

EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA PRODUKCJI BIOMASY Z ROCZNEJ WIERZBY

Dariusz Kwaśniewski

Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy określono energochłonność i efektywność energetyczną produkcji biomasy na rocznych plantacjach wierzby energetycznej. Wydzielono cztery strumienie energochłonności związane ze zużyciem nośników energii, stosowanymi materiałami i surowcami, środkami inwestycyjnymi oraz nakładami pracy żywej. Energochłonność produkcji biomasy z wierzby wynosiła średnio $30,8 \text{ GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$. Natomiast wskaźniki efektywności energetycznej produkcji, dla wydzielonych trzech grup obszarowych plantacji to średnio: 1,8 dla grupy I, dla grupy II 2,7 i dla grupy III 2,8.

Słowa kluczowe: efektywność energetyczna, wierzba energetyczna, produkcja

Wstęp

Uprawa wierzby energetycznej oprócz ponoszonych kosztów na założenie plantacji, szeroko analizowanych w literaturze przedmiotu [m.in. Szczukowski i in. 2004; Dubas, Tomczyk 2005] związana jest również z ponoszeniem nakładów energetycznych. Istotnym zagadnieniem jest także efektywność energetyczna produkcji biomasy z wierzby. Jej określenie pozwala oceniać proporcje między energochłonnością produkcji biomasy, a wartością energetyczną uzyskiwanego plonu.

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.

Cel, zakres i metodyka pracy

W pracy określono energochłonność produkcji wierzby energetycznej, a następnie efektywność energetyczną produkcji biomasy z rocznej wierzby. Zakresem pracy objęto badania przeprowadzone na 30 wybranych plantacjach wierzby, położonych na terenie województw: małopolskiego, świętokrzyskiego i podkarpackiego.

Badane plantacje podzielone zostały na trzy grupy:

- grupa I – plantacje, których powierzchnia uprawy wierzby nie przekraczała 1 ha (9 obiektów, średnia powierzchnia $0,49 \text{ ha}$),

- grupa II – plantacje, których powierzchnia uprawy mieściła się w przedziale od 1,01 do 5,0 ha (10 obiektów, średnia powierzchnia 2,70 ha),
- grupa III – powierzchnia przekraczała 5 ha (11 plantacji, średnio 13,01 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:

1. Strumień maszyn, urządzeń i obiektów (energochłonność inwestycyjna).
2. Strumień materiałów i surowców.
3. Strumień nośników energii.
4. Strumień pracy żywej.

Energochłonność inwestycyjna to suma nakładów energetycznych związanych z: zakupem maszyny, częściami zamiennymi i przechowywaniem maszyny (tabela 1).

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 do energochłonności procesu produkcji wierzby [Harasim 1997]. W obliczeniach posłużono się plonem suchej masy wierzby energetycznej. Na podstawie literatury przedmiotu [Szczukowski i in. 2004; Dubas, Tomczyk 2005] założono, że zawartość wody w pędach wierzbowych w momencie zbioru wynosiła około 50%. Do ustalenia wartości energetycznej plonu w $\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ wzięto pod uwagę plon suchej biomasy i wartość energetyczną $19,4 \text{ GJ}\cdot\text{t}^{-1}$ [Szczukowski i in. 2004; Dubas, Tomczyk 2005].

Wyniki badań

Energochłonność inwestycyjną dla agregatów maszynowych wykorzystywanych na badanych plantacjach przedstawiono w tabeli 1. Ogółem dla wszystkich plantacji energochłonność ta była równa $5464,4 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Oceniając energochłonność inwestycyjną w poszczególnych grupach plantacji należy zauważyć, że największą wartością ($8336,9 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) charakteryzowała się grupa I (plantacje poniżej 1 ha). Z kolei najmniejszą, wynoszącą $3254,2 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, odnotowano dla plantacji największych z grupy III. Najmniejszy udział w strukturze energochłonności inwestycyjnej miało przechowywanie maszyn.

Kolejną składową energochłonności produkcji wierzby energetycznej są nakłady energetyczne związane z zużyciem materiałów i surowców na badanych plantacjach (tabela 2). W ich skład wchodziły: sadzonki, środki ochrony roślin, nawozy mineralne, nośniki energii (głównie olej napędowy) oraz inne tj. woda, sznurek do wiązania uformowanych wiązek po zbiorze. Energochłonność materiałów i surowców wynosiła średnio: dla sadzonek $1763,6 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, dla środków ochrony roślin $622,4 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, dla nawozów mineralnych tylko $1,0 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ oraz dla innych (woda, sznurek) $61,0 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Porównując oceniany wskaźnik w obrębie wszystkich trzech grup, największe nakłady energetyczne wynikające ze zużycia materiałów i surowców odnotowano w grupie II, zaś najmniejsze w grupie I.

Efektywność energetyczna produkcji...

Tabela 1. Energochłonność inwestycyjna wykorzystywanych agregatów

Table 1. Investment energy consumption for operated units

Grupa plantacji	Parametr	Energochłonność inwestycyjna [MJ·ha ⁻¹]			
		Zakup maszyny	Części zamienne	Przechowanie maszyn	Razem
I	średnia	5780,8	1975,9	580,2	8336,9
	odch. stand.	3953,8	1727,0	512,7	4569,1
II	średnia	2934,7	2131,0	244,7	5310,3
	odch. stand.	1203,6	1472,5	112,8	2446,3
III	średnia	1745,7	1369,4	139,1	3254,2
	odch. stand.	1195,4	449,9	108,1	1566,6
Ogółem	średnia	3352,5	1805,2	306,6	5464,4
	odch. stand.	2850,3	1297,4	340,2	3589,5

Źródło: opracowanie własne

Największe nakłady energetyczne związane ze zużyciem środków ochrony roślin ponoszono na plantacjach największych w grupie III. Wynosiły one średnio 793,8 MJ·ha⁻¹. Pomimo zaleceń spotykanych w literaturze przedmiotu, na badanych plantacjach bardzo sporadycznie stosowano nawożenie mineralne. Dlatego nakłady na stosowane nawozy były bardzo niskie.

Tabela 2. Energochłonność materiałów i surowców

Table 2. Energy consumption for materials and raw products

Grupa plantacji	Parametr	Energochłonność materiałów i surowców [MJ·ha ⁻¹]				
		Sadzonki	Środki ochrony	Nawozy mineralne	Inne	Razem
I	średnia	1561,9	418,0	0,4	60,8	1980,3
	odch. stand.	302,4	378,9	1,3	0,7	516,3
II	średnia	2031,0	618,0	1,5	60,7	2650,5
	odch. stand.	161,3	301,2	4,7	0,3	362,8
III	średnia	1685,5	793,8	1,1	61,3	2480,3
	odch. stand.	353,4	544,1	2,4	0,8	587,3
Ogółem	średnia	1763,6	622,4	1,0	61,0	2387,0
	odch. stand.	340,5	440,4	3,1	0,7	558,5

Źródło: opracowanie własne

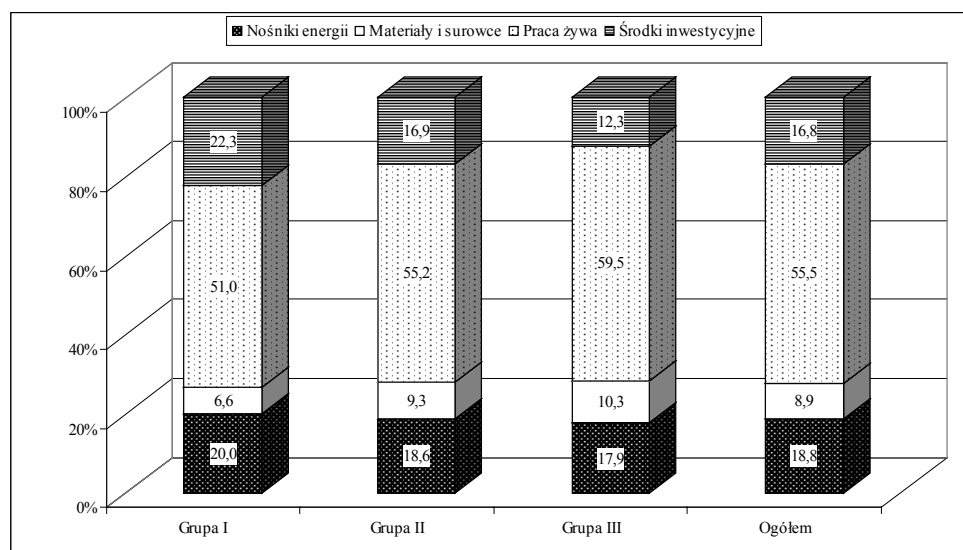
Końcową energochłonność produkcji rocznej wierzby energetycznej zamieszczono w tabeli 3. Ogółem, dla trzydziestu badanych plantacji nakłady energetyczne na produkcję wierzby wynosiły 30,8 GJ·ha⁻¹. Największe odnotowano dla plantacji najmniejszych z grupy I, gdzie wynosiły one 36,9 GJ·ha⁻¹. Natomiast najmniejsze były charakterystyczne dla plantacji największych z grupy III (25,6 GJ·ha⁻¹).

Tabela 3. Energochłonność produkcji biomasy z rocznej wierzby
 Table 3. Biomass production energy consumption for one-year old willow

Grupa plantacji	Parametr	Energochłonność produkcji [GJ·ha ⁻¹]				
		Nośniki energii	Materiały i surowce	Praca żywa	Środki inwestycyjne	Razem
I	średnia	7,4	2,0	19,2	8,3	36,9
	odch. stand.	6,6	0,5	10,8	4,6	16,0
II	średnia	5,5	2,7	17,6	5,3	31,1
	odch. stand.	1,5	0,4	7,4	2,4	10,3
III	średnia	4,6	2,5	15,3	3,3	25,6
	odch. stand.	1,4	0,6	4,5	1,6	6,0
Ogółem	średnia	5,7	2,4	17,2	5,5	30,8
	odch. stand.	3,8	0,6	7,7	3,6	11,7

Źródło: opracowanie własne

Największy wpływ na końcową energochłonność produkcji wierzby miał poziom nakładów energetycznych związanych z pracą żywą. Wynikało to z faktu, że na ocenianych plantacjach ponoszono wysokie nakłady pracy (średnio 343,3 rbh·ha⁻¹). Energochłonność pracy żywej kształtowała się ogółem dla wszystkich plantacji na poziomie 17,2 GJ·ha⁻¹, co w strukturze stanowiło aż 55,5% (rys. 1).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 1. Struktura energochłonności produkcji rocznej wierzby
 Fig. 1. Production energy consumption structure for one-year old willow

Energochłonność zużycia nośników energii to ogółem $5,7 \text{ GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ (w strukturze 18,8%). Najmniejszą odnotowano na plantacjach z grupy III, gdzie przy większych powierzchniach uprawy wierzby, były większe wydajności prac maszynowych. W tym przypadku wynosiła ona $4,6 \text{ GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$, co dało 17,9% w strukturze energochłonności końcowej. Z kolei największa, bo $7,4 \text{ GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$, przypadała na plantacjach w grupie I (20%). Najmniejszy udział w strukturze energochłonności produkcji miała energia wniesiona w postaci materiałów i surowców. Ogółem stanowiła ona tylko 8,9%.

Ogółem plon biomasy z wierzby energetycznej w pierwszym roku uprawy na badanych plantacjach wynosił średnio $7,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ świeżej biomasy, co przy założeniu 50% wilgotności dało $3,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ tzw. suchej masy. Wartość energetyczna plonu dla trzydziestu ocenianych plantacji to $67,6 \text{ GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$. Największą wartością charakteryzowała się grupa II ($78,6 \text{ GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$), z kolei najmniejszą odnotowano w grupie I ($56,7 \text{ GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Wskaźnik efektywności energetycznej produkcji rocznej wierzby dla plantacji w grupie I wynosił średnio 1,8. Dla dwóch, spośród dziewięciu plantacji w tej grupie, wskaźnik ten był mniejszy od jedności. Oznaczało to, że w tych obiektach większe nakłady energetyczne na produkcję biomasy ponoszono, niż uzyskiwano z tej produkcji energii. Wynikało to m.in. z faktu, że w tych przypadkach były najniższe plony rocznej wierzby, a duża energochłonność produkcji.

Tabela 4. Efektywność energetyczna produkcji biomasy z rocznej wierzby

Table 4. Biomass production energy efficiency for one-year old willow

Grupa plantacji	Parametr	Powierzchnia uprawy wierzby	Wartość energetyczna plonu	Wskaźnik efektywności energetycznej
		[ha]	[$\text{GJ} \cdot \text{ha}^{-1}$]	[-]
I	średnia	0,49	56,7	1,8
	odch. stand.	0,24	10,3	0,8
II	średnia	2,71	78,6	2,7
	odch. stand.	1,47	10,9	0,8
III	średnia	16,19	66,6	2,8
	odch. stand.	13,75	19,9	1,2
Ogółem	średnia	6,99	67,6	2,5
	odch. stand.	10,83	16,7	1,0

Źródło: opracowanie własne

Wskaźnik efektywności energetycznej w grupie II to średnio 2,7, natomiast w grupie III było to 2,8 (w 10 na 11 plantacji, wskaźnik efektywności energetycznej przekraczał wartość dwa).

Stwierdzenia i wnioski

1. Energochłonność środków inwestycyjnych na badanych plantacjach wierzby energetycznej wynosiła $5464,4 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Dla wyszczególnionych składowych największy udział był charakterystyczny dla nakładów związanych z zakupem maszyn. W tym przypadku średnio dla wszystkich grup było to $3352,5 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, co w strukturze stanowiło 55,7%. Zdecydowanie najmniejsze nakłady energetyczne, odnotowano dla przechowywania sprzętu (średnio $306,6 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$), a ich udział w strukturze to zaledwie 5%.
2. Nakłady energetyczne dla wykorzystanych materiałów i surowców ogółem wynosiły $2387,0 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Zdecydowanie przeważały tutaj nakłady energii skumulowane w sadzonkach ($1763,6 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$), co w strukturze dało 76%. Na drugim miejscu była energochłonność środków ochrony roślin - $622,4 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ (24%).
3. Energochłonność produkcji rocznej wierzby energetycznej, dla badanych plantacji to średnio $30,8 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Największy wpływ na taki wynik miał poziom nakładów energii związanych z pracą żywą i uprzedmiotowioną, które wynosiły $17,2 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Ich udział w strukturze energochłonności to aż 55,5%. Z kolei najmniejsze nakłady energii były skumulowane w zużywanych materiałach i surowcach ($2,3 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$). Stanowiły one 8,9% wszystkich nakładów.
4. Wskaźniki efektywności energetycznej produkcji biomasy na rocznych plantacjach wierzby wynosiły średnio: 1,8 dla I grupy, 2,7 dla II grupy i 2,8 dla III grupy. W 28 na 30 badanych plantacji oceniany wskaźnik był większy od jedności. Oznaczało to, że energia uzyskiwana z wyprodukowanej biomasy była większa, niż ponoszone nakłady energetyczne. Jest to wynik pozytywny, ale uzyskane wskaźniki należy ocenić jako niskie. Należy jednak pamiętać, że wierzba energetyczna jest rośliną wieloletnią, a dokonana w pracy analiza dotyczyła efektywności energetycznej wierzby rocznej - przy niskim plonie suchej masy.

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 wierzb energetycznych. Wydawnictwo SGGW. Warszawa.
- 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.
- Szczukowski S., Tworowski J., Stolarski M. 2004. Wierzba energetyczna. Wyd. Plantpress, Sp. z o.o. Kraków. ISBN 83-85982-86-8.
- Wójcicki Z. 2000. Wyposażenie i nakłady materiałowo energetyczne w rozwojowych gospodarstwach rolniczych. IBMER Warszawa. ISBN 83-86264-62-4.

BIOMASS PRODUCTION ENERGY EFFICIENCY FOR ONE-YEAR OLD WILLOW

Abstract. The paper specifies energy consumption and energy efficiency of biomass production in one-year old energy willow plantations. Four energy consumption streams were separated, connected with consumption of energy carriers, materials and raw products being used, investment resources and labour amounts. On average, biomass production energy consumption for willow reached 30.8 GJ·ha⁻¹. Whereas, average production energy efficiency indexes for separated three plantation area groups were as follows: 1.8 for group I, 2.7 for group II, and 2.8 for group III.

Key words: energy efficiency, energy 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 116 B
30-149 Kraków