

WYBRANE ASPEKTY BADAŃ EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ TECHNOLOGII PRODUKCJI BIOMASY ROŚLINNEJ

Adam Węgrzyn, Grzegorz Zajac

Wydział Inżynierii Produkcji, Uniwersytet Przyrodniczy
ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin
e-mail: adam.wegrzyn@up.lublin.pl

Streszczenie. Racjonalną działalność gospodarczą cechuje oszczędne oraz wydajne wykorzystanie zasobów pracy ludzkiej i środków produkcji, a przede wszystkim dążenie do maksymalizacji efektów energetycznych prowadzonej produkcji. W strukturze wykorzystania odnawialnych źródeł energii zdecydowanie największy udział ma biomasa. Coraz większą część jej produkcji stanowią plony uprawianych na cele energetyczne roślin jednorocznych, niektórych gatunków traw oraz szybko rosnących roślin drzewiastych. Wynika to przede wszystkim z opłacalności produkcji biomasy na cele energetyczne oraz możliwości zagospodarowania nadwyżek produkcji roślinnej. Ocenę energochłonności technologii produkcji biomasy roślinnej umożliwia metoda analizy procesu. W pracy przeanalizowano zasadnicze problemy metodyczne, które związane są z oceną efektywności energetycznej stosowanych w praktyce technologii produkcji roślinnej. Omówiono rodzaje nakładów energetycznych ponoszonych w procesach produkcji rolniczej, a także czynniki decydujące o ich wielkości i efektywności.

Słowa kluczowe: biomasa, produkcja, technologia, energochłonność

WSTĘP

Najstarszym, znanym człowiekowi, źródłem energii jest biomasa organizmów roślinnych. Jeszcze pod koniec XVIII wieku około 90% potrzeb energetycznych ludzkości pokrywało drewno, a trzysta lat temu cała zużywana energia pochodziła ze źródeł odnawialnych. Obecnie koniecznym staje się pozyskiwanie energii ze źródeł alternatywnych, spośród których najczęściej na świecie wykorzystuje się biomasę. W Polsce jej udział w strukturze wykorzystania odnawialnych źródeł energii przekracza 90% (Gradziuk 2003). Coraz większy udział w produkcji biomasy stanowią plony uprawianych na cele energetyczne roślin jednorocznych (zboż, konopii, kukurydzy,

rzepaku, słonecznika), niektórych gatunków traw oraz szybko rosnących roślin drzewiastych (Kościk 2003, Stolarski i in. 2004). Wynika to przede wszystkim z opłacalności produkcji biomasy na cele energetyczne (Szczukowski i Tworkowski 2004), co daje szansę na poprawę sytuacji panującej w rolnictwie. Pozwala także na zagospodarowanie nadwyżek produkcji roślinnej i powstających odpadów organicznych, a przede wszystkim daje perspektywę utworzenia nowych miejsc pracy.

Zasadniczymi cechami racjonalnej działalności gospodarczej jest oszczędne i wydajne wykorzystanie zasobów pracy ludzkiej i środków produkcji. Dlatego też, głównym jej celem powinno być dążenie do maksymalizacji efektów energetycznych prowadzonej produkcji, przy jak najmniejszych nakładach. Ocenę energochłonności technologii produkcji biomasy umożliwia metoda analizy procesu, która w pierwszym etapie polega na ustaleniu ciągu kolejnych zabiegów i operacji technologicznych niezbędnych do wytworzenia końcowego produktu. Następnie określamy nakłady energetyczne ponoszone w operacjach technologicznych w różnej formie (Banasiak 1999, Bibrowski 1983, Michałek i Kosek 1985, Wójcicki 2000), tj.: trwałych środków produkcji, zużytych surowców i materiałów, bezpośrednich jej nośników oraz robocizny.

PROBLEMY OBLICZEŃ NAKŁADÓW ENERGII ZE ŚRODKÓW PRODUKCJI

Określenie nakładów energii pochodzących z trwałych środków produkcji narażona jest na wiele problemów, a uzyskane wyniki najczęściej nie mogą być porównywane ponieważ obliczenia prowadzone są dla różnych technicznych i technologicznych uwarunkowań produkcji. W technologiach produkcji roślinnej (Szepczycki 2002) energochłonność środków produkcji (E_p) jest sumą nakładów energii z pracy zastosowanych ciągników, maszyn i narzędzi oraz środków transportowych. W związku z tym, że energia pochodząca ze środków trwałych pozyskiwana jest przez wiele lat (godzin) zanim określimy tę jej część, która przypada na badaną technologię produkcji potrzeba najpierw obliczyć jej nakłady w ciągu jednego roku, a najlepiej jednej godziny użytkowania środków produkcji (E_{hp}).

Dla agregatu składającego się z ciągnika i maszyny można przy tym skorzystać z następującej ogólnej zależności:

$$E_{hp} = E_{hc} + E_{hm} = \frac{(m_c \cdot e_c + m_{zc} \cdot e_z)}{T_{hc}} + \frac{(m_m \cdot e_m + m_{zm} \cdot e_z)}{T_{hm}}, \text{ (MJ} \cdot \text{h}^{-1}) \quad (1)$$

Wprowadzono w niej następujące oznaczenia:

E_h – energia przekazana w ciągu jednej godziny użytkowania ciągników (E_{hc}) oraz maszyn i narzędzi (E_{hm}), ($\text{MJ} \cdot \text{h}^{-1}$),

m – masa ciągników (m_c) oraz maszyn i narzędzi (m_m), (kg),

m_z – masa części zamiennych zużytych do naprawy ciągników (m_{zc}) oraz maszyn i narzędzi (m_{zm}) w okresie ich użytkowania, (kg),

e – współczynnik przeliczeniowy energochłonności produkcji ciągników (e_c), maszyn lub narzędzi (e_m), ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$),

T_h – wykorzystanie w okresie użytkowania ciągników (T_{hc}), maszyn lub narzędzi (T_{hm}), (h).

Jeżeli w powyższym wzorze zamiast określonego w godzinach czasu wykorzystania środków trwałych wstawilibyśmy założoną liczbę lat użytkowania, to nakłady energii wyrażone zostałyby w $\text{MJ}\cdot\text{rok}^{-1}$. Biorąc jednak pod uwagę to, że czas wykorzystania w okresie użytkowania (T_h) jest iloczynem godzin wykorzystania rocznego i lat użytkowania można uzyskać wynik wyrażony w odpowiednich do prowadzonych obliczeń jednostkach.

Przy obliczaniu energii zużywanej w postaci pracy agregatów maszynowych podczas danego zabiegu technologicznego (E_{ip}), w czasie niezbędnym do jego przeprowadzenia (t_p) na określonej powierzchni plantacji (P), skorzystać można natomiast z następującego wzoru:

$$E_{ip} = \frac{E_{hp} \cdot t_p}{P} = E_{hp} \cdot N_{ip}, (\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}) \quad (2)$$

Nakłady czasu pracy środków trwałych (N_{ip}) zależą natomiast bezpośrednio od wydajności ich pracy. Nie wydaje się jednak słuszne obliczanie wydajności pracy środków trwałych tylko na podstawie produktywnego czasu pracy maszyn. Na czas rzeczywistego wykorzystania środków trwałych w procesie produkcji składa się bowiem również czas zużywany na wykonanie niezbędnych czynności związanych z ich pracą, w tym czas na: nawroty, przejazdy jałowe itd., a także czas bezpośrednio nie przeznaczony na realizację określonego zabiegu (obsługi technicznej, usuwania usterek i itd.). Dzieje się tak wówczas, gdy do obliczeń przyjmujemy wydajność eksploatacyjną.

Za uwzględnieniem nieproduktywnego czasu pracy przemawia argument, że jest on konieczny dla zachowania sprawności i pełnej dyspozycyjności wykorzystywanych maszyn i ciągników. Można więc stwierdzić, że jest on niezbędny i bezpośrednio związany z realizacją danego procesu produkcyjnego. Rzecz jasna, że w zależności od analizowanego zabiegu technologicznego będziemy mieli do czynienia z pracą różnych środków technicznych, tj: agregatów ciągnikowych, maszyn samojezdnych, środków transportowych lub załadunkowych. Posługując się praktyczną wydajnością ich pracy, przy której określaniu uwzględniamy czasy realizacji czynności nie związanych bezpośrednio z cyklem produkcyjnym, nakłady energii (E_{ip}) w odniesieniu do 1ha uprawy można obliczyć dzieląc nakłady prze-

kazane w ciągu godziny użytkowania (E_{hp}) danego agregatu przez jego wydajność wyrażoną w $\text{ha}\cdot\text{h}^{-1}$.

NAKŁADY ENERGII Z JEJ BEZPOŚREDNICH NOŚNIKÓW I ROBOCIZNY

Na bezpośrednie nakłady energii poniesione podczas realizacji danego zabiegu technologicznego (E_{ib}) składa się suma energii pochodzącej z używanych źródeł lub paliw. W polowej produkcji biomasy energia doprowadzana jest bezpośrednio najczęściej w postaci paliw wtórnych, którymi zasilane są silniki napędowe maszyn. Określenie ilości zużytego paliwa należy rozpocząć od określenia zużycia godzinowego (G_{ib}). Należy przy tym wziąć pod uwagę fakt, że prawidłowe obliczenie ilości zużytego paliwa wymaga dokładnego oszacowania współczynnika wykorzystania mocy nominalnej silnika.

Tylko wówczas, gdy współczynnik wykorzystania mocy jest odpowiednio wysoki, do obliczeń można przyjąć nominalną wartość jednostkowego zużycia paliwa. W polowej produkcji roślinnej, przy wykonywaniu niektórych zabiegów, mamy często do czynienia ze znacznie mniejszym wykorzystaniem mocy pracujących silników, a co za tym idzie mniejszym godzinowym zużyciem paliwa. Pociąga to za sobą wzrost jednostkowego zużycia paliwa w stosunku do wartości nominalnej.

Zużycie paliwa na jednostkę powierzchni uprawy (Q_{ib}) zależy natomiast nie tylko od jego zużycia godzinowego (G_{ib}), ale i wydajności uzyskiwanej w czasie pracy silników napędowych agregatów maszynowych (W), co wynika z zależności:

$$Q_{ib} = \frac{G_{ib}}{W}, (\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}) \quad (3)$$

Minimalne zużycie paliwa na hektar osiągnąć będzie tylko wtedy, gdy pełnemu wykorzystaniu mocy silników odpowiadała będzie maksymalna wydajność pracy maszyn. Przyjmując do obliczeń zbyt niską wydajność rzeczywistą powodujemy, że wyniki zużycia paliwa będą zawyżone. Na przykład wydajność eksploatacyjna (W_{07}) uwzględnia również nieproduktywny czas pracy maszyn, kiedy silniki napędowe są wyłączone i nie zużywają paliwa. Najlepiej rzeczywistym warunkom odpowiada produkcyjna wydajność pracy maszyn obliczona z uwzględnieniem tylko tych czasów, w których pracują silniki napędowe.

Bezpośrednie nakłady energii poniesione w postaci jej nośnika (E_{ib}) obliczymy mnożąc jego zużycie wyrażone w kg na 1 ha (Q_{ib}) przez współczynnik przeliczeniowy (e_b) wartości energetycznej nośnika energii:

$$E_{ib} = Q_{ib} \cdot e_b, (\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}) \quad (4)$$

Współczynnik przeliczeniowy wartości energetycznej bezpośredniego nośnika powinien oczywiście uwzględniać nie tylko jego wartość energetyczną (opałową), ale także nakłady energii ponoszone na jego wydobycie i transport, a dla nośników wtórnych również przetworzenie. Ponieważ wymaga to rozwiązania wielu trudnych problemów metodycznych, w większości obliczeń uwzględniana jest tylko wartość opałowa danego nośnika.

Określanie nakładów energii ponoszonych w formie pracy ludzi jest problemem kontrowersyjnym i często pomijanym. Uznany poglądem jest jednak, że pracy ludzkiej nie można rozpatrywać tylko w sensie fizjologicznym, ponieważ wykonywana jest przez ludzi o różnych kwalifikacjach i uzdolnieniach. Przyjmując do obliczeń tylko wartość energetyczną żywności lub wydatki energetyczne pracujących ludzi pomija się inne formy ponoszonych w codziennym życiu nakładów energii, które są między innymi niezbędne dla zaspokojenia potrzeb związanych z ochroną zdrowia człowieka oraz zapewnieniem coraz wyższych materialnych warunków życia. Z dostępnych danych wynika (Jaczewski 2006), że obecnie człowiek zużywa średnio około 45 razy więcej energii na dobę niż w początkach swej egzystencji. Średnie dobowe zużycie samej tylko energii pierwotnej na świecie wynosi około 45 000 kcal na jednego mieszkańca, a wielkość tego zużycia może różnić się między krajami nawet 100. krotnie.

W praktyce najczęściej nakłady energii związanych z robocizną ludzi wyliczane są jako iloczyn nakładów czasu pracy i jej równoważnika energetycznego, który szacowany jest na poziomie od kilku do kilkudziesięciu $\text{MJ}\cdot\text{rbh}^{-1}$ (Banasiak 1999, Wójcicki 2000). Tak znaczne różnice wynikają z braku jednolitych założeń i kryteriów obliczania wartości tego równoważnika przez badaczy, co jest głównie konsekwencją sprzecznych poglądów na temat celowości i sensowności podejmowania działań w tym zakresie. Ponadto nakłady czasu pracy ludzi, ponoszone na niezbędne czynności związane z realizacją danego zabiegu, są wyższe od produktywnego czasu pracy eksploatowanych maszyn. Wydajności pracy obliczane z ich uwzględnieniem są więc mniejsze. Dlatego też, pełny obraz ilości niezbędnych nakładów pracy ludzi uzyskujemy wyrażając je równocześnie w roboczogodzinach. Bez względu jednak na przyjętą jednostkę fizyczną, ich wielkość zależeć będzie bezpośrednio od uciążliwości i intensywności wykonywanej przez ludzi pracy.

SPRAWNOŚĆ I EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA TECHNOLOGII PRODUKCJI BIOMASY

W rolnictwie ze względu na wieloetapowość procesów produkcji, a także zachodzące w ich trakcie zmiany cech fizycznych surowców, szczególnego znaczenia nabiera pojęcie efektywności energetycznej technologii produkcji (Klikocka

2006, Kuś 2002, Roszkowski 2005, Wójcicki 2005). Określenie jej związane jest z koniecznością wyznaczenia nakładów energetycznych poniesionych w całym procesie produkcji, jak i wartości energetycznej plonów uprawianych roślin. Biorąc pod uwagę fakt, że w produkcji roślinnej nie we wszystkich zabiegach (od $i = 1$ do n) zużywane są materiały lub surowce, nakłady energii w nich zawarte łątwiej jest obliczyć łącznie dla całej badanej technologii. W związku z tym, całkowitą energochłonność technologii produkcji roślinnej (E) można obliczyć według formuły:

$$E = \sum_{i=1}^n (E_{ip} + E_{ib} + E_{ir}) + E_s, \text{ (MJ)} \quad (5)$$

Nakłady energii poniesione w postaci surowców lub materiałów (E_s) oblicza się natomiast z następującej zależności:

$$E_s = \sum_{j=1}^k d_j \cdot e_j, \text{ (MJ)} \quad (6)$$

Prowadzenie obliczeń w ten sposób powoduje, że ich wynik zależy wprost proporcjonalnie od przyjętych dla jednostki masy (d_j) danego surowca lub materiału współczynników przeliczeniowych (e_j) wyrażanych w $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Współczynniki te nazywane są także wskaźnikami energochłonności produkcji lub jej równoważnikami energetycznymi. Wyznaczanie ich dokładnej wartości jest trudne zarówno od strony teoretycznej, jak i praktycznej. Powinny one bowiem uwzględniać nakłady energii poniesione we wszystkich procesach, którym podlegał dany materiał lub surowiec przed zużyciem. Dlatego też, konieczne staje się opracowanie jednolitych założeń prowadzonych w tym zakresie badań i okresowe aktualizowanie ich wyników, ze względu na zachodzące w gospodarce zmiany.

Jednostkowe nakłady energetyczne można bez problemu wyrazić w MJ na powierzchnię uprawy lub masę zebranego plonu pamiętając przy tym, że przeznaczona na cele energetyczne biomasa może stanowić całość (w przypadku plantacji drzew i traw szybko rosnących) lub tylko część zebranego materiału roślinnego (np. słoma). Wskaźnikiem efektywności energetycznej uprawy jest stosunek wartości energetycznej zebranego plonu (EP) do poniesionych nakładów energii (E), czyli inaczej sprawność energetyczna uprawy. Efektywność energetyczną produkcji (η_p) określa natomiast iloraz uzyskanego w jej procesie efektu energetycznego ($EP - E$) do wartości energetycznej plonu (EP). Im ta relacja jest korzystniejsza tym technologia, która doprowadziła do niej jest bardziej racjonalna.

PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonej analizy wynika, że możliwości poprawy efektywności energetycznej występują wzdłuż całego cyklu produkcji biomasy, ale są one zróżnicowane w poszczególnych jego etapach. Największy wpływ na poprawę efektywności mają działania, w wyniku których uzyskiwane są większe plony uprawianych roślin. Zaletą obliczeń energetycznej efektywności technologii produkcji jest ich niezależność od zmian ekonomicznych warunków produkcji, ale również możliwość uzyskania porównywalnych wyników. Dokładne przeprowadzenie obliczeń z tym związanych nie jest jednak proste. Wymaga przede wszystkim przyjęcia odpowiedniej metody prowadzenia obliczeń oraz precyzyjnego określenia założeń wstępnych.

O ile jednak wartości energetyczne plonów roślin są wiarygodne, co wynika ze stosowania przy ich określaniu jednolitych metod badawczych, o tyle wartości równoważników energetycznych surowców oraz środków produkcji są zróżnicowane. Równoważnik energetyczny nazywany jest także w literaturze wskaźnikiem energochłonności lub przelicznikiem, co świadczy o braku precyzyjnej definicji tych pojęć. Koniecznością staje się więc opracowanie jednolitych metod szacowania ich wartości oraz systematyczne aktualizowanie w związku z szybkimi zmianami stosowanych technologii wytwarzania. Błędy popełnione w tym zakresie mają bowiem znaczący wpływ na miarodajność uzyskiwanych wyników badań energochłonności.

PIŚMIENNICTWO

- Banasiak J. (red.), 1999. Agrotechnologia. PWN, Warszawa-Wrocław.
- Bibrowski Z. (red.), 1983. Energochłonność skumulowana. PWN, Warszawa.
- Jaczeński M., 2006. Człowiek a energia. Energetyka, 4.
- Gradziuk P.(red.), 2003. Biopaliwa. Wyd. Wieś Jutra, Warszawa.
- Klikocka H., 2006. Efektywność energetyczna różnych sposobów uprawy roli i nawożenia naturalnego w produkcji ziemniaka. Acta Agrophysica, 8, 385-399.
- Kościk B. (red.), 2003. Rośliny energetyczne. Wyd. AR w Lublinie.
- Kuś J., 2002. Efektywność energetyczna produkcji biopaliw płynnych. Wieś Jutra, 9, 8-10.
- Michalek R., Kosek J., 1985. Uwagi o metodach liczenia energochłonności produkcji rolniczej rachunkiem ciągnionym. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 280, 9-23.
- Roszkowski A., 2005. Efektywność energetyczna technologii produkcji rolniczej – wybrane aspekty. Mat. z VIII Międz. Konf. Nauk. nt: Teoretyczne i aplikacyjne problemy inżynierii rolniczej, 21-24 czerwca, Wrocław-Polanica Zdrój, 28-30.
- Stolarski M., Tworkowski J., Szczukowski S., 2006. Produktywność i charakterystyka biomasy wierzby jako paliwa. Energetyka, IX, 53-56.
- Szczukowski S., Tworkowski J., 2004. Plantacje energetyczne wierzby i innych roślin wieloletnich. Wieś Jutra, 3, 53-55.

- Szeptycki A., 2002. Efektywność postępu technicznego w technologiach towarowej produkcji ziemniaków. Inż. Roln., 1, 62-70.
- Wójcicki Z., 2000. Wyposażenie techniczne i nakłady materiałowo-energetyczne w rozwojowych gospodarstwach rolniczych. Wyd. IBMER, Warszawa.
- Wójcicki Z., 2005. Metodyczne problemy badania energochłonności produkcji rolniczej. Probl. Inż. Roln., 1, 5-12.

SELECTED ASPECTS OF RESEARCH ON ENERGETIC EFFECTIVENESS OF PLANT BIOMASS PRODUCTION TECHNOLOGY

Adam Węgrzyn, Grzegorz Zajac

Faculty of Agricultural Engineering, University of Life Sciences
ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin
e-mail: adam.wegrzyn@up.lublin.pl

Abstract. Rational business activity is characterised by economical and efficient utilisation of human and production resources, especially pursuit of maximisation of production energetic efficiency. Biomass has the greatest share in the structure of renewable energy sources utilisation. Increase is observed in the participation of crops of annual plants cultivated for energetic purposes, some grass species and quickly growing trees. It results from profitability of production of biomass for energetic purposes and possibility of utilisation of plant production surpluses. Assessment of energy consumption during plant biomass production is enabled by process analysis method. Main methodical problems related to energy effectiveness assessment of technologies utilised in plant production were analysed in this study. Types of energy outlays occurring during agricultural production processes as well as factors determining their rate and efficiency were discussed.

Keywords: biomass, production, technology, energy consumption.