorazowo na początku inwestycji i niejako zamrażają środki finansowe, co zniechęca do podejmowania tego rodzaju działalności [Stolarski i in. 2012].

Koszty bezpośrednie poniesione na produkcję zręzków wierzby w systemie Eko-Salix po pięciu latach użytkowania plantacji były niższe w obiekcie, w którym stosowano mieszkankę klonów niż z uprawy jednorodnej. Wynikało to z niższych plonów biomasy w obiekcie pierwszym. W uprawie jednorodnej i przy zbiorze ręcznym roślin wierzby koszty bezpośrednie produkcji zręzków wierzby wyniosły 14 622 PLN·ha⁻¹, a przy zbiorze maszynowym były one o około 15,3% niższe (tab. 2). Z kolei w uprawie mieszanej przy zbiorze ręcznym wyniosły one 11 341 PLN·ha⁻¹, a przy zbiorze maszynowym były o 21,7% niższe.

Koszty związane z założeniem plantacji stanowiły od 18,5 do 30,5% kosztów całkowitych odpowiednio w uprawie jednorodnej i zbiorze ręcznym oraz uprawie mieszanej i zbiorze mechanicznym (tab. 2). Wysokie koszty poniesiono na płace stanowiły

Tabela 2. Koszty bezpośrednie produkcji zrębków w systemie Eko-Salix w rotacji 5-letniej, loco plantacja [PLN·ha⁻¹, %]Table 2. Direct cost of willow chips production in the Eko-Salix system in a five-year rotation, loco plantation [PLN·ha⁻¹, %]

Wyszczególnienie Item	Rodzaj nasadzeń – Type of planting							
	uprawa jednorodna – homogeneous crop				mieszanka klonów – mixture of clones			
	sposób zbioru – type of harvest							
	ręczny – manual		maszynowy machine		ręczny – manual		maszynowy machine	
	[PLN·ha ⁻¹]	[%]	[PLN·ha ⁻¹]	[%]	[PLN·ha ⁻¹]	[%]	[PLN·ha ⁻¹]	[%]
Koszt bezpośredni założenia plantacji Direct cost of setting up plantation	2709,1	18,5	2709,1	21,7	2709,1	23,9	2709,1	30,5
Siła robocza Labour force	4089,8	28,0	266,7	2,1	3013,2	26,6	167,7	1,9
Ciągniki – Tractors	5826,9	39,8	328,1	2,6	3995,4	35,2	221,3	2,5
Maszyny – Machines	1301,7	8,9	8467,3	67,9	928,4	8,2	5090,8	57,3
Nawozy (PK) Fertilisers (PK)	245,0	1,7	245,0	2,0	245,0	2,2	245,0	2,8
Podatek rolny Agricultural tax	450,0	3,1	450,0	3,6	450,0	4,0	450,0	5,1
Ogółem – Total	14 622,5	100,0	12 466,1	100,0	11 341,0	100,0	8883,8	100,0

około 27–28% kosztów całkowitych w obu obiektach uprawy jednorodnej i mieszanej, w których prowadzono zbiór roślin wierzby sposobem ręcznym. Natomiast w obu wariantach uprawy i zbioru mechanicznego były one niskie i wyniosły około 2% kosztów całkowitych. W innych badaniach prowadzonych w systemie Eko-Salix koszty poniesione na płace przy zbiorze ręcznym wierzby zawierały się w przedziale 31–43% kosztów całkowitych [Stolarski i in. 2010, 2011a]. Koszt maszyn w strukturze kosztów produkcji zrębków w prezentowanych badaniach własnych w uprawie jednorodnej i mieszanej przy zbiorze zmechanizowanym roślin wierzby był wysoki, odpowiednio 67,9 i 57,3%. Związane to było z użyciem do zbioru roślin wierzby w rotacji 5-letniej specjalistycznego forwordera wyposażonego w głowicę ścinkową oraz zabudowanego na nim rębaka. Przy zbiorze ręcznym koszty użycia maszyn były niskie i wyniosły około 8–9%. Zbiór ten wymagał użycia piły spalinowej i rozdrabniania ściętych roślin wierzby rębakiem napędzanym wałkiem odbioru mocy ciągnika. W związku z tym koszty użycia ciągnika w tych obiektach były wysokie, zawarte w przedziale od 35,2 do 39,8% całkowitych kosztów produkcji zrębków. Następne pozycje w strukturze kosztów produkcji stanowiły podatek rolny (3–5%) i nawozy mineralne (2–3%).

W przeprowadzonym doświadczeniu stwierdzono, że plon świeżej biomasy wierzby uzyskany z obszaru uprawy jednorodnej klonu UWM 043 w rotacji 5-letniej zbioru był wyższy niż plon z uprawy mieszanej trzech klonów (tab. 3). Wynikało to z większej obsady oraz wysokości i średnicy roślin klonu UWM 043 niż roślin w uprawie mieszanej. Natomiast niższy plon uzyskany z poletka w uprawie mieszanej i zbiorze maszynowym należy przypisać niższej obsadzie roślin na skutek większych ubytków na tym poletku,

Tabela 3. Nadwyżka bezpośrednia z produkcji wierzby w systemie Eko-Salix w rotacji 5-letniej, loco plantacja w zależności od sposobu zbioru i ceny za 1 GJ energii zawartej w zrębkach

Table 3. Direct surplus in production of willow in the Eko-Salix system in a five-year rotation, loco plantation, depending on type of harvest and the price of 1 GJ of energy contained in willow chips

Wyszczególnienie – Item	Rodzaj nasadzeń – Type of planting			
	uprawa jednorodna homogeneous crop		mieszanka klonów mixture of clones	
	sposób zbioru – type of harvest			
	ręczny manual	maszynowy machine	ręczny manual	maszynowy machine
Plon świeżej biomasy Yield of fresh biomass [t·ha ⁻¹]	106,1	104,2	72,4	62,6
Bezpośredni koszt produkcji Direct production cost [PLN·ha ⁻¹]	14 622,5	12 466,1	11 341,0	8 883,8
Bezpośredni koszt produkcji Direct production cost [PLN·t ⁻¹]	137,8	119,6	156,6	141,9
Bezpośredni koszt produkcji Direct production cost [PLN·GJ ⁻¹]	14,8	13,3	18,0	16,5
Wartość opałowa Lower heating value [GJ·t ⁻¹]	9,32	8,98	8,69	8,62
Cena zrębków Price of chips [PLN·t ⁻¹]	186,4	179,6	173,8	172,4
Wartość uzyskanego plonu Value of the chips produced [PLN·ha ⁻¹]	19 777,0	18 714,3	12 583,1	10 792,2
Nadwyżka bezpośrednia Direct surplus [PLN·ha ⁻¹]	5 154,6	6 248,3	1 242,1	1 908,4
Nadwyżka bezpośrednia [PLN·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹] (przy cenie 20 PLN·GJ ⁻¹) Direct surplus [PLN·ha ⁻¹ ·year ⁻¹] (with the price of 20 PLN·GJ ⁻¹)	1 030,9	1 249,7	248,4	381,7
Nadwyżka bezpośrednia [PLN·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹] (przy cenie 25 PLN·GJ ⁻¹) Direct surplus [PLN·ha ⁻¹ ·year ⁻¹] (with the price of 25 PLN·GJ ⁻¹)	2 019,8	2 185,4	877,6	921,3

czego nie można było przewidzieć na etapie planowania doświadczenia. Bezpośredni koszt produkcji jednej tony zrębków wierzby zawarty był w przedziale od 119,6 PLN (13,3 PLN·GJ⁻¹) w uprawie monogatunkowej i zbiorze maszynowym do 156,6 PLN (18,0 PLN·GJ⁻¹) w uprawie mieszanej i zbiorze ręcznym roślin wierzby (tab. 3).

Nadwyżka bezpośrednia produkcji zrębków wierzby (przy cenie paliwa 20 PLN·GJ⁻¹) w uprawie jednorodnej była wyższa (średnio 1140,3 PLN·ha⁻¹·rok⁻¹) niż w uprawie mieszanej trzech klonów (średnio 315,0 PLN·ha⁻¹·rok⁻¹) (tab. 3). W obu obiektach z uprawą jednorodną i mieszaną przy zastosowaniu zbioru maszynowego nawet pomimo niższego plonu biomasy w uprawie mieszanej uzyskano wyższą wartość nadwyżki bezpośredniej niż w obu obiektach ze zbiorem ręcznym roślin wierzby z plantacji. Symulowany wzrost ceny biomasy do 25 PLN·GJ⁻¹ spowodował wzrost nadwyżki bezpośredniej produkcji

wierzby w systemie Eko-Salix we wszystkich obiektach prowadzonego doświadczenia i był zawarty w przedziale od 877,6 PLN·ha⁻¹·rok⁻¹ w uprawie mieszanej klonów i zbiorze ręcznym roślin wierzby do 2185,4 PLN·ha⁻¹·rok⁻¹ w uprawie jednorodnej klonu UWM 043 i przy maszynowym sposobie zbioru roślin. W innych badaniach [Stolarski i in. 2011a] nadwyżka bezpośrednia z produkcji wierzby w systemie Eko-Salix w rotacji 5-letniej przy cenie biomasy 20 PLN·GJ⁻¹ przy obu badanych gęstościach sadzenia żywo-kołów: 5,2 i 7,4 tys. szt.·ha⁻¹ na glebie mineralnej przy zbiorze ręcznym roślin była ujemna, odpowiednio -287 i -382 PLN·ha⁻¹·rok⁻¹. Natomiast na glebie organicznej przy analogicznej cenie biomasy i cytowanych gęstościach sadzenia uzyskano wartość dodatnią nadwyżki bezpośredniej w przedziale od 236 do 275 PLN·ha⁻¹·rok⁻¹. Również w innych badaniach [Rosenqvist i Dawson 2005, Stolarski 2009, Matyka 2013] w przypadku produkcji biomasy wierzby w powszechnie stosowanym systemie uprawy (SRWC) wartości nadwyżki bezpośredniej były zróżnicowane w zależności do wysokości uzyskiwanych plonów, ceny biomasy i sposobu jej pozyskania.

Cena jednostki energii zgromadzonej w biomase wierzby jest jednym z podstawowych czynników rzutujących na efektywność ekonomiczną produkcji tego paliwa. Rosenqvist i inni [2005] podają, że całkowity koszt produkcji zrębków wierzbowych w uprawie tradycyjnej (SRWC) uwzględniający koszty związane z ryzykiem tej produkcji wyniósł 5,0–5,5 Euro·GJ⁻¹ (18,9–20,8 PLN·GJ⁻¹). Koszty produkcji zrębków wierzbowych w uprawie tradycyjnej w badaniach Stolarskiego [2009] były bardzo zróżnicowane i wynosiły od 11 do 20 PLN·GJ⁻¹. W badaniach własnych koszty te zawarte były w przedziale od 13,3 PLN·GJ⁻¹ w uprawie jednorodnej klonu UWM 043 i zbiorze mechanicznym do 18,0 PLN·GJ⁻¹ w uprawie mieszanej trzech klonów i zbiorze ręcznym roślin wierzby. Ponadto na podkreślenie zasługuje fakt, że produkcja biomasy wierzby w systemie Eko-Salix przewidziana jest do zagospodarowania gleb nieużytkowanych rolniczo, marginalnych, nieużytków, a więc siedlisk, które aktualnie nie przynoszą dochodów. W związku z tym zagospodarowanie części tych gruntów poprzez nasadzenia wierzby w tym systemie i produkcja biomasy na cele energetyczne i przemysłowe stanowiłaby dodaną wartość oraz ograniczałaby konkurencję o tereny z uprawami roślin konsumpcyjnych [Stolarski i in. 2011a].

WNIOSKI

1. Całkowite koszty bezpośrednie produkcji zrębków wierzby w systemie Eko-Salix były niższe w obiekcie, w którym stosowano mieszankę klonów niż z uprawy jednorodnej ze względu na niższe plony i koszty zbioru biomasy w obiekcie pierwszym.

2. Koszty bezpośrednie produkcji zrębków wierzby były niższe przy zbiorze maszynowym niż przy zbiorze ręcznym o 15,3 i 21,7%, odpowiednio w uprawie jednorodnej i mieszanej.

3. Koszt produkcji zrębków wierzby w przeliczeniu na jednostkę energii zawarty był w przedziale od 13,3 PLN·GJ⁻¹ w uprawie jednorodnej i zbiorze maszynowym do 18,0 PLN·GJ⁻¹ w uprawie mieszanej klonów i zbiorze ręcznym roślin wierzby.

4. Nadwyżka bezpośrednia produkcji biomasy wierzby (przy cenie paliwa 20 PLN·GJ⁻¹), loco plantacja w uprawie jednorodnej była wyższa (średnio 1140 PLN·ha⁻¹·rok⁻¹) niż w uprawie mieszanej (średnio 315 PLN·ha⁻¹·rok⁻¹).

5. Zastosowanie zbioru maszynowego pozwoliło uzyskać wyższe wartości nadwyżki bezpośredniej w porównaniu do zbioru ręcznego.

LITERATURA

- Grzybek A., 2008. Zapotrzebowanie na biomasę i strategię energetycznego jej wykorzystania. Studia i Raporty IUNG-PIB 11, 9–23.
- Kisiel R., Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J., 2006. Biomasa pozyskiwana z gruntów rolniczych źródłem energii. Zagad. Ekon. Rol. 4, 90–101.
- Kopetz H., Jossart J., Ragossnig H., Metschina Ch., 2007. European biomass statistics 2007. European Biomass Association, Brussels.
- Kotecki A. i in., 2010. Uprawa miskanta olbrzymiego. Energetyczne i pozaenergetyczne możliwości wykorzystania słomy. UP we Wrocławiu.
- 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.
- Kwaśniewski D., 2011. Koszty i opłacalność produkcji biomasy z trzyletniej wierzby energetycznej. Inżynieria Rolnicza 1(126), 145–154.
- Matyka M., 2008. Opłacalność i konkurencyjność produkcji wybranych roślin energetycznych. Studia i Raporty IUNG-PIB 11, 113–123.
- Matyka M., 2013. Produkcyjne i ekonomiczne aspekty uprawy roślin wieloletnich na cele energetyczne. Wydawnictwo IUNG-PIB. Monografia 35, 1–94.
- Muzalewski A., 2010. Koszty eksploatacji maszyn. ITP, Falenty – Warszawa.
- Rosenqvist H., Börjesson P., Berndes G., Neij L., 2005. The prospects of cost reduction in willow production, 14th European Biomass Conference, 17–21 October 2005, Paris, France, 398–401.
- Rosenqvist H., Dawson M., 2005. Economics of willow growing in Northern Ireland. Biomass and Bioenergy 28, 7–14.
- Sadowski A., Jankowiak J., Bieńkowski J., 2007. Ekonomiczna efektywność uprawy wierzby. Fragm. Agron. 4(96), 153–159.
- Stolarski M., 2009. Agrotechniczne i ekonomiczne aspekty produkcji biomasy wierzby krzewiastej (*Salix* spp.) jako surowca energetycznego. Rozpr. Monogr., UWM Olsztyn 148, s. 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., 2011a. Koszty produkcji biomasy wierzby pozyskanej systemem Eko-Salix. Fragm. Agron. 28(4), 96–103.
- Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J., Klasa A., 2011b. Willow biomass production under conditions of low-input agriculture on marginal soils. Forest Ecology and Management 262, 1558–1566.
- Stolarski M.J., Szczukowski S., Tworkowski J., Krzyżaniak M., 2012. Koszty założenia polowych plantacji szybko rosnących roślin drzewiastych. Roczniki Nauk Rolniczych, seria G, t. 99, z. 1, 129–140.
- Stolarski M.J., Szczukowski S., Tworkowski J., Krzyżaniak M., 2013. Ekonomiczne aspekty produkcji biomasy wierzby w jednorocznym i trzyletnim cyklu zbioru, Roczniki Ekonomii Rolnictwa i Rozwoju Obszarów Wiejskich, t. 100, z. 1, 211–219.

- Stolarski M.J., Krzyżaniak M., Tworkowski J., Szczukowski S., Gołaszewski J., 2014. Energy intensity and energy ratio in producing willow chips as feedstock for an integrated biorefinery. *Biosystems Engineering* 123, 19–28.
- Tharakan P.J., Volk T.A., Lindsey C.A., Abrahamson L.P., White E.H., 2005. Evaluating the impact of three incentive programs on co-firing willow biomass with coal in New York State. *Energy Policy* 33(3), 337–347.
- Tworkowski J., Szczukowski S., Stolarski M., 2010. Plonowanie oraz cechy morfologiczne wierzby uprawianej w systemie Eko-Salix. *Fragm. Agron.* 27(4), 135–146.
- Volk T.A., Abrahamson L.P., Nowak C.A., Smart L.B., Tharakan P.J., White E.H., 2006. The development of short-rotation willow in the northeastern United States for bioenergy and bioproducts, agroforestry and phytoremediation. *Biomass and Bioenergy* 30, 715–727.
- Walle I.V., Van Camp N., Van de Castele L., Verheyen K., Lemeur R., 2007. Short-rotation forestry of birch, maple, poplar and willow in Flanders (Belgium) I – Biomass production after 4 years of tree growth. *Biomass and Bioenergy* 31, 267–275.

ECONOMIC EFFICIENCY OF PRODUCTION WILLOW BIOMASS OBTAINED BY THE EKO-SALIX SYSTEM

Summary. The aim of the paper was to determine the costs and economic efficiency of production for *Salix viminalis* willow biomass obtained from a homogeneous cultivation UWM 043 clone crop and a mixed crop of the UWM clones: 043, 067 and 046 in the Eko-Salix system in 5-year rotation harvested manually and by machine on organic soil not useful for consumption crops. The basis of the conducted study was a two-factor, large-area field experiment, carried out in four replications. The analysis of the costs and economic efficiency of willow cultivation and willow chips production was presented based on the computed, average fresh willow biomass yield from the homogeneous and the mixed crop of the clones harvested manually using a petrol saw and plant chopping with a wood chipper and mechanically using a specialist tractor equipped with a felling head and a built-in wood chipper. Total borne direct costs were divided into stages. The first of them covered plantation establishment and the second its use. Area payments were not taken into account in the economic assessment of willow chips production by the Eko-Salix method.

The cost of plantation establishment on peat-muck soil at a density of 4.5 thousand long cuttings·ha⁻¹ was 13,546 PLN·ha⁻¹. The direct costs of willow chips production ranged from 13.3 PLN·GJ⁻¹ in the homogeneous crop and machine harvesting to 18.0 PLN·GJ⁻¹ in the mixed clone crop and manual willow plant harvesting. The direct surplus of willow biomass production (at a fuel price of 20 PLN·GJ⁻¹) ex plantation in the homogeneous crop was higher (1,140 PLN·ha⁻¹·year⁻¹ on average) than in the mixed crop (315 PLN·ha⁻¹·year⁻¹ on average). In both objects cultivated using machine harvesting, a higher direct surplus value was obtained than in objects with manual willow plant harvesting from the plantation. A new *Salix viminalis* species willow clone, UWM 043, introduced into the study proved most useful in the homogeneous crop and mechanical harvesting for commercial willow cultivation in the Eko-Salix system and at 5-year plant harvesting rotation because of a high direct surplus value. It resulted from a high biomass yield and low direct costs of chips production.

Key words: willow, long cuttings, biomass, costs of production, direct surplus