

EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA PRODUKCJI BIOMASY W TEORII I PRAKTYCE

Streszczenie

W opracowaniu zamieszczono teoretyczny algorytm obliczania wielkości nakładów energetycznych oraz efektywności energetycznej produkcji biomasy. Wartości obliczone w oparciu o zaproponowany algorytm porównano z wartościami uzyskanymi z badań polowych. Opracowany algorytm pozwala na poprawne oszacowanie wartości badanych parametrów.

Wstęp

Podjmując uprawę roślin przeznaczonych do produkcji bioenergii szczególnego znaczenia nabiera dążenie do maksymalizacji efektów energetycznych ich produkcji [8]. W pracach wielu autorów poruszany jest problem wielkości nakładów energetycznych koniecznych do wyprodukowania biomasy [4, 12]. Powszechnie uznaje się, że w obliczeniach należy uwzględnić nakłady energetyczne pochodzące ze wszystkich źródeł [5]. Należy to do wielu problemów, szczególnie podczas obliczeń nakładów energetycznych ponoszonych na zbiór roślin [10]. Stosowane sposoby obliczania wielkości nakładów energetycznych i efektywności energetycznej produkcji są dostosowane do oceny prowadzonych plantacji lub doświadczeń [7, 13]. Kłopotliwe jest natomiast teoretyczne oszacowanie wielkości nakładów energetycznych, które będzie musiał ponieść producent biomasy. Podjmując decyzję o rozpoczęciu produkcji biomasy należy wybrać gatunek rośliny i technologię jej produkcji. Wybór ten może być ułatwiony przez oszacowanie wielkości nakładów i efektywności energetycznej produkcji.

Celem pracy było opracowanie i weryfikacja algorytmu umożliwiającego teoretyczne obliczenie efektywności energetycznej produkcji biomasy.

Warunki i metodyka badań

Badania, dotyczące efektywności energetycznej uprawy topinamburu z przeznaczeniem na opał, przeprowadzono w latach 2005-2009 na glebie średniozwięzłej IVa klasy bonitacyjnej. W latach 2005-2007 prowadzono je w układzie ścisłego doświadczenia polowego, w którym opracowano algorytm obliczeń efektywności energetycznej produkcji

biomasy. Do budowy algorytmu użyto wzorów i zależności podanych w dalszej części artykułu. Weryfikację algorytmu przeprowadzono w latach 2008-2009. W tym celu założono doświadczalne łanowe o powierzchni 1 ha, w którym dokonano obliczeń efektywności energetycznej produkcji według opracowanego algorytmu. Uzyskane wyniki porównano z wynikami przeprowadzonych pomiarów bezpośrednich. Pomiar bezpośredni dotyczył określenia wydajności maszyn oraz wielkości nakładów pracy ludzkiej (określono je za pomocą chronometrażu uproszczonego) oraz ilości zużytego paliwa (określono poprzez pomiar bezpośredni). Sposób obliczenia wielkości nakładów energetycznych wnoszonych w formie materiałów oraz agregatów nie był różnicowany.

Technologia uprawy topinamburu została umownie podzielona na dwa etapy.

W skład etapu pierwszego, określanego jako założenie plantacji, weszły następujące zabiegi agrotechniczne: orka, bronowanie, talerzowanie, transport i sadzenie bulw.

W skład etapu drugiego (prowadzenie plantacji), który powtarzany był corocznie, weszły: nawożenie mineralne, załadunek i transport kompostu z osadu ściekowego, nawożenie kompostem w dawce 5 t·ha⁻¹·s.m., pielnie i rzędowanie roślin, zbiór (wykonany sieczkarnią jednorzędową przyczepianą) i transport plonu.

Uzyskane wyniki badań poddano analizie statystycznej, a istotność różnic określono na poziomie $\alpha = 0,05$.

Algorytm obliczeń

Wielkość nakładów energetycznych ponoszonych na produkcję biomasy określono stosując metodykę energochłonności skumulowanej [1, 14]:

$$E_{tech} = \sum E_{mat} + \sum E_{agr} + \sum E_{pal} + \sum E_r \quad [\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}]. \quad (1)$$

Oznaczenia

E_{cg} - energochłonność pracy ciągnika [$\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$],
 E_e - wskaźnik efektywności energetycznej,
 E_m - energochłonność pracy maszyn [$\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$],
 E_{mat} - energochłonność badanej technologii [$\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$],
 f - wskaźnik obciążenia silnika podczas wykonywania zabiegu,
 G_m - ładowność przyczepy [m^3],
 h - czas potrzebny do wykonania zabiegu [h],
 i - ilość środków transportowych potrzebnych do odbierania plonu [szt.],
 M_c - sumaryczna masa ciągników użytych do wykonania danego zabiegu [kg],
 M_m - sumaryczna masa maszyn użytych do wykonania danego zabiegu [kg],
 N_n - moc nominalna silnika [kW],
 P_e - wartość energetyczna plonu [$\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$],
 q - jednostkowe zużycie paliwa przez silnik [$\text{kg} \cdot \text{kWh}^{-1}$],
 Q - ilość zużytego paliwa [kg],
 Q_p - plon biomasy [$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$],
 Q_{ps} - plon biomasy [$\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$],
 S - droga transportu [m]

T_{nc} - normatywna liczba godzin pracy ciągnika w okresie jego użytkowania [h],
 T_{mm} - normatywna liczba godzin pracy maszyny w okresie jej użytkowania [h],
 t_{ob} - czas obiegu środka transportowego odbierającego plon [h],
 t_{w} - czas wyładunku [s],
 t_{zb} - czas zbioru [$\text{h} \cdot \text{ha}^{-1}$],
 W_{cc} - wskaźnik jednostkowej energochłonności ciągników [$\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$],
 W_{em} - wskaźnik jednostkowej energochłonności maszyny [$\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$],
 W_r - wydajność sieczkarni [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],
 W_e - wskaźnik jednostkowej energochłonności części zamiennych [$\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$],
 W_{zb} - wydajność sieczkarni podczas zbioru [$\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$],
 W_{op} - wydajność eksploatacyjna agregatu podczas wykonywania danego zabiegu [$\text{ha} \cdot \text{h}^{-1}$],
 v_1, v_2 - prędkość przejazdu z ładunkiem i bez ładunku [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],
 Z_c - masa zużytych części zamiennych w ciągniku [kg],
 Z_m - masa zużytych części zamiennych w maszynie [kg],
 ΣE_{agr} - suma energochłonności stosowanych agregatów [$\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$],
 ΣE_{mat} - suma energochłonności stosowanych materiałów [$\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$],
 ΣE_{pal} - suma energochłonności zużytego paliwa [$\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$].

Ponieważ określenie ilości energii wniesionej w postaci pracy ludzkiej (ΣE_e) w warunkach polowych nie było możliwe do wyznaczenia, pominięto ten składnik energii skumulowanej a wzór przyjął postać:

$$E_{tech} = \sum E_{mat} + \sum E_{agr} + \sum E_{pal} \quad [\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}] \quad (2)$$

W celu określenia energochłonności pracy ciągnika wykorzystano zależność [1]:

$$E_{cg} = \frac{M_c \cdot W_{ec} + Z_c \cdot W_z}{T_{nc} \cdot W_{07}} \quad [\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}], \quad (3)$$

wskaźniki energochłonności jednostkowej według [14], wydajność maszyn dla powierzchni 1 ha według [9]. Analogiczny wzór zastosowano do obliczenia energochłonności pracujących maszyn [1]:

$$E_m = \frac{M_m \cdot W_{em} + Z_m \cdot W_z}{T_{nm} \cdot W_{07}} \quad [\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}], \quad (4)$$

wskaźniki energochłonności jednostkowej według [14]. Energochłonność pracujących agregatów wyliczono sumując energochłonność ciągnika i współpracującej z nim maszyny.

Ilość zużytego paliwa wyliczono według wzoru i wskaźników Karwowskiego [3]:

$$Q = N_s \cdot q \cdot h \cdot f \quad [\text{kg}]. \quad (5)$$

Liczbę potrzebnych środków transportowych określono wg zależności zaproponowanej przez Kuczewskiego i Majewskiego [6]:

$$i_t = \frac{W_s \cdot Q_p}{G_{ps}} \cdot \left(\frac{S}{v_1} + \frac{S}{v_2} + t_{ws} \right) + 1 \quad [\text{szt}]. \quad (6)$$

Określając czas konieczny do zbioru plonu posłużono się zależnością Kuczewskiego i Majewskiego [6]:

$$t_{zb} = \frac{t_{ob} \cdot Q_{pb}}{G_{ps} \cdot i_t} \quad [\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}]. \quad (7)$$

Jako wydajność siewczarni (W_{zb}) przyjęto odwrotność czasu potrzebnego do skoszenia plonu:

$$W_{zb} = \frac{1}{t_{zb}} \quad [\text{ha}\cdot\text{h}^{-1}]. \quad (8)$$

Energię wniesioną w formie materiałów wyliczono przez przemnożenie masy materiału zużytego w trakcie produkcji przez wartość energii w nim zawartej, przyjmując dla nawozów azotowych $77 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ N}$, potasowych $10 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$, fosforowych $15 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$, kompostu z osadu ściekowego $0,4 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, dla oleju napędowego $48 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ [14].

Tabela. Porównanie wielkości nakładów energetycznych oraz efektywności energetycznej produkcji biomasy (średnio w latach 2008, 2009)

Table. Comparison of the quantities of energy outlays and the energy efficiency of biomass production (average values for the years 2008 and 2009)

Wyszczególnienie	Wartości teoretyczne	Wartości empiryczne
Wielkość energii zużytej na założenie plantacji ($\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	4,38	4,04
w tym:		
wniesionej w formie paliwa ($\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	2,96	2,63
wniesionej w formie agregatów ($\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	1,42	1,41
Wielkość energii zużytej na prowadzenie plantacji ($\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	8,61	7,87
w tym:		
wniesionej w formie paliwa ($\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	5,54	5,08
wniesionej w formie agregatów ($\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	3,07	2,79
Skumulowany nakład energii ($\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	18,04	17,26
Wartość energetyczna plonu ($\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	77,74	
Wskaźnik efektywności energetycznej produkcji	4,31	4,50

Wskaźnik efektywności energetycznej obliczono według zależności podanej przez Harasima [2]:

$$E_e = \frac{P_e}{E_{tech}} \quad (9)$$

Zawartość wody w plonie oznaczono metodą suszarkowo-wagową susząc próby w temperaturze 80°C i dosuszając do stałej masy w temperaturze 105°C . Następnie plon biomasy przeliczono na plon suchej masy i przemnożono przez wartość opałową suchej masy topinamburu wynoszącą $15,93 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ [11] wyznaczając w ten sposób wartość energetyczną plonu (P_e) w $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Uzyskane wyniki badań dotyczących plonowania poddano analizie statystycznej z wykorzystaniem modelu analizy wariancji, a istotność różnic określono za pomocą testu t Studenta na poziomie $\alpha_{0,05}$.

Wyniki badań

Stosując algorytm obliczeń zaproponowany w powyższym opracowaniu stwierdzono, że założenie plantacji topinamburu pochłania $4,38 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ energii (tabela). Większość energii wniesiona była w formie paliwa ($2,96 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$), energia wniesiona w formie agregatów wyniosła $1,42 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Przeprowadzone badania weryfikacyjne wykazały, że na założenie plantacji trzeba zużyć o około 8% mniej energii niż wykazały to obliczenia teoretyczne.

Suma energii koniecznej do prowadzenia plantacji tj. nawożenia, pielęgnacji, zbioru i transportu plonu wyliczona w sposób teoretyczny wyniosła $8,61 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Wartość energii wniesionej w formie paliwa wyniosła $5,54 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, natomiast w formie agregatów $3,07 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Analiza empiryczna wykazała, że do prowadzenia plantacji topinamburu zużyto o 8,6% mniej energii niż wykazały to obliczenia teoretyczne. Wartość energii wniesiona w formie materiałów wyniosła $9,0 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ i nie różniła się w obydwu sposobach obliczeń.

Skumulowany nakład energii, uwzględniający oprócz energii wniesionej w formie paliwa i agregatów również energię wniesioną w formie materiałów, wyniósł według obliczeń teoretycznych $18,04 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ (tabela), natomiast wg badań empirycznych $17,26 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Wartość obliczona teoretycznie była większa o 6,6%. Parametrem podsumującym analizy obliczeń i badań energetycznych jest współczynnik efektywności energetycznej. Określony w oparciu o wyniki obliczeniowe wyniósł 4,31 i był mniejszy od wartości stwierdzonej doświadczalnie o 4,2%.

Analiza statystyczna przeprowadzonych obliczeń nie potwierdziła istotności występujących różnic.

Wnioski

1. Przeprowadzone badania potwierdziły poprawność przyjętego algorytmu.
2. Opracowany algorytm może być wykorzystywany do teoretycznej oceny efektywności energetycznej produkcji biomasy.
3. Stosowanie algorytmu umożliwi wybór najbardziej efektywnej technologii produkcji biomasy przeznaczonej na cele energetyczne.

Literatura

- [1] Anuszewski R., Pawlak J., Wójcicki Z.: Energochłonność produkcji rolniczej. Metodyka badań energochłonności produkcji surowców żywnościowych. IBMER Warszawa, 1979.
- [2] Harasim A.: Możliwości kompensacji ujemnego wpływu stanowiska na plonowanie i efektywność produkcji pszenicy ozimej. II Efektywność ekonomiczna i energetyczna. Pam. Puł., 1997, 111, s. 73-87.
- [3] Karwowski T.: Podstawy zespołowego użytkowania maszyn (ZUM). IBMER Warszawa, 1998.
- [4] Kallivroussis L., Natsis A., Papadakis G.: The energy balance of sunflower production for biodiesel in Greece. Biosystem Eng., 2002, vol. 81, nr 3, s. 347-354.
- [5] Klikocka H.: Efektywność energetyczna różnych sposobów uprawy roli i nawożenia naturalnego w produkcji ziemniaka. Acta Agrophysica, 2006, 8 (2), s. 385-393.
- [6] Kuczewski J., Majewski Z.: Eksploatacja maszyn rolniczych, tom 1. PWRiL Warszawa, 1985. ISBN 83-09-00707-8.
- [7] Kwaśniewski D.: Ocena wybranych technologii uprawy wierzby energetycznej w aspekcie ponoszonych nakładów. Inżynieria Rolnicza, 2006, 3 (78), s. 217-224.
- [8] Michałek R., Kosek J.: Uwagi o metodach liczenia energochłonności produkcji rolniczej rachunkiem ciągnionym. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 1985, 280, s. 9-23.
- [9] Muzalewski A.: Koszty eksploatacji maszyn. Biuletyn, Nr 21, IBMER, Warszawa, 2006.
- [10] Pasyniuk P.: Problemy organizacji zbioru wierzby krzewiastej na cele energetyczne. Problemy Inżynierii Rolniczej, 2009, 1 (63), s.105-112.
- [11] Piskier T.: Analiza wartości opałowej topinamburu. Raport badania własne, 2004.
- [12] Roszkowski A.: Efektywność energetyczna różnych sposobów produkcji i wykorzystania biomasy. Studia i Raporty IUNG i PIB, 2008, 11, Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce, s. 101-112.
- [13] Węgrzyn A., Zając G.: Wybrane aspekty badań efektywności energetycznej technologii produkcji biomasy roślinnej. Acta Agrophysica, 2008, 11 (3), s. 799-806.
- [14] Wójcicki Z.: Wyposażenie i nakłady materiałowo energetyczne w rozwojowych gospodarstwach rolniczych. IBMER, Warszawa, 2002. ISBN 83-86264-62-4.

ENERGY EFFICIENCY OF BIOMASS PRODUCTION IN THEORY AND IN PRACTICE

Summary

The present study includes a theoretical algorithm for the calculation of the quantity of energy outlays and the energy efficiency of biomass production. The values that were calculated on the basis of proposed algorithm were compared with the values that were obtained as a result of field research. Developed algorithm permits a correct assessment of the quantities of the parameters under investigation.



Podręcznik pt. **MASZyny ROLNICZE** adresowany jest do szerokiego grona pracowników dydaktycznych i słuchaczy uczelni przyrodniczych oraz użytkowników maszyn rolniczych. Zawarto w nim podstawowe informacje z przedmiotu "Technika rolnicza i eksploatacja maszyn rolniczych" wykładanego na ww. Uczelniach. Problematyka wykładów tego przedmiotu obejmuje charakterystykę szerokiego i niezwykle różnorodnego asortymentu maszyn i urządzeń technicznych. Wyczerpujące omówienie czy opisanie całości materiału jest niemożliwe. Z tych też względów w podręczniku przedstawiono ściśle wyselekcjonowane partie materiału - informacje podstawowe oraz te, które są dziełem autorów lub powstały przy znaczącym ich udziale. Stąd też, pomimo że podręcznik ma charakter pozycji dydaktycznej, nosi znamiona pracy monograficznej. Materiał uzupełniający stanowi literatura zamieszczona na końcu każdego z rozdziałów.

Wydawca:

Branżowy Ośrodek Informacji Naukowej, Ekonomicznej i Normalizacyjnej
Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych
60-963 Poznań, ul. Starołęcka 31
tel. 061 87-12-200; fax 061 879-32-62;
e-mail: office@pimr.poznan.pl; Internet: <http://www.pimr.poznan.pl>