

OPLACALNOŚĆ I EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA PRODUKCJI BIOMASY ŚLĄZOWCA PENSYLWAŃSKIEGO W ZALEŻNOŚCI OD STOSOWANEGO MATERIAŁU SIEWNEGO*

MARIUSZ J. STOLARSKI¹, JÓZEF TWORKOWSKI, STEFAN SZCZUKOWSKI,
JACEK KWIATKOWSKI, ŁUKASZ GRABAN

*Katedra Hodowli Roślin i Nasiennictwa, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie,
Pl. Łódzki 3, 10-724 Olsztyn*

Synopsis. Celem pracy była analiza ekonomiczna i energetyczna produkcji biomasy oraz zrębków ślázowca pensylwańskiego w zależności od stosowanego materiału siewnego. Do analiz wykorzystano wyniki uzyskane w doświadczeniu polowym prowadzonym w latach 2009–2011 w SDB w Bałdach. W doświadczeniu użyto 3 rodzaje materiału siewnego: nasiona wysiewane w ilości 1,5 i 4,5 kg·ha⁻¹, sadzonki korzeniowe i rozsady wysadzone w obsadzie po 20 i 60 tys. szt·ha⁻¹. Koszty bezpośrednie założenia plantacji ślázowca pensylwańskiego obliczono na 4843 zł·ha⁻¹ dla obiektu z wysiewem 1,5 kg nasion·ha⁻¹ i aż 33841 zł·ha⁻¹ w obiekcie z wysadzeniem 60 tys. szt. rozsady·ha⁻¹. Koszt materiału siewnego stanowił od 37 do 89% wszystkich kosztów. Koszty produkcji zrębków loco plantacja wynosiły od 1734 do 3460 zł·ha⁻¹, w tym koszty założenia plantacji stanowiły od 15 do ponad 51% kosztów. Koszt produkcji 1 t zrębków najniższy był w obiekcie z wysiewem 1,5 kg·ha⁻¹ nasion (140,6 zł), najwyższy zaś po wysadzeniu 60 tys. szt. rozsady na 1 ha (216,5 zł). Wartość zebranego plonu biomasy ślázowca pensylwańskiego wynosiła od 3449 do 4513 zł·ha⁻¹. W obiekcie z wysadzeniem 60 tys. szt·ha⁻¹ rozsady, obliczona nadwyżka bezpośrednia loco plantacja była najniższa i wynosiła 1053 zł·ha⁻¹. Wartość nadwyżki bezpośredniej najwyższa była w obiekcie z wysiewem 4,5 kg·ha⁻¹ nasion (1809 zł·ha⁻¹). Skumulowane nakłady energetyczne poniesione na produkcję biomasy ślázowca loco plantacja najniższe (9,1–9,4 GJ·ha⁻¹) wyliczono przy zakładaniu plantacji z wysiewu nasion. Wyższe (11,7–18,9 GJ·ha⁻¹) w technologiach z wykorzystaniem wegetatywnego materiału siewnego, zwłaszcza w większej obsadzie. Wskaźnik efektywności energetycznej produkcji biomasy ślázowca pensylwańskiego wynosił od 12,0 do 20,2. Pomimo najwyższego plonu biomasy w obiekcie z wysadzaniem 60 tys. szt. rozsady wyższy współczynnik efektywności energetycznej był przy zakładaniu plantacji z wysiewu nasion.

Słowa kluczowe: ślázowiec pensylwański, materiał siewny, koszty produkcji, efektywność energetyczna produkcji biomasy

WSTĘP

Ważnym elementem, decydującym o wyborze do uprawy rośliny energetycznej są nakłady kosztów i energii na założenie i prowadzenie plantacji [Kuś i Matyka 2010, Matyka 2008, Muzalewski 2010b]. Jedną z roślin energetycznych przydatnych do uprawy w warunkach glebowo-

¹ Adres do korespondencji – *Corresponding address:* mariusz.stolarski@uwm.edu.pl

* Praca została wykonana w ramach realizacji projektu kluczowego „Modelowe kompleksy agroenergetyczne jako przykład kogeneracji rozproszonej opartej na lokalnych i odnawialnych źródłach energii”, nr POIG.01.01.02-00-016/08, realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka 2007–2010. Projekt ten jest współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

klimatycznych Polski jest ślazuwiec pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby) [Borkowska-Królik i in. 1986, Borkowska i Styk 2006, Kalembasa i Wiśniewska 2006, Stolarski i in. 2008]. Biomasa tej rośliny wykorzystywana jest aktualnie głównie do produkcji paliwa stałego (zrębki, brykiet, pelet). Może być również użyta do produkcji metanu w procesie jej fermentacji.

Koszty założenia i prowadzenia plantacji ślazuwca są bardzo zróżnicowane i zależne od wyboru sposobu zakładania plantacji. Wysokie koszty związane są z materiałem siewnym, przygotowaniem i sadzeniem sadzonek [Matyka 2008, Piskier 2008]. Ostateczna opłacalność produkcji biomasy ślazuwca uzależniona jest od możliwości jej sprzedaży, kosztów transportu i jej przetwarzania.

Celem pracy była analiza ekonomiczna i energetyczna produkcji biomasy i zrębków ślazuwca pensylwańskiego w zależności od stosowanego materiału siewnego.

METODYKA

Podstawą analiz są wyniki z polowego doświadczenia ścisłego prowadzonego w latach 2009-2012 w SDB w Bałdach (53°35' N, 20°36' E) należącej do UWM w Olsztynie. W doświadczeniu tym uwzględniono trzy rodzaje materiału siewnego oraz dwie gęstości wysiewu lub sadzenia; nasiona – wysiew 1,5 oraz 4,5 kg·ha⁻¹, sadzonki korzeniowe – sadzenie w obsadzie 20 i 60 tys. szt.·ha⁻¹, rozsada – sadzenie w obsadzie 20 i 60 tys. szt.·ha⁻¹.

Analizę ekonomiczną uprawy i produkcji zrębków ślazuwca pensylwańskiego przedstawiono na podstawie plonu biomasy uzyskanego w poszczególnych obiektach doświadczenia w latach 2010 i 2011. Założono, że zbiór roślin ślazuwca będzie wykonywany jednoetapowo za pomocą dwurzędowego silosokombajnu JF Double Z20 współpracującego z ciągnikiem.

W analizach ekonomicznych założono, że zrębki będą transportowane do zakładu konwersji biomasy na odległość 50 km. Całość poniesionych kosztów bezpośrednich podzielono na etapy. Pierwszy z nich obejmował założenie plantacji, a drugi jej użytkowanie. Poniesione koszty bezpośrednie na założenie oraz prowadzenie plantacji w pierwszym roku wegetacji przedstawiono w całości oraz podzielono na potencjalnie 19 letni okres ich użytkowania. Sposób obliczania kosztów bezpośrednich wykonano w oparciu o koszty własne, bez naliczania zysku usługodawcy. Wykorzystano zestawione tabelarycznie jednostkowe koszty eksploatacji sprzętu rolniczego [Muzalewski 2010a]. Ponadto wykorzystano dane literaturowe, informacje rynkowe oraz własne założenia w zakresie wydajności sprzętu rolniczego, zakupu i stosowania nawozów i środków ochrony, cen materiału siewnego oraz zbioru i transportu biomasy. Koszt pracy ludzkiej ustalono w oparciu o założenia, że pełnozatrudniona osoba w rolnictwie pracuje 176 godzin w miesiącu (22 dni x 8 godzin dziennie). Natomiast średnie miesięczne wynagrodzenie w rolnictwie wynosiło 3305,4 zł [GUS 2010]. W związku z powyższym koszt pracy ludzkiej ustalono na 18,78 zł·godzina⁻¹.

Koszt zakupu nasion ślazuwca ustalono na poziomie 1200 zł·kg⁻¹, sadzonek korzeniowych 0,25 zł za sztukę, a rozsady 0,50 zł za sztukę. Wartość świeżych zrębków ślazuwca przy cenie 20 zł·GJ⁻¹ obliczono oddzielnie dla każdego obiektu w zależności od wartości opałowej biomasy. Wartość plonu świeżej biomasy loco plantacja wyliczono jako iloczyn plonu biomasy i ceny za 1 tonę zrębków. W ekonomicznej ocenie produkcji zrębków uwzględniono: jednostkowy bezpośredni koszt produkcji 1 tony świeżych zrębków – będący ilorzem kosztów bezpośrednich loco plantacja i plonu zrębków oraz nadwyżkę bezpośrednią produkcji zrębków – będącą różnicą pomiędzy wartością uzyskanego plonu, a kosztami bezpośrednimi loco plantacja. W ocenie ekonomicznej produkcji zrębków nie uwzględniono dopłat obszarowych.

Skumulowane nakłady materiałowo-energetyczne uprawy i produkcji zrębków określono według metodyki [Anuszewski 1987, Szeptycki i Wójcicki 2003, Wójcicki 2005, 2007]. W analizie nakładów materiałowo-energetycznych ponoszonych na założenie plantacji i produkcję biomasy wyodrębniono następujące strumienie energii: bezpośrednie nośniki energii (paliwa), zużycie środków trwałych i materiałów do ich napraw (ciągniki, maszyny, narzędzia), stosowanie nawozów mineralnych i innych agrochemikaliów, zużycie roślinnych surowców rolniczych (materiał siewny) i praca ludzi.

Iloczyn wartości opałowej świeżej biomasy oraz jej plon z powierzchni 1 ha stanowił wartość energetyczną plonu. W energetycznej ocenie technologii uprawy oraz produkcji zrębków na plantacji wykorzystano następujące wskaźniki: zysk energii skumulowanej, który stanowił różnicę pomiędzy wartością energetyczną uzyskanego plonu a sumą nakładów na jego uzyskanie, wskaźnik energochłonności jednostkowej, który stanowił iloraz sumy nakładów energii do masy uzyskanego plonu oraz wskaźnik efektywności energetycznej produkcji zrębków, który stanowił iloraz wartości energetycznej uzyskanego plonu biomasy do wartości skumulowanych nakładów materiałowo-energetycznych poniesionych na jego pozyskanie.

WYNIKI I DYSKUSJA

Koszty bezpośrednie założenia oraz prowadzenia plantacji ślazuwca pensylwańskiego w pierwszym roku wegetacji były bardzo zróżnicowane i wahały się od 4843 zł w obiekcie z wysiewem 1,5 kg·ha⁻¹ nasion do 33841 zł·ha⁻¹ po wysadzeniu 60 tys. szt.·ha⁻¹ rozsady. W przeliczeniu na jeden rok użytkowania plantacji wyniosły odpowiednio od około 255 do 1781 zł (tab. 1). O wysokości powyższych kosztów decydował więc głównie koszt materiału siewnego wynoszący odpowiednio od ponad 37 do prawie 89% wszystkich kosztów (tab. 2). Ważną pozycją okazały się koszty likwidacji plantacji, których często nie uwzględnia się w kosztach. Wyniosły one 978 zł·ha⁻¹, a w strukturze kosztów ogólnych stanowiły od 2,9 do ponad 20%.

Kalkulacje dotyczące kosztów zakładania plantacji roślin energetycznych są bardzo rozbieżne nawet w obrębie tego samego gatunku i wynikają z relacji cen w danym roku, różnego doboru maszyn, cen materiału siewnego i innych założeń [Matyka 2008, Muzalewski 2010b, Piskier 2008]. Według danych Kusia i Matyki [2009] koszt założenia plantacji ślazuwca przy wysiewie nasion wynosił 9319 zł·ha⁻¹ zaś przy ręcznym sadzeniu sadzonek wzrósł do 11127 zł·ha⁻¹. Dla porównania przeciętny koszt założenia 1 ha plantacji wierzby krzewiastej ci sami autorzy wyliczyli na 9060 zł, a miskanta na 23075 zł·ha⁻¹.

Koszty bezpośrednie produkcji zrębków ślazuwca zależały głównie od kosztów założenia plantacji, a tylko w niewielkim stopniu modyfikowane były przez siłę roboczą, ciągniki i maszyny, których koszt związany był z wysokością zebranego plonu biomasy. Koszty produkcji zrębków loco plantacja wahały się od około 1734 do 3460 zł·ha⁻¹, w tym koszty założenia plantacji stanowiły od prawie 15 do ponad 51% wszystkich kosztów (tab. 3). Kuś i Matyka [2009] koszt produkcji ślazuwca wyliczyli na 2705 zł·ha⁻¹, dla wierzby 1723, a dla miskanta 2945 zł·ha⁻¹, co w przeliczeniu na 1 tonę biomasy wynosiło odpowiednio 301, 191 i 924 zł. W badaniach własnych dotyczących produkcji biomasy wierzby różnymi technologiami koszty produkcji zrębków wynosiły średnio od 2338 do 2868 zł·ha⁻¹ oraz od 96 do 114 zł·t⁻¹ [Stolarski i in. 2013].

Koszt produkcji jednej tony zrębków ślazuwca w badaniach własnych zależał od rodzaju materiału siewnego oraz zebranego plonu biomasy (tab. 4). Najniższy był w obiekcie z wysiewem 1,5 kg nasion·ha⁻¹ (140,6 zł), najwyższy zaś po wysadzeniu 60 tys. rozsady·ha⁻¹ (216,5

Tabela 1. Koszty bezpośrednie założenia oraz prowadzenia plantacji ślazuwca pensylwańskiego w pierwszym roku wegetacji w zależności od sposobu rozmnażania (zł·ha⁻¹)
 Table 1. Direct cost of setting up and running a plantation of Virginia fanpetals depending on the reproduction method (PLN·ha⁻¹)

Wyszczególnienie Item	Rodzaj materiału siewnego i gęstość siewu/sadzenia Type of the propagules and seeding/planting density					
	nasiona seeds		sadzonki korzeniowe rooted cuttings		roszsada seedlings	
	kg·ha ⁻¹		tys. szt.–thous.·ha ⁻¹			
	1,5	4,5	20	60	20	60
Oprysk (glyfosat) Spraying (glyphosate)	47,3	47,3	47,3	47,3	47,3	47,3
Podorywka – Skimming ploughing	92,9	92,9	92,9	92,9	92,9	92,9
Orka zimowa – Winter ploughing	238,9	238,9	238,9	238,9	238,9	238,9
Bronowanie (2x) – Harrowing (2x)	194,1	194,1	194,1	194,1	194,1	194,1
Koszt zakupu materiału siewnego Cost of purchase of the seeding material	1800,0	5400,0	5000,0	15000,0	10000,0	30000,0
Siew/sadzenie – Sowing/planting	83,5	83,5	294,1	882,4	294,1	882,4
Oprysk (2x) (herbicyd) Spraying (2x) (herbicide)	94,6	94,6	94,6	94,6	94,6	94,6
Wysiew nawozów – Fertilisation	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
Pielenie (2x) – Weeding (2x)	269,7	269,7	269,7	269,7	269,7	269,7
Koszt środków ochrony roślin Cost of plant protection agents	378,8	378,8	378,8	378,8	378,8	378,8
Koszt nawozów NPK Cost of NPK fertilisers	297,8	297,8	297,8	297,8	297,8	297,8
Podatek rolny – Agricultural tax	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Likwidacja plantacji Winding up the plantation	978,0	978,0	978,0	978,0	978,0	978,0
Zbiór roślin – Harvest	173,7	173,7	173,7	173,7	173,7	173,7
Transport w obrębie pola Transport within the field	33,1	33,1	33,1	33,1	33,1	33,1
Razem – Total	4842,5	8442,5	8253,1	18841,4	13253,1	33841,4
Na rok użytkowania plantacji 1/19 Σ Per year of the plantation use 1/19 Σ	254,9	444,3	434,4	991,7	697,5	1781,1

Źródło: badania własne – Source: own research

Tabela 2. Struktura kosztów bezpośrednich założenia oraz prowadzenia plantacji ślazuwca pensylwańskiego w pierwszym roku wegetacji w zależności od sposobu rozmnażania (%)

Table 2. The structure of direct cost of setting up and running a plantation of Virginia fanpetals in the first year of vegetation depending on the reproduction method (%)

Wyszczególnienie Item	Rodzaj materiału siewnego i ilość wysiewu/wysadzenia Type of the propagules and seeding/planting density					
	nasiona seeds		sadzonki korzeniowe rooted cuttings		rozsada seedlings	
	kg·ha ⁻¹		tys. szt.–thous.·ha ⁻¹			
	1,5	4,5	20	60	20	60
Oprysk (glyfosat) Spraying (glyphosate)	1,0	0,6	0,6	0,3	0,4	0,1
Podorywka – Skimming ploughing	1,9	1,1	1,1	0,5	0,7	0,3
Orka zimowa – Winter ploughing	4,9	2,8	2,9	1,3	1,8	0,7
Bronowanie (2x) – Harrowing (2x)	4,0	2,3	2,4	1,0	1,5	0,6
Koszt zakupu materiału siewnego Cost of purchase of the seeding material	37,2	64,0	60,6	79,6	75,5	88,6
Siew/sadzenie – Sowing/planting	1,7	1,0	3,6	4,7	2,2	2,6
Oprysk (2x) (herbicyd) Spraying (2x) (herbicide)	2,0	1,1	1,1	0,5	0,7	0,3
Wysiew nawozów – Fertilisation	1,2	0,7	0,7	0,3	0,5	0,2
Pielenie (2x) – Weeding (2x)	5,6	3,2	3,3	1,4	2,0	0,8
Koszt środków ochrony roślin Cost of plant protection agents	7,8	4,5	4,6	2,0	2,9	1,1
Koszt nawozów NPK Cost of NPK fertilisers	6,1	3,5	3,6	1,6	2,2	0,9
Podatek rolny – Agricultural tax	2,1	1,2	1,2	0,5	0,8	0,3
Likwidacja plantacji Winding up the plantation	20,2	11,6	11,9	5,2	7,4	2,9
Zbiór roślin – Harvest	3,6	2,1	2,1	0,9	1,3	0,5
Transport w obrębie pola Transport within the field	0,7	0,4	0,4	0,2	0,2	0,1
Razem – Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Źródło: badania własne – Source: own research

Tabela 3. Koszty bezpośrednie produkcji zrębków ślazuwca pensylwańskiego, średnio z lat 2010-2011 w zależności od sposobu rozmnażania, loco plantacja (zł·ha⁻¹)

Table 3. Direct cost of production of Virginia fanpetals chips, the average of the years 2010-2011, depending on the reproduction method, loco plantation (PLN·ha⁻¹)

Wyszczególnienie Item	Rodzaj materiału siewnego i ilość wysiewu/wysadzenia Type of the propagules and seeding/planting density					
	nasiona seeds		sadzonki korzeniowe rooted cuttings		rozsada seedlings	
	kg·ha ⁻¹		tys. szt – thous·ha ⁻¹			
	1,5	4,5	20	60	20	60
Koszt bezpośredni założenia plantacji Direct cost of setting up a plantation	254,9	444,3	434,4	991,7	697,5	1781,1
Siła robocza – Workforce	122,7	133,3	124,0	147,6	132,0	150,1
Ciągniki – Tractors	345,3	376,0	349,0	416,9	372,0	424,1
Maszyny – Machines	359,7	395,9	364,0	444,2	391,2	452,7
Środki ochrony roślin Plant protection agents	253,8	253,8	253,8	253,8	253,8	253,8
Nawozy NPK – NPK fertilisers	297,8	297,8	297,8	297,8	297,8	297,8
Podatek rolny – Agricultural tax	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Razem – Total	1734,1	2001,1	1922,9	2651,9	2244,2	3459,6

Źródło: badania własne – Source: own research

Tabela 4. Nadwyżka bezpośrednia produkcji ślazuwca pensylwańskiego, średnio z lat 2010–2011 w zależności od sposobu rozmnażania, loco plantacji oraz przy transporcie na odległość 50 km i cenie 20 zł·GJ⁻¹

Table 4. Direct surplus of production of Virginia fanpetals, the average of the years 2010–2011, depending on the reproduction method, loco plantation and with transport for 50 km and a price of 20 PLN·GJ⁻¹

Wyszczególnienie Item	Rodzaj materiału siewnego i ilość wysiewu/wysadzenia Type of the propagules and seeding/planting density					
	nasiona seeds		sadzonki korzeniowe rooted cuttings		rozsada seedlings	
	kg·ha ⁻¹		tys. szt.–thous·ha ⁻¹			
	1,5	4,5	20	60	20	60
Plon świeżej masy (t·ha ⁻¹) Fresh biomass yield (t·ha ⁻¹)	12,3	13,8	12,5	15,6	13,6	16,0
Bezpośredni koszt produkcji (zł·ha ⁻¹) Direct cost of production (PLN·ha ⁻¹)	1734,1	2001,1	1922,9	2651,9	2244,2	3459,6

Tabela 4. cd.
Table 4. cont.

Bezpośredni koszt produkcji (zł·t ⁻¹) Direct cost of production (PLN·t ⁻¹)	140,6	145,5	153,8	169,5	165,4	216,5
Cena zrębków (zł·t ⁻¹) Price of chips (PLN·t ⁻¹)	279,7	277,1	280,2	279,4	279,2	282,4
Plon równoważący koszty produkcji (t·ha ⁻¹) The yield which offsets the production costs (t·ha ⁻¹)	6,2	7,2	6,9	9,5	8,0	12,3
Wartość uzyskanego plonu (zł·ha ⁻¹) Total value of the field (PLN·ha ⁻¹)	3448,7	3810,1	3502,5	4371,2	3787,3	4512,8
Nadwyżka bezpośrednia loco plantacji (zł·ha ⁻¹) Direct surplus loco plantation (PLN·ha ⁻¹)	1714,6	1809,0	1579,6	1719,3	1543,1	1053,1
Nadwyżka bezpośrednia loco zakład konwersji (zł·ha ⁻¹) Direct surplus loco conversion plant (PLN·ha ⁻¹)	1113,5	1138,7	970,2	956,6	881,8	274,1

Źródło: badania własne – Source: own research

zł). Cena zrębków zależała od ich wartości energetycznej i wahała się od 277,1 do 282,4 zł·t⁻¹. Plon równoważący koszty produkcji zrębków w przypadku użycia 1,5 kg nasion jako materiału siewnego wynosił 6,2 t·ha⁻¹, zaś po wysadzeniu 60 tys. szt·ha⁻¹ rozsady musiały być dwukrotnie wyższe. Według Kusia i Matyki [2010] opłacalność ślazuwca następuje przy plonach ponad 11 t·ha⁻¹ suchej masy i korzystnych cenach za biomase.

Wartość zebranego plonu biomasy ślazuwca zależała oczywiście od wysokości plonu i wynosiła od około 3449 do prawie 4513 zł·ha⁻¹ (tab. 4). Pomimo najwyższej wartości plonu uzyskanego w obiekcie z wysadzeniem 60 tys. rozsady·ha⁻¹ obliczona nadwyżka bezpośrednia loco plantacja była tam najniższa i wynosiła 1053 zł·ha⁻¹. Około 1,5-krotnie wyższą nadwyżkę bezpośrednią uzyskano w obiektach z wysadzeniem 20 tys·ha⁻¹ materiałów wegetatywnych, czyli sadzonek korzeniowych i rozsady. Ponad 1700 zł nadwyżki uzyskano w obiektach z wysadzeniem 60 tys. sadzonek korzeniowych oraz po wysiewie 1,5 kg·ha⁻¹ nasion. Najwyższa wartość nadwyżki bezpośredniej loco plantacja wynosiła 1809 zł i wystąpiła w obiekcie z wysiewem 4,5 kg nasion·ha⁻¹.

Nadwyżka bezpośrednia loco zakład konwersji była bardzo zróżnicowana przez rodzaj materiału siewnego. Najniższa wynosząca 274 zł·ha⁻¹ była pomimo najwyższej wartości zebranego plonu w obiekcie z sadzeniem 60 tys. szt·ha⁻¹ rozsady. Ponad 3–3,5-krotnie wyższa była w pozostałych obiektach obsadzonych materiałem wegetatywnym. Najwyższa zaś wynosząca około 1113 i 1139 zł·ha⁻¹ wystąpiła w obiektach przy wysiewie zarówno 1,5 jak i 4,5 kg nasion·ha⁻¹. Uzyskane wartości nadwyżki bezpośredniej loco plantacja, a także loco zakład konwersji wskazują na porównywalne efekty ekonomiczne produkcji biomasy ślazuwca z wierzba. Bowiem w równoległe prowadzonych badaniach z wierzba w zależności od technologii produkcji nadwyżka bezpośrednia loco plantacja wynosiła średnio od około 1194 do 1860 zł, a loco zakład konwersji od 717 do 1395 zł·ha⁻¹ [Stolarski i in. 2013].

Skumulowane nakłady materiałowo-energetyczne poniesione na produkcję biomasy ślazuwca loco plantacja najniższe (9,1 i 9,4 GJ·ha⁻¹) wyliczono przy zakładaniu plantacji z wysiewu

nasion (1,5 oraz 4,5 kg·ha⁻¹). Wyższe nakłady (11,7–18,9 4 GJ·ha⁻¹) obliczono w technologiach, w których zastosowano wegetatywny materiał siewny zwłaszcza wysadzany w zagęszczeniu 60 tys. szt·ha⁻¹ (tab. 5). Suma jednostkowych nakładów energochłonności skumulowanej na uprawę ślazuowca pensylwańskiego w ciągu 16 lat jego uprawy wyniosła 198 GJ·ha⁻¹ i wahała się w poszczególnych latach od 7,3–12,8 GJ·ha⁻¹ [Hryniewicz i Grzybek 2010].

Tabela 5. Skumulowane nakłady materiałowo-energetyczne poniesione na technologie produkcji zrębków ślazuowca, loco plantacja (MJ·ha⁻¹)

Table 5. Cumulative material and energy outlay for production of Virginia fanpetals chips, loco plantation (MJ·ha⁻¹)

Wyszczególnienie Item	Rodzaj materiału siewnego i ilość wysiewu/wysadzenia Type of the propagules and seeding/planting density					
	nasiona seeds		sadzunki korzeniowe rooted cuttings		rozsada seedlings	
	kg·ha ⁻¹		tys. szt.–thous·ha ⁻¹			
	1,5	4,5	20	60	20	60
Praca ludzi – Human labour	292	315	315	407	332	412
Środki trwałe (ciągniki, maszyny) Fixed assets (tractors, machines)	670	718	680	797	715	809
Bezpośrednie nośniki energii Direct energy carriers	2761	2995	2801	3358	2976	3414
Surowce roślinne (sadzunki) Plant material (seedlings)	305	321	2823	7876	3244	9139
Środki ochrony roślin Plant protection agents	450	450	450	450	450	450
Nawozy – Fertilisers	4650	4650	4650	4650	4650	4650
Razem nakłady energii Total energy outlays	9129	9448	11719	17538	12367	18873

Źródło: badania własne – Source: own research

Uwzględniając wartość energetyczną uzyskanego plonu, która wynosiła 172,4–225,6 GJ·ha⁻¹, obliczony wskaźnik efektywności energetycznej produkcji biomasy ślazuowca wynosił od 12,0 do 20,2. Wyższy wskaźnik efektywności otrzymano w obiektach o niższych nakładach energetycznych, a więc przy zakładaniu plantacji z wysiewu nasion, najniższy zaś pomimo najwyższego plonu biomasy w obiekcie z sadzeniem rozsady w obsadzie 60 tys. szt·ha⁻¹ (tab. 6).

Analiza ekonomiczno-energetyczna wykazała, że ważnym elementem jest wybór materiału siewnego lub sadzeniowego przy zakładaniu plantacji ślazuowca. Badania powyższe jednoznacznie wskazują, iż w technologii z wysiewem 4,5 kg·ha⁻¹ uszlachetnionych nasion ślazuowca pensylwańskiego można uzyskać najwyższy współczynnik efektywności, co wskazuje na jej praktyczne stosowanie. Piskier [2008] wykazał również, że najtańszą i wymagającą najmniej-

Tabela 6. Efektywność energetyczna produkcji zrębków ślázowca pensylwańskiego loco plantacja
 Table 6. Energy effectiveness of production of Virginia fanpetals chips loco plantation

Wyszczególnienie Item	Rodzaj materiału siewnego i ilość wysiewu/wysadzenia Type of the propagules and seeding/planting density					
	nasiona seeds		sadzunki korzeniowe rooted cuttings		rozsada seedlings	
	kg·ha ⁻¹		tys. szt.–thous.·ha ⁻¹			
	1,5	4,5	20	60	20	60
Nakład energii (GJ·ha ⁻¹) Total energy outlays (GJ·ha ⁻¹)	9,1	9,4	11,7	17,5	12,4	18,9
Wartość energetyczna plonu (GJ·ha ⁻¹) Calorific value of the field (GJ·ha ⁻¹)	172,4	190,5	175,1	218,6	189,4	225,6
Zysk energii (GJ·ha ⁻¹) Energy gain (GJ·ha ⁻¹)	163,3	181,1	163,4	201,0	177,0	206,8
Energochłonność jednostkowa produkcji zrębków (MJ·t ⁻¹) Unit energy consumption for production of chips (MJ·t ⁻¹)	740,4	687,1	937,5	1121,0	911,7	1181,1
Wskaźnik efektywności energetycznej produkcji zrębków ślázowca Energy efficiency index of production of Virginia fanpetals chips	18,9	20,2	14,9	12,5	15,3	12,0

Źródło: badania własne – Source: own research

szych nakładów energii i pracy metodą zakładania plantacji ślázowca pensylwańskiego jest bezpośredni wysiew nasion do gleby. Jednakże metoda ta w niekorzystnych warunkach atmosferycznych i przy popełnianych często błędach agrotechnicznych przez rolników niesie za sobą ryzyko uzyskania niezadowolających wschodów oraz niskiej obsady i plonu roślin.

WNIOSKI

1. Koszty bezpośrednie założenia i prowadzenia plantacji ślázowca pensylwańskiego były wysokie. W obiekcie z wysiewem 1,5 kg nasion·ha⁻¹ wyniosły 4843 zł zaś przy zastosowaniu 60 tys. szt. rozsady, koszty te osiągnęły kwotę aż 33841 zł·ha⁻¹. Koszty materiału siewnego stanowiły od 37 do 89% wszystkich kosztów.
2. Koszt produkcji zrębków ślázowca pensylwańskiego loco plantacja wynosił od około 1734 do 3460 zł·ha⁻¹ w tym od 15 do 51% to koszty założenia plantacji.
3. Pomimo najwyższej wartości plonu uzyskanego po wysadzeniu 60 tys. szt.·ha⁻¹ rozsady ślázowca pensylwańskiego, nadwyżka bezpośrednia loco plantacja oraz loco zakład konwersji była tam najniższa (1053 i 274 zł). Najwyższą nadwyżkę uzyskano w obiektach z wysiewem 4,5 kg nasion·ha⁻¹ (1809 i 1139 zł).
4. Aby zrównoważyć koszty produkcji biomasy ślázowca pensylwańskiego należałoby uzyskać plon od 6,2 t·ha⁻¹ (przy wysiewie 1,5 kg·ha⁻¹ nasion) do 12,3 t·ha⁻¹ (po wysadzeniu 60 tys. szt. rozsady·ha⁻¹).

5. Wybór materiału siewnego przy zakładaniu plantacji ślazuowca pensylwańskiego jest elementem decydującym o plonowaniu i wynikach ekonomiczno-energetycznych produkcji biomasy i zrębków. Najwyższą nadwyżkę bezpośrednią oraz wskaźnik efektywności energetycznej produkcji zrębków można uzyskać z wysiewu $4,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ uszlachetnionych nasion, co rekomenduje do zakładania tą metodą plantacji w praktyce.

PIŚMIENNICTWO

- Anuszewski R. 1987. Metoda oceny energochłonności produktów rolniczych. *Zagad. Ekon. Rol.* 4: 16–26.
- Borkowska H., Styk B. 2006. Ślazuowiec pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby). Uprawa i wykorzystanie. Wyd. AR, Lublin.
- Borkowska-Królik H., Wróblewska A., Kolasa Z. 1986. *Sida* (*Sida hermaphrodita* Rusby) – nowa roślina uprawna. *Fragm. Agron.* 3(1): 37–42.
- GUS 2010. Biuletyn statystyczny. GUS Warszawa.
- Hryniewicz M., Grzybek A. 2010. Porównanie jednostkowej energochłonności skumulowanej upraw wierzby, miskanta i ślazuowca. W: *Modelowanie energetycznego wykorzystania biomasy*. Grzybek A. (red.). Wyd. ITP Falenty-Warszawa: 145–157.
- Kalembasa S., Wiśniewska B. 2006. Wpływ azotu na plon ślazuowca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita* Rusby) oraz zawartość w niej makroelementów. *Acta Agrophys.* 8(1): 127–138.
- Kuś J., Matyka M. 2009. Plonowanie wybranych gatunków roślin uprawianych na cele energetyczne w różnych warunkach siedliskowych. W: *Produkcja biomasy – Wybrane problemy*. Skrobacki A. (red.). Wyd. SGGW, Warszawa: 9–14.
- Kuś J., Matyka M. 2010. Wybrane elementy agrotechniki roślin uprawianych na cele energetyczne. W: *Nowoczesne technologie pozyskiwania i energetycznego wykorzystania biomasy*. Bocian P., Golec T, Rakowski J. (red.). Wyd. IE, Warszawa: 101–120.
- Matyka M. 2008. Opłacalność i konkurencyjność produkcji wybranych roślin energetycznych. W: *Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce*. *Studia i Raporty IUNG-PIB* 11: 113–123.
- Muzalewski A. 2010a. Koszty eksploatacji maszyn. Wyd. ITP Falenty-Warszawa: ss. 56.
- Muzalewski A. 2010b. Koszty i opłacalność produkcji roślin energetycznych – wyniki badań terenowych. W: *Modelowanie energetycznego wykorzystania biomasy*. Grzybek A. (red.). Wyd. ITP Falenty-Warszawa: 171–182.
- Piskier T. 2008. Ocena nakładów energetycznych wybranych technologii zakładania plantacji ślazuowca pensylwańskiego. *Inż. Rol.* 12(10): 193–200.
- Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J. 2008. Biopaliwa z biomasy wieloletnich roślin energetycznych. *Energetyka* 1: 77–80.
- Stolarski MJ., Szczukowski S., Tworkowski J., Krzyżaniak M. 2013. Ekonomiczne aspekty produkcji biomasy wierzby w jednorocznym i trzyletnim cyklu zbioru. *Rocz. Ekon. Rol. Rozw. Obsz. Wiejskich* 100(1): 211–219.
- Szeptycki A., Wójcicki Z. 2003. Postęp technologiczny i nakłady energetyczne w rolnictwie do 2020 r. *IBMER Warszawa*: ss. 242.
- Wójcicki Z. 2005. Metodyczne problemy badania energochłonności produkcji rolniczej. *Probl. Inż. Rol.* 1: 5–12.
- Wójcicki Z. 2007. Poszanowanie energii i środowiska w rolnictwie i na obszarach wiejskich. *IBMER Warszawa*: ss. 124.

M.J. STOLARSKI, J. TWORKOWSKI, S. SZCZUKOWSKI, J. KWIATKOWSKI, Ł. GRABAN

PROFITABILITY AND ENERGY EFFICIENCY OF PRODUCTION OF VIRGINIA FANPETALS BIOMASS DEPENDING ON THE TYPE OF PROPAGULE USED IN A PLANTATION**Summary**

The aim of the study was to analyse the production of biomass and chips of Virginia fanpetals from an economic and energy perspective depending on the type of propagule used. The analysis was conducted on the data obtained in a field experiment conducted at Bałdy in 2009–2011. Three types of propagules were used in the experiment: seeds sown at 1.5 and 4.5 kg·ha⁻¹ ha⁻¹, rooted cuttings and seedlings planted at 20 and 60 thousand plants·ha⁻¹ ha⁻¹. The direct costs of setting up a plantation of Virginia fanpetals were calculated to be 4,843 PLN·ha⁻¹ ha⁻¹ on a plot where 1.5 kg of seeds per ha were sown and as much as 33,841 PLN·ha⁻¹ ha⁻¹ on the plots where 60 thousand seedlings per ha were planted. The cost of propagules accounted for 37 to 89% of the total cost. The cost of production of chips loco plantation ranged from 1,734 to 3,460 PLN·ha⁻¹ ha⁻¹, including the cost of setting up the plantation which ranged from 15 to over 51% of the total cost. The lowest cost of production of 1 tonne of chips was incurred for the plot where 1.5 kg·ha⁻¹ ha⁻¹ of seeds were sown (140.6 PLN) and the highest was for the plot on which 60 thousand seedlings were planted per ha (216.5 PLN). The value of the biomass yield harvested ranged from 3,449 to 4,513 PLN·ha⁻¹ ha⁻¹ and the highest yield and value were on the plot where seedlings were planted at 60 thousand plants·ha⁻¹ ha⁻¹. The surplus calculated loco plantation was the lowest and amounted to 1,053 PLN·ha⁻¹ ha⁻¹. The highest value of the direct surplus was achieved in the plot where 4.5 kg·ha⁻¹ ha⁻¹ of seeds were sown (1,809 PLN·ha⁻¹ ha⁻¹). The cumulative energy outlay for the production of Virginia fanpetals biomass loco plantation was the lowest (9.1–9.4 GJ·ha⁻¹ ha⁻¹) when the plantation was set up by sowing seeds. It was higher (11.7–18.9 GJ·ha⁻¹ ha⁻¹) using technologies with vegetative propagules, especially at a higher planting density. The energy efficiency of the production of Virginia fanpetals biomass ranged from 12.0 to 20.2. Despite the highest biomass yield on the plot where seedlings were planted at 60,000 plants·ha⁻¹ ha⁻¹, a higher energy effectiveness coefficient was achieved when the plantation was set up from seeds.

Key words: Virginia fanpetals, propagules, cost of production, energy effectiveness of biomass production

Zaakceptowano do druku – *Accepted for print*: 28.02.2014

Do cytowania – *For citation*:

Stolarski M.J., Tworkowski J., Szczukowski S., Kwiatkowski J., Graban Ł. 2014. Opłacalność i efektywność energetyczna produkcji biomasy ślazuwca pensylwańskiego w zależności od stosowanego materiału siewnego. *Fragm. Agron.* 31(2): 96–106.