

EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA PRODUKCJI BIOMASY Z TRZYLETNIEJ WIERZBY

Dariusz Kwaśniewski

Institut Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy określono energochłonność i efektywność energetyczną produkcji biomasy na dziesięciu trzyletnich plantacjach wierzby energetycznej. Wydzielono cztery strumienie energochłonności związane ze zużyciem nośników energii, stosowanymi materiałami i surowcami, środkami inwestycyjnymi oraz nakładami pracy żywej i uprzedmiotowionej. Energochłonność produkcji biomasy z trzyletniej wierzby wynosiła średnio $24,76 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, a wskaźnik efektywności energetycznej produkcji wynosił 28,5. Dla wydzielonych dwóch grup obszarowych plantacji było to średnio 26,3 dla grupy I i 30,7 dla grupy II.

Słowa kluczowe: efektywność energetyczna, wierzba energetyczna, produkcja

Wstęp

Plon roślin wieloletnich to tylko jedno z kryteriów oceny przydatności danego gatunku do produkcji biomasy na cele energetyczne. Wydaje się, że ważniejszą kwestią jest ocena: nakładów materiałowo-energetycznych na pozyskanie biomasy danego gatunku, ilości energii zawartej w biomasie i w konsekwencji wartości wskaźnika efektywności energetycznej. Jest to istotne, ponieważ każda roślina uprawiana na cele energetyczne powinna charakteryzować się niskimi nakładami materiałowo-energetycznymi na jej pozyskanie, tak aby można było uzyskać możliwie najwyższą wartość wskaźnika efektywności energetycznej. Tylko w takim przypadku dalsze etapy konwersji biomasy do wtórnych nośników energii będą uzasadnione z ekologicznego i ekonomicznego punktu widzenia [Tworkowski i in. 2010].

W literaturze przedmiotu stosunkowo mało można spotkać materiałów dotyczących samej energochłonności produkcji biomasy z wierzby energetycznej. Dlatego też, należy prowadzić badania i analizy dotyczące wielkości ponoszonych nakładów energetycznych, aby można wskazać sposoby i możliwości ich obniżania [Kwaśniewski 2009].

Cel, zakres i metodyka pracy

W pracy określono energochłonność produkcji, a następnie efektywność energetyczną produkcji biomasy z trzyletniej wierzby. Zakresem pracy objęto badania przeprowadzone na 10-ciu wybranych plantacjach wierzby, położonych na terenie Polski południowej, w województwach: małopolskim, świętokrzyskim i podkarpackim.

Badane plantacje podzielone zostały na dwie grupy:

- grupa I – 5 plantacji, powierzchnia uprawy wierzby od 1 do 5 ha (średnio 2,24 ha),
- grupa II – 5 plantacji, powierzchnia uprawy większa niż 5 ha (średnio 14,42 ha).

Do analizy energochłonności produkcji biomasy z wierzby zastosowano metodykę energochłonności skumulowanej zgodnie z metodyką badań [wg IBMER; Anuszewski, Pawlak, Wójcicki 1979; Wójcicki 2000]. Energia, która służy bezpośrednio lub pośrednio do wytworzenia produktu, jest zużywana w czterech strumieniach obejmujących:

- strumień maszyn, urządzeń i obiektów (energochłonność inwestycyjna),
- strumień materiałów i surowców,
- strumień nośników energii,
- strumień pracy żywej.

W obliczeniach posłużono się plonem suchej masy i założono, że:

- okres użytkowania plantacji będzie wynosił 25 lat,
- w tym czasie planowane będzie 8 zbiorów,
- wilgotność w czasie zbioru wynosi 50% [Szczukowski i in. 2004; Dubas, Tomczyk 2005],
- wartość energetyczna plonu suchej masy to $19,4 \text{ GJ}\cdot\text{t}^{-1}$ [Szczukowski i in. 2004; Dubas, Tomczyk 2005].

Energochłonność pracujących na badanych plantacjach agregatów obliczono sumując energochłonność ciągnika i współpracującej z nim maszyny. Do obliczeń przyjęto wskaźniki energochłonności jednostkowej wg Wójcickiego 2000. Ilość zużytego paliwa obliczono jako iloczyn mocy nominalnej silnika, jednostkowego zużycia paliwa przez silnik, czasu potrzebnego do wykonania zabiegu i współczynnika obciążenia silnika podczas wykonania zabiegu [Karwowski 1998].

Efektywność energetyczną określono jako iloraz wartości energetycznej plonu suchej masy dla trzyletniej wierzby do energochłonności procesu produkcji wierzby energetycznej [Harasim 1997; Stolarski 2009].

Energochłonność procesu produkcji określono jako sumę nakładów energetycznych poniesionych w roku założenia plantacji i nakładów w trzecim roku uprawy. Należy tutaj zdecydowanie podkreślić, że w drugim roku uprawy wierzby na badanych plantacjach nie wykonywano żadnych zabiegów technologicznych, co wpłynęło na ograniczenie nakładów pracy i nakładów materiałowo-energetycznych.

Wyniki badań

Nakłady pracy na uprawę trzyletniej wierzby energetycznej pokazano w tabeli 1. Dla badanych plantacji wynosiły one średnio $227,8 \text{ rbh}\cdot\text{ha}^{-1}$ (praktycznie były to nakłady związane głównie ze zbiorem i transportem). Dla porównania zamieszczono także nakłady pracy w pierwszym roku uprawy (roku założenia plantacji). Wynosiły one średnio $307,5 \text{ rbh}\cdot\text{ha}^{-1}$, a wśród nich zdecydowanie dominowały prace ręczne związane głównie z ręcznym sadzeniem wierzby oraz w wielu przypadkach z ręcznym zbiorem po pierwszym roku.

Efektywność energetyczna...

Tabela 1. Nakłady pracy na uprawę wierzby energetycznej [rbh·ha⁻¹]
Table 1. Expenditures of labour for the cultivation of the energy willow [rbh·ha⁻¹]

Grupa plantacji	Parametr	Powierzchnia wierzby [ha]	Pierwszy rok (założenie plantacji)			Trzeci rok uprawy
			Nakłady pracy			
			razem	w tym prace ręczne	w tym prace maszynowe	
I	średnia	2,24	342,7	274,2	68,4	268,3
	odch. stand.	1,65	132,3	129,3	22,9	101,4
II	średnia	14,52	272,3	203,4	68,8	187,2
	odch. stand.	11,73	56,77	61,39	10,28	67,07
Ogółem	średnia	8,38	307,5	238,8	68,6	227,8
	odch. stand.	10,21	102,9	102,5	16,7	91,7

Źródło: opracowanie własne

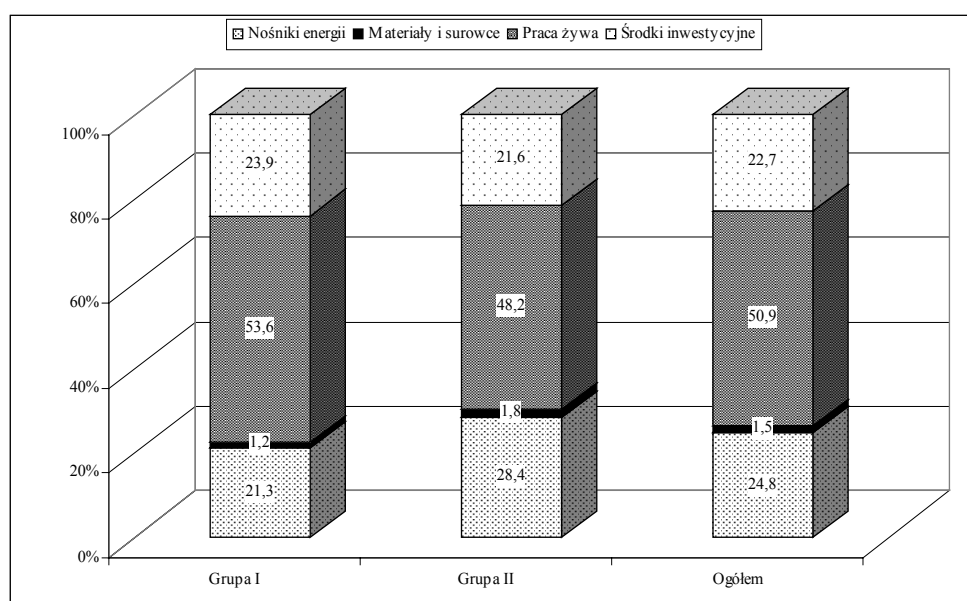
Energochłonność produkcji biomasy z trzyletniej wierzby energetycznej przedstawiono w tabeli 2, a na rysunku 1 pokazano jej strukturę. Dla badanych plantacji nakłady energetyczne na produkcję wynosiły średnio 24,76 GJ·ha⁻¹. Największe odnotowano dla plantacji najmniejszych z grupy I (28,68 GJ·ha⁻¹), natomiast najmniejsze były charakterystyczne dla plantacji największych z grupy II (20,84 GJ·ha⁻¹).

Tabela 2. Energochłonność produkcji biomasy z trzyletniej wierzby [GJ·ha⁻¹]
Table 2. Energy consumption of biomass production from a three-year-old willow [GJ·ha⁻¹]

Grupa plantacji	Parametr	Energochłonność produkcji trzyletniej wierzby				
		Nośniki energii	Materiały i surowce	Praca żywa	Środki inwestycyjne	Razem
I	średnia	5,93	0,33	15,56	6,87	28,68
	odch. stand.	1,47	0,05	5,46	2,42	8,76
II	średnia	5,60	0,36	10,00	4,88	20,84
	odch. stand.	0,88	0,05	3,26	3,25	6,65
Ogółem	średnia	5,76	0,35	12,78	5,87	24,76
	odch. stand.	1,15	0,05	5,15	2,89	8,42

Źródło: opracowanie własne

Największe nakłady związane były ze strumieniem energetycznym wynikającym z nakładów pracy żywej i uprzedmiotowionej. Średnio wynosiły one $12,78 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, a ich udział w strukturze energochłonności produkcji to aż 50,9%. Z kolei najmniejsze nakłady były charakterystyczne dla strumienia energii związanego ze zużyciem surowców i materiałów w całym procesie produkcji. Wynosiły one średnio tylko $0,35 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, co w strukturze dało zaledwie 1,5%. Były one głównie związane ze zużyciem sadzonek (sztobrów) w czasie sadzenia wierzby. Nie bez znaczenia był tutaj fakt, że na badanych plantacjach, pomimo zaleceń spotykanych w literaturze przedmiotu, bardzo sporadycznie stosowano nawożenie mineralne (3 plantacje na 10 badanych), a także środki ochrony roślin (praktycznie był to głównie Roundup stosowany w ramach przygotowania pola pod założenie plantacji energetycznej w dawce $4\text{-}5 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$).



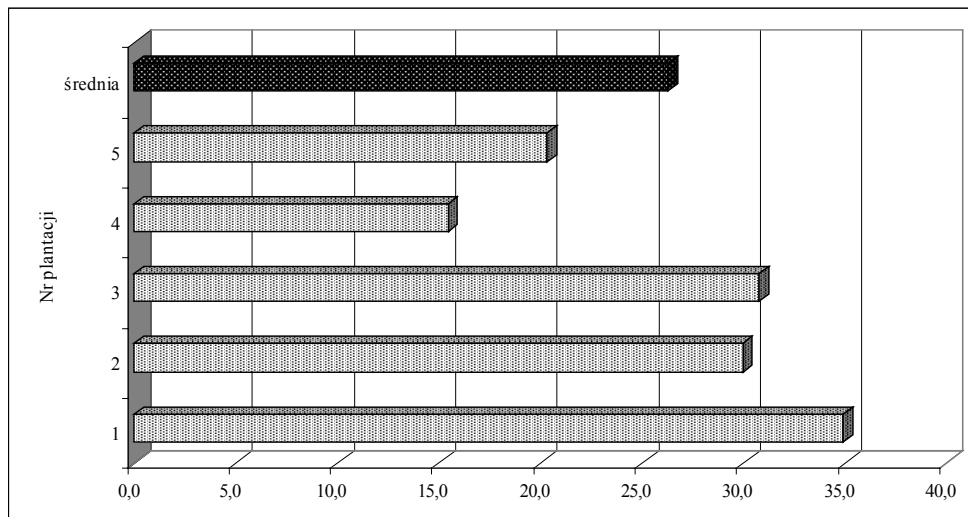
Źródło: opracowanie własne

Rys. 1. Struktura energochłonności produkcji trzyletniej wierzby
 Fig. 1. Production energy consumption structure for a three-year-old willow

W trzecim roku uprawy na badanych plantacjach plon świeżej biomasy wynosił średnio $70 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, co przy założeniu 50% wilgotności dało $35 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ tzw. suchej masy. W wydzielonych grupach plantacji plony świeżej biomasy to odpowiednio $72,1$ i $67,9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

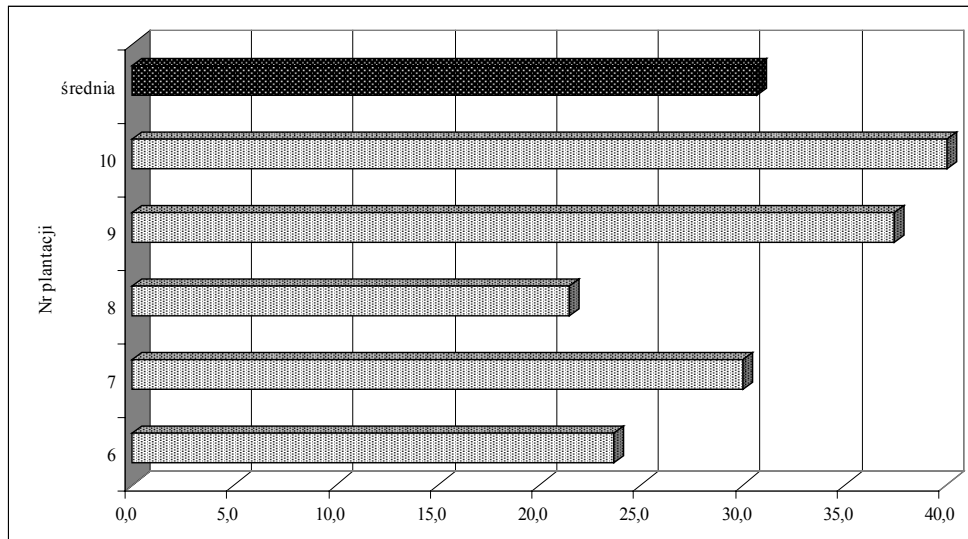
Do określenia wskaźników efektywności energetycznej produkcji biomasy obliczono wartość energetyczną plonu suchej masy na badanych plantacjach. Wynosiła ona od $699,5 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ w grupie I do $658,3 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ w grupie II (średnio $678,9 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Efektywność energetyczna...



Źródło: opracowanie własne

Rys. 2. Efektywność energetyczna produkcji biomasy z trzyletniej wierzy w grupie I
Fig. 2. Energy efficiency of biomass production from a three-year-old willow in Group I



Źródło: opracowanie własne

Rys. 3. Efektywność energetyczna produkcji biomasy z trzyletniej wierzy w grupie II
Fig. 3. Energy efficiency of biomass production from a three-year-old willow in Group II

Wskaźnik efektywności energetycznej produkcji biomasy dla plantacji w grupie I to średnio 26,3 (rys. 2). Najmniejszy wskaźnik był charakterystyczny dla plantacji nr 4. Oznacza to, że w tym obiekcie występowała najmniejsza różnica pomiędzy nakładami energetycznymi, jakie ponoszono na produkcję biomasy, a możliwą do uzyskania z tej produkcji energią.

Dla porównania, na rysunku 3, pokazano wskaźniki efektywności energetycznej produkcji biomasy na plantacjach w grupie II. Średnio, dla pięciu plantacji, wskaźnik ten był większy niż w grupie I i wynosił 30,7. Największy wskaźnik efektywności energetycznej produkcji biomasy odnotowano dla plantacji nr 10 (o powierzchni uprawy wierzby 35 ha). W tym przypadku (wśród dziesięciu badanych plantacji) ponoszono najmniejsze nakłady energetyczne na produkcję biomasy, a osiągnięto największy efekt w postaci uzyskanej energii z biomasy.

Stwierdzenia i wnioski

1. Nakłady pracy na założenie plantacji wierzby wynosiły średnio 307,5 rbh/ha. Wśród nich zdecydowanie przeważały prace wykonywane ręcznie (238,8 rbh/ha). Natomiast nakłady pracy na zbiór w trzecim roku (ściananie i transport) to średnio 227,8 rbh/ha.
2. Energochłonność produkcji trzyletniej wierzby energetycznej, dla badanych plantacji, to średnio 24,76 GJ/ha. Największy wpływ na taki wynik miał poziom nakładów energii związanych z pracą żywą i uprzedmiotowioną, które wynosiły 12,78 GJ/ha. Ich udział w strukturze energochłonności produkcji to aż 50,9%. Drugie miejsce zajmowały nośniki energii, natomiast udział materiałów i surowców był bardzo mały (zaledwie 1,5%).
3. Wskaźniki efektywności energetycznej produkcji biomasy na trzyletnich plantacjach wierzby w grupie I był bardzo zróżnicowane i mieścił się w granicach od 15,4 (w porównaniu z wynikami spotykanymi w literaturze przedmiotu jest to wynik niski) do 34,9. Natomiast w II grupie oceniany wskaźnik mieścił się w przedziale od 21,5 do 40,7. Przy najniższych wskaźnikach znaczny wpływ na ich poziom miały wysokie nakłady pracy związane z ręcznym zbiorem (z wykorzystaniem pił łańcuchowych i kos mechanicznych), a także uzyskiwane niższe plony (niż spotykane w literaturze przedmiotu) w trzecim roku użytkowania plantacji.
4. W dziewięciu, na dziesięć badanych plantacji wierzby wartość wskaźnika efektywności energetycznej przekraczała 20. Zatem uzyskane wskaźniki można uznać za wysokie i w takim przypadku dalsze etapy przetwarzania i wykorzystania biomasy z trzyletniej wierzby powinny mieć ekonomiczne uzasadnienie. Aby potwierdzić powyższe przypuszczenie należy kontynuować dalsze badania z tego zakresu.

Bibliografia

- Anuszewski R., Pawlak J., Wójcicki Z. 1979. Energochłonność produkcji rolniczej. Metodyka badań energochłonności produkcji surowców żywnościowych. IBMER Warszawa. s. 23-28.
- Dubas J. W., Tomczyk A. 2005. Zakładanie, pielęgnacja i ochrona plantacji wierzby energetycznych. Wydawnictwo SGGW. Warszawa. ISBN 83-7244-617-2.

- Harasim A.** 1997. Możliwości kompensacji ujemnego wpływu stanowiska na plonowanie i efektywność pszenicy ozimej. II Efektywność ekonomiczna i energetyczna. Pamiętnik Puławski 111. s. 73-87.
- Karwowski T.** 1998. Podstawy zespołowego użytkowania maszyn (ZUM). IBMER Warszawa. ISBN 83-86264-51-1.
- Kwaśniewski D.** 2010. Efektywność energetyczna produkcji biomasy z rocznej wierzby. Inżynieria Rolnicza 1(119). Kraków. s. 289-295.
- Stolarski M. J.** 2009. Agrotechniczne i ekonomiczne aspekty produkcji biomasy wierzby krzewiastej (*Salix* spp.) jako surowca energetycznego. Rozprawa habilitacyjna. Wyd. UWM w Olsztynie. ISBN 978-83-7299-617-6.
- Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M.** 2004. Wierzba energetyczna. Wyd. Plantpress, Sp. z o.o. Kraków. ISBN 83-85982-86-8.
- Tworkowski J., Kuś J., Szczukowski S., Stolarski M.** 2010. Uprawa roślin energetycznych. Monografia. Nowoczesne technologie pozyskiwania i energetycznego wykorzystywania biomasy. Wyd. Instytut Energetyki. Warszawa. s. 34-47.
- Wójcicki Z.** 2000. Wyposażenie i nakłady materiałowo-energetyczne w rozwojowych gospodarstwach rolniczych. IBMER Warszawa. ISBN 83-86264-62-4.

ENERGY EFFICIENCY OF BIOMASS PRODUCTION FROM A 3-YEAR-OLD WILLOW

Abstract. The work specifies the energy consumption and energy efficiency of biomass production on ten three-year-old plantations of the energy willow. Four energy consumption streams were separated in connection with consumption of energy carriers, materials and raw products used, investment funds and expenditures of labour. The energy consumption of biomass production from a three-year-old willow was 24.76 GJ ha⁻¹ on average, and the production energy efficiency index was 28.5. For separated two area groups of plantations its average value was 26.3 for Group I and 30.7 for Group II.

Key word: energetic effectiveness, power willow, production

Adres do korespondencji:

Dariusz Kwaśniewski; e-mail: Dariusz.Kwasniewski@ur.krakow.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
ul. Balicka 116B
30-149 Kraków