

EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA PRODUKCJI BIOMASY WIERZBY W JEDNOROCZNYM I TRZYLETNIM CYKLU ZBIORU*

MARIUSZ J. STOLARSKI¹, MICHAŁ KRZYŻANIAK, STEFAN SZCZUKOWSKI, JÓZEF TWORKOWSKI

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

Synopsis. W poniższych badaniach wykonano analizę efektywności energetycznej uprawy i produkcji zrębków wierzby pozyskanych w jednorocznym i trzyletnim cyklu zbioru. Skumulowane nakłady materiałowo-energetyczne poniesione na założenie plantacji uprawianej w cyklu jednorocznym (I SDB Bałdy) wyniosły 34,4 GJ·ha⁻¹, a dla roślin uprawianych w cyklu trzyletnim (II SDB Łężany) 23,5 GJ·ha⁻¹. W strukturze strumieni energii poniesionych na uprawę i produkcję biomasy w sposobie uprawy I SDB Bałdy dominowały nakłady związane z użyciem nawozów NPK (48,7%) i bezpośrednich nośników energii (31,8%). W sposobie uprawy II SDB Łężany dominowały nakłady na bezpośrednie nośniki energii (46,7%), a niższe na nawożenie mineralne (26,8%). Najwyższy wskaźnik efektywności energetycznej uprawy i produkcji zrębków (27,3) uzyskano przy maksymalnym plonie w sposobie uprawy II SDB Łężany i zbiorze w rotacji trzyletniej.

Słowa kluczowe: wierzba, nakłady materiałowo-energetyczne, wartość energetyczna plonu, wskaźnik efektywności energetycznej

WSTĘP

Energia jest nieodzownym elementem rozwoju cywilizacji. Jej różne formy wykorzystywane są do wytwarzania energii cieplnej, energii elektrycznej czy przetwarzane na pracę mechaniczną. Z uwagi na malejące zasoby i rosnące ceny paliw kopalnych należy zdywersyfikować i zabezpieczać nowe źródła energii. Jednym z nich, powszechnie i lokalnie dostępnych jest biomasa. Jej światowy potencjał na cele energetyczne szacowany jest nawet na 2900 EJ·rok⁻¹ [Rosillo Calle 2007], a w kraju od 408 do nawet 926 PJ·rok⁻¹ [Karwasz 2007, Tempel 2010].

Biomasę można pozyskiwać z dedykowanych upraw energetycznych takich jak wierzba uprawiana w krótkich rotacjach. Plon różnych gatunków i odmian wierzby pozyskiwany w różnych cyklach zbioru jest zróżnicowany, co przekłada się na jego wartość energetyczną, a następnie na efektywność energetyczną produkcji biomasy [Stolarski i in. 2011, Stolarski i Krzyżaniak 2011]. Produkcję szybko rosnących odmian wierzby cechują wysokie nakłady na założenie plantacji oraz produkcję biomasy. Są to główne czynniki hamujące zwiększenie areału tej rośliny energetycznej na gruntach rolniczych.

Celem badań było porównanie nakładów energetycznych poniesionych na założenie plantacji i produkcję biomasy oraz ocena efektywności produkcji zrębków wierzby pozyskanych w jednorocznym i trzyletnim cyklu zbioru.

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.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenia z roślinami wierzby uprawianymi w cyklu jednorocznym prowadzono w Stacji Dydaktyczno-Badawczej Bałdy (53°35' N, 20°36' E), a z roślinami uprawianymi w cyklu trzyletnim w Stacji Dydaktyczno-Badawczej Łęczany (53°58' N, 21°8' E). Obie stacje należą do Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie.

W SDB Bałdy prowadzono doświadczenie na glebie mułowo-murszowej, wytworzonej z gytii wapiennej na podłożu ilastym, klasy bonitacyjnej IVb, kompleksu przydatności rolniczej – użytki zielone średnie. Lustro wody gruntowej określono na głębokości poniżej 0,8 m. W SDB Łęczany prowadzono doświadczenie na glebie brunatnej właściwej typowej niecałkowitej, wytworzonej z gliny średniej na piasku gliniastym lekkim pylastym. Została ona zakwalifikowana do gruntu ornego klasy IVa, kompleksu pszennego wadliwego. Lustro wody gruntowej określono poniżej 1,50 m, a stosunki wodne na właściwe.

Doświadczenie obejmowało lata 2008–2011. Odmiany i klony wierzby uprawiano w dwóch gęstościach sadzenia i dwóch rotacjach zbioru: I SDB Bałdy, obsada roślin 48 tys. szt.·ha⁻¹, zbiór co roku; II SDB Łęczany, obsada roślin 25 tys. szt.·ha⁻¹, zbiór co 3 lata. Analizę efektywności energetycznej uprawy i produkcji zrębków wierzby przedstawiono na podstawie średniego, maksymalnego i minimalnego plonu świeżej biomasy uzyskanego w badanych technologiach. Zabiegi agrotechniczne związane z przygotowaniem stanowisk i założeniem doświadczeń przedstawiono w tabeli 1. Założono, że zbiór roślin wierzby będzie wykonywany jednoetapowo w cyklach jednorocznych za pomocą dwurzędowego silosokombajnu JF Double Z20 współpracującego z ciągnikiem, a w cyklach trzyletnich za pomocą kombajnu Claas Jaguar 830.

Całość poniesionych nakładów podzielono na etapy. Pierwszy z nich obejmował założenie plantacji, a drugi jej użytkowanie. Nakłady materiałowo-energetyczne na założenie oraz prowadzenie plantacji w pierwszym roku wegetacji przedstawiono w całości oraz podzielono na 19-letni okres jej użytkowania.

Skumulowane nakłady materiałowo-energetyczne uprawy wierzby 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 wierzby 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 (sadzonki) i praca ludzi. Nakłady energetyczne związane z bezpośrednimi nośnikami energii, nawozami mineralnymi, agrochemikaliami, zastosowaniem ciągników, maszyn i pracą ludzi obliczono na podstawie wskaźników energochłonności skumulowanej [Szeptycki i Wójcicki 2003, Wójcicki 2007].

Analizę efektywności energetycznej uprawy i produkcji zrębków wierzby przedstawiono na podstawie średniego, maksymalnego i minimalnego plonu świeżej biomasy uzyskanego w badanych cyklach zbioru. Iloczyn wartości opałowej świeżej biomasy oraz jej plon z powierzchni 1 ha stanowił wartość energetyczną plonu. W energetycznej ocenie technologii uprawy wierzby 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 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

Skumulowane nakłady materiałowo-energetyczne poniesione na założenie i prowadzenie 1 hektara plantacji wierzby w pierwszym roku wegetacji były wyższe w technologii I SDB Bałdy – obsada 48 tys. szt. \cdot ha⁻¹, zbiór co roku niż w technologii II SDB Łężany – obsada roślin 25 tys. szt. \cdot ha⁻¹, zbiór co trzy lata, wyniosły one odpowiednio 34442 i 23461 MJ \cdot ha⁻¹ \cdot rok⁻¹ (tab. 1). Nakłady te przeliczone na rok użytkowania plantacji wyniosły odpowiednio 1813 i 1235 MJ \cdot ha⁻¹ \cdot rok⁻¹. Niższe o około 32% nakłady materiałowo energetyczne w technologii II SDB Łężany w porównaniu do technologii I SDB Bałdy wynikały głównie ze zmniejszenia obsady roślin wierzby z 48 tys. szt. \cdot ha⁻¹ do 25 tys. szt. \cdot ha⁻¹. Podobną zależność wykazano również we wcześniejszej pracy [Stolarski 2009].

Tabela 1. Skumulowane nakłady materiałowo-energetyczne poniesione na założenie i prowadzenie plantacji wierzby w pierwszym roku wegetacji w dwóch technologiach uprawy
Table 1. Accumulated material-energy inputs incurred for establishing and running a plantation of willow in two cultivation technologies

Wyszczególnienie Specification	Technologia – Technology			
	I. SDB Bałdy: obsada roślin 48 tys. szt. \cdot ha ⁻¹ , zbiór co roku Density 48,000 plants \cdot ha ⁻¹ , annual harvest cycle		II. SDB Łężany: obsada roślin 25 tys. szt. \cdot ha ⁻¹ , zbiór co 3 lata Density 25,000 plants \cdot ha ⁻¹ , triennial harvest cycle	
	MJ \cdot ha ⁻¹	%	MJ \cdot ha ⁻¹	%
Oprysk (glifosat) – Spraying (glyphosate)	704	2,0	704	3,0
Talerzowanie (2x) – Disking (2x)	1158	3,4	1159	4,9
Orka zimowa – Winter ploughing	1458	4,2	1459	6,2
Bronowanie (2x) – Harrowing (2x)	1091	3,2	1091	4,6
Wytyczanie znaków do sadzenia Marking of planting lines	580	1,7	580	2,5
Sadzonki i sadzenie ręczne Cuttings and manual planting	13487	39,2	6984	29,8
Herbicyd i oprysk (herbicyd doglebowy) Herbicide and spraying (soil herbicide)	854	2,5	854	3,6
Pielenie (2x) – Weeding (2x)	1170	3,4	1170	5,0
Likwidacja plantacji Plantation reestablishment	12303	35,7	7825	33,4
Zbiór roślin po 1 roku wegetacji Plants harvest after first year	975	2,8	975	4,2
Transport w obrębie pola Field transport	661	1,9	661	2,8
Razem – Total	34442	100,0	23461	100,0
Na rok użytkowania plantacji 1/19 Σ Per year of the plantation use 1/19 Σ	1813	–	1235	–

Źródło: badania własne – Source: own research

Skumulowane nakłady materiałowo-energetyczne poniesione na produkcję zrębków w obu badanych technologiach były zróżnicowane i zależały od wielkości plonu świeżej biomasy wierzby krzewiastej (tab. 2). W technologii I (SDB Bałdy) zawarte one były w przedziale od 12192 MJ·ha⁻¹·rok⁻¹ przy minimalnym plonie biomasy do 18017 MJ·ha⁻¹·rok⁻¹ przy maksymalnym plonie biomasy. W technologii II SDB Łężany były one znacznie niższe.

Tabela 2. Skumulowane nakłady materiałowo-energetyczne (MJ·ha⁻¹) poniesione na produkcję zrębków wierzby krzewiastej w dwóch technologiach produkcji

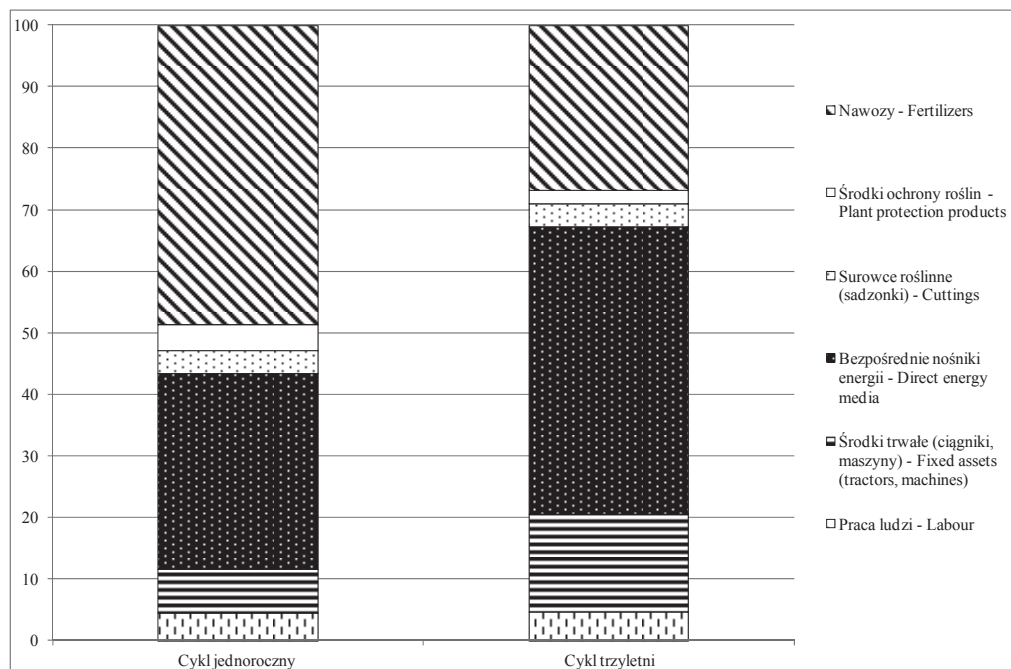
Table 2. Accumulated material-energy inputs incurred for production of willow chips in two production technologies (MJ·ha⁻¹)

Wyszczególnienie Specification	Technologia – Technology					
	I. SDB Bałdy: obsada roślin 48 tys. szt.·ha ⁻¹ , zbiór co roku Density 48,000 plants·ha ⁻¹ , annual harvest cycle			II. SDB Łężany: obsada roślin 25 tys. szt.·ha ⁻¹ , zbiór co 3 lata Density 25,000 plants·ha ⁻¹ , triennial harvest cycle		
	plon – yield					
	średni average	max.	min.	średni average	max.	min.
Praca ludzi – Labour	735,6	856,8	428,4	1381,8	2260,1	714,5
Środki trwałe (ciągniki, maszyny) Fixed assets (tractors, machines)	1171,0	1423,7	529,9	4758,2	9585,6	1094,7
Bezpośrednie nośniki energii Direct energy media	5218,0	6463,0	2060,3	13928,7	27486,5	3639,7
Surowce roślinne (sadzonki) Cuttings	600,9	600,9	600,9	1066,5	1066,5	1066,5
Środki ochrony roślin Plant protection products	692,3	692,3	692,3	692,3	692,3	692,3
Nawozy – Fertilizers	7980,0	7980,0	7980,0	7980,0	7980,0	7980,0
Razem nakłady energii Total energy input	16397,9	18016,7	12291,8	29807,5	49072,0	15187,6
Razem (MJ·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹) Total (MJ·ha ⁻¹ ·year ⁻¹)	16397,9	18016,7	12291,8	9935,8	16357,3	5062,5

Źródło: badania własne – Source: own research

W strukturze strumieni energii (rys. 1) w technologii I SDB Bałdy (zbiór roślin co roku) dominowały nakłady związane z użyciem nawozów NPK (48,7% – plon średni) i bezpośrednich nośników energii (31,8% – plon średni). Natomiast w technologii II SDB Łężany (zbiór co trzy lata) dominowały nakłady na bezpośrednie nośniki energii (46,7% – plon średni) i na nawożenie NPK (26,8% – plon średni). Dalsze pozycje nakładów w strukturze strumieni energii w obu technologiach produkcji biomasy wierzby to środki trwałe (ciągniki i maszyny) oraz praca ludzi.

Wartość energetyczna plonu biomasy wierzby pozyskanego w technologii I (SDB Bałdy, obsada roślin 48 tys. szt.·ha⁻¹, zbiór co rok) i technologii II (SDB Łężany, obsada roślin



Rys. 1. Struktura skumulowanych nakładów materiałowo-energetycznych poniesionych na produkcję biomasy wierzby w dwóch technologiach uprawy (plon średni)

Fig. 1. The structure of accumulated material-energy inputs incurred for production of willow biomass production in two cultivation technologies (average yield)

25 tys. szt.·ha⁻¹, zbiór roślin co trzy lata) była wysoce zróżnicowana i zawarta w przedziale od 19,1 do 461,4 GJ·ha⁻¹·rok⁻¹ (tab. 3). Wartość średnia tej cechy w obu badanych technologiach była zbliżona i wyniosła odpowiednio 203,1 i 209,9 GJ·ha⁻¹·rok⁻¹. Wartość energetyczna plonu maksymalnego biomasy w technologii I (SDB Bałdy) była o około 1,7-krotnie niższa niż w technologii II (SDB Łęczany). Wysoką wartość energetyczną plonu w technologii II SDB, Łęczany (461,4 GJ·ha⁻¹·rok⁻¹ – plon maksymalny) uzyskano w wyniku wprowadzenia do doświadczenia nowego klonu wierzby *S. viminalis* UWM 006. Badania potwierdziły przydatność tego klonu do uprawy w technologii II (SDB Łęczany) w zagęszczeniu 25 tys. szt. roślin·ha⁻¹ i przy zbiorze pędów w cyklu trzyletnim.

Kwaśniewski [2010] podaje, że wartość energetyczna plonu biomasy wierzby pozyskanej w rotacji trzyletniej wyniosła 226 GJ·ha⁻¹·rok⁻¹. Börjesson i Berndes [2006] informują, że w Szwecji na plantacjach polowych wartość energetyczna plonu może wynosić około 200 GJ·ha⁻¹·rok⁻¹. Natomiast Stolarski [2009] uzyskał wartość energetyczną plonu biomasy wierzby zbieranej co trzy lata w przedziale od 188 do 349 GJ·ha⁻¹·rok⁻¹. Doświadczenie z wierzbą prowadzone było na madzie próchnicznej ciężkiej w optymalnych warunkach agrotechnicznych.

Zysk energii w technologii I (SDB Bałdy) przy zbiorze roślin co roku był najwyższy (246,4 GJ·ha⁻¹·rok⁻¹) przy maksymalnym plonie. Był on o około 199 GJ·ha⁻¹·rok⁻¹ niższy niż uzyskany przy plonie maksymalnym w technologii II (SDB Łęczany) – zbiór roślin co trzy lata. Najniż-

Tabela 3. Efektywność energetyczna produkcji biomasy wierzby krzewiastej w dwóch technologiach uprawy

Table 3. Energy efficiency of willow biomass production in two cultivation technologies

Wyszczególnienie Specification	Technologia – Technology					
	I. SDB Bałdy: obsada roślin 48 tys. szt.·ha ⁻¹ , zbiór co roku Density 48,000 plants·ha ⁻¹ , annual harvest cycle			II. SDB Łężany: obsada roślin 25 tys. szt.·ha ⁻¹ , zbiór co 3 lata Density 25,000 plants·ha ⁻¹ , triennial harvest cycle		
	plon – yield					
	średni average	max.	min.	średni average	max.	min.
Plon świeżej biomasy (t·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹) Yield of fresh biomass (t·ha ⁻¹ ·year ⁻¹)	25,1	32,6	5,9	24,5	53,4	2,2
Wartość energetyczna plonu (GJ·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹) Calorific value of yield (GJ·ha ⁻¹ ·year ⁻¹)	203,1	264,4	47,5	209,9	461,4	19,1
Zysk energii (GJ·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹) Energy surplus (GJ·ha ⁻¹ ·year ⁻¹)	186,7	246,4	35,3	200,0	445,0	14,0
Energochłonność produkcji zrębków (MJ·t ⁻¹) Energy consumption of wood chips production (MJ·t ⁻¹)	654	552	2094	406	304	2277
Wskaźnik efektywności energetycznej produkcji zrębków Energy efficiency factor of wood chips production	12,4	14,7	3,9	21,2	27,3	2,8

Źródło: badania własne – Source: own research

szą energochłonność produkcji zrębków wierzby (304 MJ·t⁻¹) uzyskano w technologii II SDB Łężany przy maksymalnym plonie uzyskanym przy zbiorze roślin co trzy lata. W pozostałych obiektach doświadczenia wartość ta wahała się od 406 do 2277 MJ·t⁻¹, odpowiednio przy średnim plonie oraz minimalnym plonie w technologii II.

Wskaźnik efektywności energetycznej produkcji zrębków wierzby, wyrażony ilorazem wartości energetycznej plonu i nakładów energii na jego wytworzenie najwyższy był przy uzyskanym maksymalnym plonie (27,3) w technologii II (SDB Łężany, obsada roślin 25 tys. szt.·ha⁻¹, zbiór co trzy lata). Był on prawie 2-krotnie wyższy niż uzyskany przy maksymalnym plonie (14,7) w technologii I (SDB Bałdy, obsada roślin 48 tys. szt.·ha⁻¹ zbiór co roku). Niskie wartości wskaźnika efektywności energetycznej w przedziale od 2,8 do 3,9 uzyskano przy plonach minimalnych odpowiednio w technologii II i I.

Stolarski [2009] podaje, że wskaźnik efektywności energetycznej produkcji biomasy wierzby w trzyletniej rotacji zbioru roślin był zróżnicowany i zawarty w przedziale od 13,6 do 22,1 w zależności od gęstości sadzenia zręzków. Natomiast Kwaśniewski [2010] wykazał, że wskaźnik ten przy zbiorze wierzby z plantacji trzyletnich był bardzo zróżnicowany i dla analizowanych obiektów zawierał się przedziale 15,4–40,7.

Heller i in. [2003], Matthews [2001] i Piskier [2008] podają, że istotny wpływ na wartość wskaźnika efektywności energetycznej mają: sposób przygotowania i rodzaj stanowiska glebowego, gęstość nasadzeń zręzków na plantacji, wielkość nawożenia mineralnego, zużycie środków ochrony roślin, zabiegi agrotechniczne, a w szczególności sposób zbioru wierzby.

WNIOSKI

1. Skumulowane nakłady materiałowo-energetyczne poniesione na założenie i prowadzenie plantacji wierzby w technologii I przy zagęszczeniu roślin 48 tys. szt. \cdot ha⁻¹ wyniosły 34,4 GJ \cdot ha⁻¹, a w technologii II przy gęstości 25 tys. szt. roślin \cdot ha⁻¹ były niższe i wynosiły 23,5 GJ \cdot ha⁻¹.
2. W strukturze strumieni energii poniesionych na uprawę i produkcję biomasy w technologii I dominowały nakłady związane z użyciem nawozów NPK (48,7%) i bezpośrednich nośników energii (31,8%) a w technologii II dominowały nakłady na bezpośrednie nośniki energii (46,7%), a niższe na nawożenie mineralne (26,8%).
3. Najwyższą wartość energetyczną plonu (461 GJ \cdot ha⁻¹ \cdot rok⁻¹) i najwyższy wskaźnik efektywności energetycznej uprawy i produkcji biomasy (27,3) uzyskano przy maksymalnym plonie w technologii II przy obsadzie roślin 25 tys. szt. \cdot ha⁻¹ i zbiorze wierzby w cyklu trzyletnim.

PIŚMIENNICTWO

- Anuszewski R. 1987. Metoda oceny energochłonności produktów rolniczych. Zagad. Ekon. Rol. 4: 16–26.
- Börjesson P., Berndes G. 2006. The prospects for willow plantations for wastewater treatment in Sweden. Biomass Bioenerg. 30: 428–438.
- Heller M.C., Keoleian G.A., Volk T.A. 2003. Life cycle assessment of a willow bioenergy cropping system. Biomass Bioenerg. 25: 147–165.
- Karwasz J. 2007. Biomasa jako źródło wytwarzania energii odnawialnej w Polsce. Czysta Energia 7–8: 16–17.
- Kwaśniewski D. 2010. Efektywność energetyczna produkcji biomasy z trzyletniej wierzby. Inż. Rol. 14(5): 113–119.
- Matthews R.W. 2001. Modelling of energy and carbon budgets of wood fuel coppice systems. Biomass Bioenerg. 21: 1–19.
- Piskier T. 2008. Efektywność energetyczna uprawy wierzby w różnych warunkach glebowych. Inż. Rol. 12(2): 215–220.
- Rosillo Calle F. 2007. Overview of bioenergy. In: The biomass assessment handbook. Rosillo Calle F., de Groot P., Hemstoch S.L., Woods J. (ed.). Earthscan, London, 1–25.
- 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., Krzyżaniak M. 2011. Wartość opałowa i skład elementarny biomasy wierzby produkowanej systemem Eko-Salix. Fragm. Agron. 28(4): 86–94.
- Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J., Wróblewska H., Krzyżaniak M. 2011. Short rotation willow coppice biomass as an industrial and energy feedstock. Ind. Crop. Prod. 33: 217–223.
- Szeptycki A., Wójcicki Z. 2003. Postęp technologiczny i nakłady energetyczne w rolnictwie do 2020 r. IBMER Warszawa: ss. 242.
- Tempel S. 2010. Country studies on political framework and availability of biomass. Federal Ministry for the Environment. Nature Conservation and Nuclear Safety, Berlin: ss. 29.
- 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, M. KRZYŻANIAK, S. SZCZUKOWSKI, J. TWORKOWSKI

**ENERGY EFFICIENCY OF WILLOW BIOMASS PRODUCTION IN A ONE-
AND THREE-YEAR HARVEST CYCLE****Summary**

High energy outlay for setting up a plantation and biomass production is one of the barriers to enlarging the area of cultivation of fast-growing willow species on agricultural land. Therefore, it is important to determine the energy efficiency of willow biomass production depending on the method of cultivation and the harvest rotation of plant shoots. Therefore, the aim of the study was to compare the energy outlay for setting up a plantation and production of willow chips harvested in one- and three-year rotations. The study was conducted in 2008–2011 in two experiments on arable land at two Didactic and Research Stations (in Bałdy and Łężany) of the University of Warmia and Mazury in Olsztyn. The analysis of the energy efficiency of cultivation and production of willow chips was based on the average maximum and the minimum yields of fresh biomass obtained from 15 clones of willow cultivated by two methods: at Bałdy – planting at 48,000 plants·ha⁻¹, harvest in three annual rotations; and at Łężany – planting at 25,000 plants·ha⁻¹, harvest in one triennial rotation. The total energy outlay was divided into stages. The first stage included setting up a plantation and the second stage included its use. The cumulative material and energy input for setting up a willow plantation at the density of 48,000·ha⁻¹ (Bałdy) amounted to 34.4 GJ·ha⁻¹, it was lower when the density was 25,000 plants·ha⁻¹ (Łężany) – 23.5 GJ·ha⁻¹. The energy used for the cultivation and production of biomass at Bałdy was dominated by the use of mineral fertilisers (48.7%) and direct energy media (31.8%); at Łężany, it was dominated by direct energy media (46.7%), followed by mineral fertilisation (26.8%). The highest calorific value of the yield (461 GJ·ha⁻¹·year⁻¹) and the highest energy efficiency factor of the cultivation and production of chips (27.3) was achieved at the maximum yield at Łężany at the plant density of 25,000 per ha, when willow was harvested in a triennial rotation. Production of willow chips in the triennial rotation was more profitable from the energy perspective than their production from plants harvested every year.

Key words: willow, energy and material input, calorific value of yield, energy efficiency factor

Zaakceptowano do druku – *Accepted for print*: 28.02.2014

Do cytowania – *For citation*:

Stolarski M.J., Krzyżaniak M., Szczukowski S., Tworkowski J. 2014. Efektywność energetyczna produkcji biomasy wierzby w jednorocznym i trzyletnim cyklu zbioru. *Fragm. Agron.* 31(2): 88–95.