

EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA PRODUKCJI WIERZBY KRZEWIASTEJ W DOLINIE DOLNEJ WISŁY

STEFAN SZCZUKOWSKI, MARIUSZ STOLARSKI, JÓZEF TWORKOWSKI, MONIKA KOPACZEL

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

Synopsis. W pracy określono efektywność energetyczną uprawy wierzby krzewiastej w Dolinie Dolnej Wisły na madzie właściwej średniej pozyskiwanej w 1,2 i 3-letnich cyklach zbioru. Nakłady energii na uprawę i zbiór wierzby w trzech badanych cyklach zbioru były zbliżone i wyniosły około $10 \text{ GJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$, a wartość energetyczna uzyskanego plonu biomasy zawarta była w przedziale od 210 do $360 \text{ GJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$.

Słowa kluczowe – *key words*: wierzba – *willow*, biomasa – *biomass*, plon – *yield*, energochłonność produkcji – *power consumption*, efektywność energetyczna – *energy efficiency*.

WSTĘP

Aktualne prognozy wskazują, że już w obecnej dekadzie naszego wieku biomasa wieloletnich roślin pozyskiwana z gruntów rolniczych będzie odgrywała znaczącą rolę na rynku energetycznym [Jeżowski 2003, Szczukowski i in. 2004]. Biomasa lignocelulozowa tych roślin może być wykorzystywana na cele energetyczne jako biopaliwo stałe (zrębki, brykiet, pelet) [Stolarski i in. 2003, 2005], a w perspektywie jako biopaliwo płynne [Ciechanowicz i Szczukowski 2006].

Badania prowadzone w latach 90-tych w Szwecji wskazały, iż w naszej strefie klimatycznej wierzba krzewiasta, charakteryzuje się wysoką sprawnością energetyczną, kilkakrotnie wyższą niż uprawy jednoroczne (zboża, oleiste, okopowe) [Borjesson 1998].

Należy postawić pytanie, czy uprawa wierzby na Nizinie Kwidzyńskiej na glebach aluwialnych może być uzasadniona z punktu widzenia efektywności energetycznej jej produkcji?

Celem przeprowadzonych badań było określenie efektywności energetycznej uprawy wierzby krzewiastej w Dolinie Dolnej Wisły, na madzie właściwej średniej pozyskiwanej w 1, 2 i 3-letnich cyklach zbioru.

MATERIAŁ I METODY

Podstawą przeprowadzonych badań było doświadczenie przeprowadzone w latach 1999-2002 na Nizinie Kwidzyńskiej. Źródłowe dane metodyczne przeprowadzonego doświadczenia polowe zostały zawarte w pracy Stolarski i in. [2006].

Analizę energochłonności uprawy wierzby krzewiastej *Salix* spp. przedstawiono na podstawie średnich wartości siedmiu badanych klonów wierzby w trzech cyklach zbioru (1, 2 i 3-letnim). W analizie wyróżniono następujące etapy pracy: założenie plantacji, pielęgnacja, zbiór roślin po zakończeniu pierwszego okresu wegetacji, nawożenie, koszenie roślin z jednoczesnym rozdrabnianiem, transport oraz podatek rolny. Wykaz ciągników i maszyn wykorzystanych do założenia plantacji przedstawia tabela 1. W doświadczeniu przyjęto, że do koszenia roślin wierzby po za-

kończeniu pierwszego okresu wegetacji zastosowana będzie piła spalinowa Stihl. Natomiast w kolejnych latach do zbioru roślin w cyklach jednorocznych stosowany będzie silosokombajn Z 364, zaś w cyklach dwu- i trzyletnim kombajn Claas Jaguar 860. Do transportu zrębków przyjęto odpowiednią liczbę ciągników Ursus C-360-3P i przyczep T 604.

Energochłonność nakładów pracy żywej i uprzedmiotowionej została określona „technologiczną metodą oceny energochłonności wytwarzania produktów rolniczych (MET)” [Anuszewski 1987, Szeptycki i Wójcicki 2003, Zaremba 1986]. Nakłady energii poniesione w zużytych oleju napędowym określono na podstawie jednostkowego zużycia paliwa w $g \cdot kWh^{-1}$ [Gromadzki i in. 1993/94, Poradnik-katalog 1997]. W badaniach wyodrębniono cztery strumienie energii: pracę ludzką, bezpośrednie nośniki energii, materiały i surowce, urządzenia i środki inwestycyjne (ciągniki, maszyny, narzędzia) [Anuszewski 1987, Kisiel i in. 1988, Wielicki 1989]. Do przeliczeń nakładów na MJ wykorzystano wskaźniki energii skumulowanej [Szeptycki i Wójcicki 2003, Zaremba 1986]. Pracę ludzką wyceniono ekwiwalentem $40 MJ \cdot rbh^{-1}$ [Anuszewski 1987, Pawlak 1989].

Całość poniesionych nakładów energetycznych ($MJ \cdot ha^{-1}$) podzielono na dwa etapy. Pierwszy z nich obejmował założenie plantacji, a drugi użytkowanie w poszczególnych cyklach zbioru. W opracowaniu nie uwzględniono kosztów transportu biomasy z pola do ciepłowni. Nakłady energetyczne związane z założeniem plantacji przedstawiono w całości oraz podzielono na 16 letni okres jej użytkowania (1 rok wstępny + 5 cykli 3-letnich).

Wartość energetyczną plonu wierzby ($MJ \cdot ha^{-1}$) wyliczono z iloczynu plonu suchej masy drewna oraz jego ciepła spalania.

WYNIKI BADAŃ I DISKUSJA

Nakłady energetyczne poniesione na założenie 1 ha plantacji wierzby krzewiastej przy planowanej obsadzie 40 tys. roślin $\cdot ha^{-1}$ wynosiły $19\,975,1 MJ \cdot ha^{-1}$ (tab. 1). W prowadzonym doświadczeniu założono 16 letni okres użytkowania plantacji. W związku z tym nakłady energetyczne założenia plantacji w przeliczeniu na rok użytkowania wyniosły $1\,248,4 MJ \cdot ha^{-1}$.

Strukturę nakładów energetycznych poniesionych na założenie plantacji, uprawę i zbiór w trzech częstotliwościach zbioru przedstawiono w tabeli 2. Nakłady energetyczne wzrastały wraz z wydłużaniem cyklu zbioru. Przy corocznym zbiorze roślin wyniosły $9\,768,9 MJ \cdot ha^{-1} = 9,8 GJ \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$, natomiast przy dwu- i trzyletnim, odpowiednio $19\,898,3 MJ \cdot ha^{-1} = 9,9 GJ \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ i $31\,806,5 MJ \cdot ha^{-1} = 10,6 GJ \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$. Dla porównania nakłady na uprawę i zbiór nasion rzepaku są znacznie wyższe i w doświadczeniu prowadzonym przez Kotowskiego i Webera [2000] wyniosły one $20,9 GJ \cdot ha^{-1}$.

Największy udział w strukturze nakładów energetycznych stanowiły nawozy mineralne (NPK) od 45,5% przy zbiorze roślin co roku do 41,9% w rotacjach trzyletnich (tab. 2). Wśród stosowanych nawozów największy, prawie 70% udział miały nawozy azotowe. Drugie miejsce w strukturze nakładów zajmowały paliwa od 34,4% do 38,6%. Nakłady związane z wykorzystaniem sprzętu rolniczego kształtowały się na poziomie od 5,8% w jednorocznym do 7,7% w trzyletnim cyklu zbioru. Najwyższe nakłady związane z wykorzystaniem siły roboczej odnotowano przy zbiorze roślin co roku 7,4%, natomiast przy zbiorze roślin w cyklach dwu- i trzyletnim, stanowiły odpowiednio 5,5% i 5,4%. Udział pozostałych rodzajów nakładów energetycznych (sadzonki, środki ochrony roślin) kształtował się na poziomie od 6,4% do 7,0%.

Poniesione nakłady energetyczne odniesiono do średniego plonu suchej masy drewna wierzby (niezależnie od klonu) pozyskiwanego z powierzchni 1 hektara w poszczególnych cyklach zbioru.

Tabela 1. Nakłady energetyczne poniesione na założenie plantacji wierzby krzewiastej
 Table 1. The energy expenditure for founding a willow plantation

Wyszczególnienie <i>Specification</i>	Rodzaj <i>Type</i>		Nakłady energetyczne (MJ · ha ⁻¹) <i>Energy expenditure</i> (MJ · ha ⁻¹)
	ciągnika <i>tractor</i>	maszyny towarzyszącej <i>accompanying machine</i>	
Oprysk (<i>Roundup</i>) <i>Spray</i>	Ursus C-360-3P	Pilmet 412	149,1
Orka przedzimowa <i>Winter ploughing</i>	MTZ 82A	pług U 036/2 <i>plough</i>	1 375,6
Bronowanie <i>Harrowing</i>	MTZ 82A	brona U 358 <i>harrow</i>	541,1
Wytaczanie znaków do sadzenia <i>Marking</i>	Ursus C-360-3P	obsypnik P 447/1 <i>lister</i>	146,0
Sadzenie ręczne <i>Manual planting</i>			3 200,0
Sadzonki <i>Seedlings</i>	–	–	9 750,0
Środki ochrony roślin <i>Pesticides</i>	–	–	
<i>Roundup</i>	–	–	540,0
<i>Bladex</i>	–	–	600,0
Oprysk (<i>Bladex</i>) <i>Spray</i>	Ursus C-360-3P	Pilmet 412	149,1
Pielenie (2x) <i>Weeding</i>	Ursus C-360-3P	pielnik P 430/2 <i>hoe</i>	695,7
Ręczny zbiór roślin po zakończeniu pierwszego okresu wegetacji <i>Manual harvest after the end of the first vegetation period</i>			
Koszenie <i>Cutting</i>	piła spalinowa Stihl <i>Stihl chainsaw</i>	–	2 049,6
Transport <i>Transport</i>	Ursus C-360-3P	przyczepa T 604 <i>tractor-trailer</i>	778,9
Razem <i>Altogether</i>			19 975,1
1/16 (rok użytkowania plantacji) 1/16 (<i>one year of utilisation plantation</i>)			1 248,4

Wartość energetyczna plonu biomasy wierzby w jednorocznym cyklu zbioru wynosiła średnio 210 484 MJ · ha⁻¹, w dwuletnim 585 319, a w trzyletnim 1 081 687 MJ · ha⁻¹. Czyli odpowiednio: 210,48; 292,66; 360,56 GJ · ha⁻¹ · rok⁻¹. Kotowski i Weber [2000] w uprawie rzepaku uzyskali 2,7 t · ha⁻¹ nasion o wartości energetycznej około 70 GJ · ha⁻¹.

Efektywność energetyczna wyrażona stosunkiem wartości energetycznej plonu do ogółu nakładów energetycznych poniesionych na uprawę i pozyskanie wierzby z powierzchni 1 ha wynosiła 21,5 przy jednorocznym, 29,4 przy dwuletnim i 34,0 przy trzyletnim cyklu zbioru (tab. 2).

Tabela 2. Struktura nakładów energetycznych, wartość energetyczna plonu oraz efektywność energetyczna uprawy przy trzech częstotliwościach zbioru wierzby

Table 2. The energy expenditure structure, the crop energy rate, and the energy efficiency of the cultivation in three harvest frequency of willow

Wyszczególnienie <i>Specification</i>	Częstotliwość zbioru <i>Harvest frequency</i>					
	co rok <i>every 1 year</i>		co dwa lata <i>every 2 years</i>		co trzy lata <i>every 3 years</i>	
	MJ · ha ⁻¹	%	MJ · ha ⁻¹	%	MJ · ha ⁻¹	%
Siła robocza <i>Workforce</i>	719,9	7,4	1091,1	5,5	1716,4	5,4
Sprzęt rolniczy (ciągniki i maszyny) <i>Farming equipment (tractors and machines)</i>	564,0	5,8	1430,4	7,2	2462,8	7,7
Paliwa <i>Fuel</i>	3364,4	34,4	7135,6	35,9	12265,4	38,6
Sadzonki, środki ochrony roślin <i>Seedlings, pesticides</i>	680,6	7,0	1361,3	6,8	2041,9	6,4
Nawozy mineralne <i>Mineral fertilizers</i>	–	–	–	–	–	–
N	3080,0	31,5	6160,0	31,0	9240,0	29,1
P	560,0	5,7	1120,0	5,6	1680,0	5,3
K	800,0	8,2	1600,0	8,0	2400,0	7,5
Nakłady energetyczne – ogółem <i>Energy expenditure- altogether</i>	9 768,9	100,0	19898,3	100,0	31806,5	100,0
Plon suchej masy t · ha ⁻¹ <i>Dry matter crop t · ha⁻¹</i>	11,3	–	30,5	–	56,3	–
Wartość energetyczna plonu MJ · ha ⁻¹ <i>Crop energy rate MJ · ha⁻¹</i>	210 484,9	–	585319,7	–	1081687,4	–
Efektywność energetyczna* <i>Energy efficiency*</i>	21,5	–	29,4	–	34,0	–

*Efektywność energetyczna wyrażona ilorazem wartości energetycznej plonu do nakładów energetycznych

*Energy efficiency expressed by the ratio of the crop energy rate to the expenditure of energy

Kotowski i Weber [2000] podają, że efektywność energetyczna uprawy rzepaku ozimego wynosiła 3,7. Wskaźnik efektywności energetycznej przy uprawie wierzby krzewiastej zależy od sposobu użytkowania plantacji oraz częstotliwości zbioru biomasy. Przy zbiorze roślin wierzby co roku wynosił około 22, natomiast przy zbiorze co trzy lata około 42 [Szczukowski i in. 2004]. Macpherson [1995] podaje, że przy bardzo niskim plonie 4 t s.m. drewna wierzby krzewiastej rocznie efektywność energetyczna wynosiła średnio 17, natomiast w wariancie, w którym plon wyniósł 12 t s.m. rocznie wartość ta wynosiła średnio 50.

Uzyskane wyniki własne jednoznacznie potwierdzają wcześniejsze doniesienia autorów szwedzkich i amerykańskich preferujących uprawę wierzby na gruntach rolniczych do celów energetycznych. Przy uwzględnieniu tej koncepcji, rolnictwo regionu Niziny Kwidzyńskiej w przyszłości oprócz produkcji tradycyjnych surowców żywnościowych mogłoby również wytwarzać surowce energetyczne co przyczyniłoby się do rozwoju obszarów Doliny Dolnej Wisły.

WNIOSKI

1. Uprawiając wierzbę krzewiastą na madzie średniej w Dolinie Dolnej Wisły z 1 hektara plantacji można uzyskać plon biomasy o wartości energetycznej od 210 do 360 GJ · ha⁻¹ · rok⁻¹.
2. Nakłady energii na uprawę i zbiór wierzby w trzech badanych cyklach zbioru były zbliżone i wyniosły około 10 GJ · ha⁻¹ · rok⁻¹.
3. Efektywność energetyczna wyrażona stosunkiem wartości energetycznej plonu do nakładów energii poniesionych na uprawę i zbiór roślin wierzby była bardzo wysoka i wyniosła przy zbiorze roślin w cyklu 1-rocznym średnio 21,5, natomiast przy zbiorze w cyklu 2 i 3-letnim odpowiednio 29,4 i 34,0.

PIŚMIENNICTWO

1. Borjesson, P. 1998. Biomass in a Sustainable Energy Systems, Lund University, Sweden.
2. Ciecchanowicz, W., Szczukowski, S. (red.) 2006. Paliwa i energia XXI wieku szansą rozwoju wsi i miast. Oficyna Wydawnicza WIT. ISBN 83-88311-82-2, Ser. Monografie: s. 371.
3. Januszewski, R. 1987. Metoda oceny energochłonności produktów rolniczych. Zagad. Ekon. Roln. 4: 16–26.
4. Jeżowski, S. 2003. Rośliny energetyczne – produktywność oraz aspekt ekonomiczny, środowiskowy i socjalny ich wykorzystania jako ekobiopaliwa. Post. Nauk Roln. 3: 61–73.
5. Kotowski, W., Weber, H. 2000. Odpady roślinne źródłem energii. Gospodarka Paliwami i Energią 5: 19–22.
6. Macpherson, G. 1995. Home – Grown Energy from Short-rotation Coppice. Farming Press North America: s. 214.
7. Poradnik-Katalog – maszyn i środków technicznych dla rolnictwa i ogrodnictwa. 1997. IV Edycja. Hortpress, Warszawa, 1996.
8. Stolarski, M., Kisiel, R., Szczukowski, S., Tworkowski, J. 2003. Koszty produkcji peletów z biomasy wierzby krzewiastej. Roczn. Nauk Roln. Ser. G 90(2): 211–216.
9. Stolarski, M., Szczukowski, S., Tworkowski, J., Kwiatkowski, J., Grzelczyk, M. 2005. Charakterystyka zrębków oraz peletów (granulatów) z biomasy wierzby i ślazuwca jako paliwa. Prob. Inż. Roln. 1(47): 13–22.
10. Stolarski, M., Tworkowski, J., Szczukowski, S., Kopaczal, M. 2006. Production of willow (*Salix* spp.) biomass on arable land in short-term harvesting cycles. Pol. J. Nat. Sci. (20)1: 53–65.
11. Szczukowski, S., Tworkowski, J., Stolarski, M. 2004. Wierzba energetyczna. Plantpress Kraków: s. 46.

12. Szeptycki, A., Wójcicki, Z. 2003. Postęp technologiczny i nakłady energetyczne w rolnictwie do 2020 r. Instytut Budownictwa Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa. Warszawa: s. 242.
13. Wielicki, W. 1989. Analiza efektywności energetycznej w rolnictwie. Post. Nauk Roln. 1: 69–86.

S. SZCZUKOWSKI, M. STOLARSKI, J. TWORKOWSKI, M. KOPACZEL

**ENERGY EFFICIENCY OF WILLOW PRODUCTION
IN THE VALLEY OF LOWER VISTULA**

Summary

Research was conducted and its goal was to determine willow power consumption in the Valley of Lower Vistula on proper middle silt gained in 1, 2, and 3-year harvest cycles. The whole energy expenditure was divided into two stages. The first one included founding a plantation, and the second one concerned utilization in particular harvest cycles. The willow harvest energy rate was calculated from the product of the harvest of dry wood matter and its combustion heat. The energy expenditure for growing and harvesting willow in three different cycles was similar, estimating ca $10 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ and the energy rate of a given biomass crop was between 210 and $360 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$. Energy efficiency expressed by the ratio of the crop energy rate to the expenditure of energy for growing and harvesting willow was very high and in one-year cycle amounted at 21.5, whereas in two and three-years cycles 29.4 and 34 respectively.

Prof. dr hab. Stefan Szczukowski
Katedra Hodowli Roślin i Nasiennictwa
Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
Plac Łódzki 3; 10-727 Olsztyn
stefan.szczukowski@uwm.edu.pl