

dr hab. inż. Tomasz PISKIER*, dr inż. Tomasz R. SEKUTOWSKI**, dr inż. Leszek MAJCHRZAK***

* Katedra Biologicznych Podstaw Rolnictwa, Politechnika Koszalińska

** Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy w Puławach, Zakład Herbologii i Techniki Uprawy Roli we Wrocławiu

*** Katedra Agronomii, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

e-mail: piskier@poczta.onet.pl

PORÓWNANIE EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ W TECHNOLOGII PRODUKCJI ŻYTA PRZEZNACZONEGO NA BIOGAZ I BIOETANOL

Streszczenie

W jednoczynnikowym doświadczeniu polowym, przeprowadzonym w latach 2009-2010, badano wpływ dwóch technologii produkcji żyta, przeznaczonych do wykorzystania w energetyce na wartość i strukturę nakładów energetycznych poniesionych na jego produkcję, wartość energetyczną plonu oraz wskaźnik efektywności energetycznej. Technologia uprawy żyta z przeznaczeniem biomasy na biogaz pochłaniała o 61,3% więcej energii skumulowanej na przygotowanie stanowiska oraz 4,8% więcej energii na zbiór i transport plonu w porównaniu do technologii tradycyjnej. Łącznie skumulowane nakłady energii poniesionej na produkcję żyta w technologii na biogaz były większe o 45,3% w odniesieniu do technologii tradycyjnej. Wartość energetyczna plonu żyta uprawianego na biogaz była większa od wartości energetycznej plonu żyta uprawianego z przeznaczeniem ziarna na alkohol i słomy do spalania o 48,1%. Obliczając wartość energetyczną plonu netto, rozumianą jako różnicę pomiędzy wartością energetyczną plonu a wartością nakładu energii skumulowanej koniecznej do jego uzyskania stwierdzono, że uprawa tradycyjna generowała tę wartość na poziomie 62,45 GJ·ha⁻¹, natomiast technologia uprawy z przeznaczeniem plonu na biogaz - na poziomie 92,94 GJ·ha⁻¹.

Słowa kluczowe: efektywność energetyczna, bioetanol, biogaz, spalanie słomy, żyto

Wprowadzenie

Wykorzystanie biomasy w celach energetycznych jest jedną ze strategii rozwoju energetyki odnawialnej [2]. Wiele uwagi poświęca się biomase odpadowej z produkcji rolniczej [7], jak również biomase pochodzącej z celowo zakładanych plantacji roślin „energetycznych” [2]. Biomasa może być wykorzystana jako paliwo stałe lub zostać przetworzona na paliwo ciekłe albo gazowe [3]. Stosując biomasę w energetyce należy dokonać analizy efektywności energetycznej produkcji - jest to szczególnie ważne na plantacjach towarowych [4].

Poddając ocenie efektywność energetyczną najczęściej porównuje się zastosowanie różnych technologii uprawy jednego gatunku rośliny [6] lub różnych gatunków bez zagłębiania się w sposób wykorzystania plonu. Problemem w uprawie roślin energetycznych są ich wymagania glebowe. Większość roślin powinna być uprawiana na glebach klasy IV lub III, gdzie stanowią konkurencję dla roślin żywnościowych [5]. W sytuacji takiej celowym wydaje się poszukiwanie roślin o niewielkich wymaganiach glebowych oraz technologii ich produkcji zapewniających uzyskanie plonu o maksymalnej wartości energetycznej, przy niewielkich nakładach energetycznych poniesionych na jego wytworzenie.

Celem przeprowadzonych badań było porównanie wielkości i struktury nakładów energetycznych dwóch technologii produkcji żyta przeznaczonych do wykorzystania w energetyce oraz ocena ich efektywności energetycznej.

Metodyka i warunki badań

Jednoczynnikowe doświadczenie łanowe przeprowadzono w latach 2009 i 2010 na glebie lekkiej, V klasy bonitacyjnej. Pole doświadczalne o powierzchni 1,5 ha zlokalizowane było w Białogardzie koło Koszalina. W doświadczeniu określono wartość produkcji energii netto, wartość energetyczną plonu oraz wskaźnik efektywności energetycznej dwóch technologii produkcji i wykorzystania żyta jako rośliny energetycznej.

Porównywane technologie:

1. Technologia tradycyjna - uprawa żyta w plonie głównym, ziarno przeznaczono do produkcji alkoholu, słomę przeznaczono do spalania,
2. Technologia na biogaz - uprawa żyta w poplonie ozimym, następnie uprawa żyta w plonie wtórnym (na tym samym polu), plon biomasy przeznaczono do produkcji biogazu.

W technologii tradycyjnej wysiewano żyto ozime odmiany Kier w ilości 175,0 kg·ha⁻¹, nawożenie mineralne w czystym składniku wynosiło: N - 63,3 kg·ha⁻¹, P₂O₅ - 60,0 kg·ha⁻¹, K₂O - 90,0 kg·ha⁻¹. Podczas zbioru słomy zużyto 1,9 kg·ha⁻¹ sznurka. Żyto zbierano w fazie dojrzałości pełnej, co odpowiada skali BBCH = 89 [1].

W technologii uprawy na biogaz, żyto ozime uprawiano jako poplon ozimy wysiewając odmianę Kier (175,0 kg·ha⁻¹), nawożenie mineralne w czystym składniku wynosiło: N - 63,3 kg·ha⁻¹, P₂O₅ - 60,0 kg·ha⁻¹, K₂O - 90,0 kg·ha⁻¹. Do zbioru biomasy zastosowano prasę rolującą, zużyto 5,7 kg·ha⁻¹ sznurka. Żyto zbierano na przełomie maja i czerwca w fazie pełni kwitnienia (BBCH = 65). Po zbiorze poplonu ozimego wysiewano plon wtóry - żyto przewodkowe odmiany Bojko w ilości 150,0 kg·ha⁻¹. Zastosowane nawożenie mineralne w czystym składniku wynosiło: N - 40,3 kg·ha⁻¹, P₂O₅ - 26,7 kg·ha⁻¹, K₂O - 40,0 kg·ha⁻¹. Do zbioru biomasy zastosowano prasę rolującą, zużyto 3,5 kg·ha⁻¹ sznurka. Zbiór plonu przeprowadzono w fazie pełni kwitnienia (BBCH = 65). Charakterystykę testowanych technologii zamieszczono w tab. 1.

Nakład energii skumulowanej wniesionej w formie materiałów obliczono przemnażając masę zużytych materiałów przez ich wartość energetyczną przyjętą za Wójcickim [9]. Następnie zsumowano uzyskane wartości. Ilość zużytego paliwa wyznaczono poprzez pomiar bezpośredni, a skumulowany nakład energii wniesiony w tej formie określono przemnażając łączną masę wykorzystanego paliwa przez jego wartość energetyczną (48 MJ·kg⁻¹). Ocena energochłonności porównywanych technologii przeprowadzono wg metody analizy procesu [8].

Tab. 1. Zestawienie zabiegów agrotechnicznych wykonywanych w testowanych technologiach produkcji żyta
Table 1. List of agronomical practices performed in the rye production technologies tested

Zabieg	Technologia tradycyjna	Technologia na biogaz
Podorywka (brona talerzowa)	+	+
Orka siewna	+	+
Nawożenie mineralne	+	+
Doprawianie pola	+	+
Siew nasion	+	+
Nawożenie pogłówne N	+	+
Zbiór plonu	kombajn, prasa rolująca	kosiarka rotacyjna, prasa rolująca
Nawożenie mineralne	-	+
Talerzowanie pola	-	+
Siew nasion	-	+
Nawożenie pogłówne N	-	+
Zbiór plonu	-	kosiarka rotacyjna, prasa rolująca

(+) - oznacza wykonanie zabiegu

Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Nakład energii skumulowanej obliczono wg zależności:

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

gdzie:

E_{tech} - energochłonność badanej technologii $[\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}]$,

$\sum E_{mat}$ - suma energochłonności stosowanych materiałów, $[\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}]$,

$\sum E_{agr}$ - suma energochłonności stosowanych agregatów $[\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}]$,

$\sum E_{pal}$ - suma energochłonności zużytego paliwa $[\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}]$.

Wskaźnik efektywności energetycznej wyznaczono wg zależności:

$$E_e = \frac{P_e}{E_{tech}}, \quad (2)$$

gdzie:

E_e - wskaźnik efektywności energetycznej produkcji,

P_e - wartość energetyczna plonu z hektara, $[\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}]$,

E_{tech} - energochłonność badanej technologii, $[\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}]$.

Określając wartość energii netto (E_n) wykorzystano zależność:

$$E_n = E_{tech} - P_e \quad [\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}]. \quad (3)$$

Wydajność maszyn określono za pomocą chronometrażu uproszczonego.

Obliczając wartość energetyczną plonu przyjęto następujące założenia:

- wartość opała słomy - $14,3 \text{ GJ}\cdot\text{t}^{-1}$,
- wydajność bioetanolu z ziarna żyta - $0,39 \text{ m}^3\cdot\text{t}^{-1}$,
- gęstość bioetanolu - $0,824 \text{ t}\cdot\text{m}^{-3}$,
- wartość energetyczna bioetanolu - $28,8 \text{ GJ}\cdot\text{t}^{-1}$,
- produkcja biogazu ze świeżej biomasy - $170,0 \text{ m}^3\cdot\text{t}^{-1}$,
- wartość opała biogazu - $23,0 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$.

Masę plonu określono wykorzystując wagę przejazdową.

Wyniki badań

Porównywane technologie produkcji żyta różniły się pod względem zarówno przygotowania stanowiska jak również sposobu zbioru plonu. Postanowiono więc wartość nakładów energetycznych rozpatrywać zgodnie z tą zależnością.

Skumulowany nakład energii, poniesionej na przygotowanie stanowiska pod żyto uprawiane w technologii tradycyjnej wyniósł $11,15 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Zastosowanie technologii uprawy na biogaz spowodowało zwiększenie wielkości nakładu energii skumulowanej o 61,3%. Spowodowane to było koniecznością dodatkowego przygotowania pola wiosną pod zasiew plonu wtórego z żyta przewodkowego (tab. 2).

Tab. 2. Wpływ technologii uprawy żyta na wartość nakładów energii skumulowanej poniesionej na jego produkcję.

Table 2. Impact of rye cultivation technologies on the value of the expenditures of accumulated energy connected with its production

Wyszczególnienie	Technologia tradycyjna	Technologia na biogaz
Przygotowanie stanowiska $[\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}]$	11,15	17,99
Zbiór i transport plonu $[\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}]$	4,38	4,58
Skumulowany nakład energii $[\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}]$	15,52	22,56

Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Zbiór i transport plonu żyta uprawianego w technologii tradycyjnej pochłaniał $4,37 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ energii skumulowanej. Zastosowanie technologii uprawy żyta z przeznaczeniem plonu na biogaz zwiększyło nakład energii o 4,8% (tab. 2). Skumulowany nakład energii poniesiony łącznie na przygotowanie stanowiska oraz zbiór i transport plonu w technologii tradycyjnej wyniósł $15,53 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Zastosowanie technologii produkcji żyta z przeznaczeniem na biogaz zwiększało skumulowany nakład energii o 45,3%.

W strukturze nakładów energetycznych, największy udział stanowiła energia wniesiona w formie materiałów (tab. 3). Tradycyjna technologia produkcji pochłaniała łącznie $8,4 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ energii wniesionej w formie materiałów. Zastosowanie technologii produkcji żyta na biogaz zwiększyło ilość energii wniesionej w formie materiałów do $14,29 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, wartość ta jest większa od stwierdzonej w technologii tradycyjnej o 69,3%.

Tab. 3. Struktura nakładów energetycznych poniesionych na produkcję żyta przeznaczonego do wykorzystania w energetyce
Table 3. Structure of energy expenditures in connection with the production of rye to be used in energy industry

Strumień energii	Technologia tradycyjna	Technologia na biogaz
Energia wniesiona w formie agregatów $[\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}]$	2,63	2,98
Energia wniesiona w formie paliwa $[\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}]$	4,50	5,34
Energia wniesiona w formie materiałów $[\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}]$	8,40	14,24
Skumulowany nakład energii $[\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}]$	15,53	22,56

Źródło: opracowanie własne / Source: own work

W porównaniu do technologii tradycyjnej, zastosowanie technologii produkcji żyta przeznaczonego na biogaz powodowało zwiększenie nakładów energetycznych wniesionych w formie agregatów o 13,3% natomiast nakładów wniesionych w formie paliwa o 18,7% (tab. 3).

O wartości energetycznej plonu decydowała jego wielkość oraz sposób konwersji energii. Stosując tradycyjną technologię, w której ziarno przeznaczono do produkcji alkoholu słomę natomiast do spalania uzyskano łącznie 77,97 GJ·ha⁻¹. Zastosowanie technologii produkcji na biogaz umożliwiło dwukrotny zbiór plonu biomasy z danego pola, biomasa mogła zostać wykorzystana jedynie do produkcji biogazu. Taki sposób wykorzystania biomasy pozwolił osiągnąć łączną wartość energetyczną plonu wynoszącą 115,5 GJ·ha⁻¹. Wartość ta jest większa od uzyskanej w technologii tradycyjnej o 48,1% (tab. 4.)

Wartość energii netto uzyskanej przy zastosowaniu tradycyjnej technologii produkcji żyta wyniosła 62,45 GJ·ha⁻¹. Zastosowanie technologii produkcji na biogaz zwiększyło wartość energii netto uzyskanej z jednostki powierzchni o 48,8% do wartości 92,94 GJ·ha⁻¹ (tab. 4).

Wskaźnik efektywności energetycznej produkcji w obydwu testowanych technologiach był zbliżony i wynosił 5,02 w technologii tradycyjnej oraz 5,12 w technologii produkcji żyta na biogaz (tab. 4).

Tab. 4. Wpływ technologii uprawy żyta na wybrane wskaźniki oceny energetycznej produkcji

Table 4. Impact of rye cultivation technologies on selected indices of the energy evaluation of production

Badany parametr	Technologia tradycyjna	Technologia na biogaz
Wartość energetyczna plonu [GJ·ha ⁻¹]	77,79	115,50
Wartość energii netto [GJ·ha ⁻¹]	62,45	92,94
Wskaźnik efektywności energetycznej	5,02	5,12

Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Porównując technologie produkcji roślin najczęściej podstawowym wykorzystywanym wskaźnikiem jest efektywność energetyczna produkcji. Porównując technologie, w których celem jest maksymalizacja produkcji energii z jednostki powierzchni przez zastosowanie uprawy roślin w poplonie ozimym i plonie wtórnym, pełniejszą informację uzyskuje się stosując porównanie oparte o wartość energii netto.

Wnioski

1. Uprawa żyta przeznaczonego na biogaz w poplonie ozimym i następnie w plonie wtórnym, umożliwia zwiększenie wartości energetycznej plonu uzyskanego z jednostki powierzchni.
2. Technologia uprawy żyta na biogaz powoduje zwiększenie nakładów energii skumulowanej, w porównaniu do technologii tradycyjnej o 45%.
3. Zastosowanie uprawy żyta na biogaz, powoduje zwiększenie wartości energetycznej plonu o 48% - w odniesieniu do technologii tradycyjnej.
4. Wartość energii netto jest większa z produkcji żyta przeznaczonego na biogaz, w porównaniu do tradycyjnej technologii produkcji żyta przeznaczonego do wykorzystania w energetyce, aż o 49%.

Bibliografia

- [1] Adamczewski K., Matysiak K.: Klucz do określania faz rozwojowych roślin jedno- i dwuliściennych w skali BBCH [tłumaczenie z j. angielskiego K. Adamczewski i K. Matysiak]. Poznań: Instytut Ochrony Roślin, Państwowa Inspekcja Ochrony Roślin i Nasiennictwa, Główny Inspektorat, 2005, 134 ss.
- [2] Faber A., Stasiak M., Kuś J.: Wstępna ocena produktywności wybranych gatunków roślin energetycznych. Postępy w Ochronie Roślin. 2007, nr 47(4), 339-346.
- [3] Grzybek A.: Kierunki wykorzystania biomasy na cele energetyczne. [w:] Energia odnawialna na Pomorzu Zachodnim praca zbiorowa pod red. S. Flejterskiego, P. Lewandowskiego i W. Nowaka. 2003, 277-288.
- [4] Piskier T.: Efektywność energetyczna produkcji biomasy w teorii i praktyce, Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, 2011, nr 3, 5-7.
- [5] Roszkowski A.: Biomasa kontra rolnictwo. Inżynieria Rolnicza, 2008, nr 10(108), 201-208.
- [6] Szczukowski S., Tworowski J., Stolarski M., Fortuna W.: Plon biomasy wierzby pozyskanej w krótkich rotacjach zbioru na plantacji przemysłowej. Fragm. Agron., 2009, nr 26(3), 146-155.
- [7] Szlachta J.: Możliwość produkcji biogazu z produktów pochodzenia rolniczego. Mat. IX Międzynarodowej Konf. Nauk. Teoretyczne i Aplikacyjne Problemy Inżynierii Rolniczej, Wrocław-Polanica, 19-22 czerwca 2007, 291-29.
- [8] Węgrzyn A., Zając G.: Wybrane aspekty badań efektywności energetycznej technologii produkcji biomasy roślinnej. Acta Agrophysica, 2008, nr 11(3), 799-806.
- [9] Wójcicki Z.: Wyposażenie i nakłady materiałowo energetyczne w rozwojowych gospodarstwach rolniczych. Warszawa: IBMER, 2002. ISBN 83-86264-62-4.

COMPARISON OF ENERGY EFFICIENCY IN THE PRODUCTION TECHNOLOGY OF RYE FOR BIOGAS AND BIOETHANOL

Summary

In a one-factor field experiment, which was conducted in the years 2009-2010, the impact was investigated of two rye production technologies for energy purposes, on the volume and structure of energy expenditure related to its production, the yield energy value and the energy efficiency index. The rye cultivation method where biomass was used for biogas consumed 61.3 per cent more of energy accumulated for the preparation of the stand and 4.8 per cent more of energy for the harvest and transport of the yield as compared with the traditional technology. The total accumulated energy outlays in relation to rye production in the technology foreseen in connection with biogas were greater by 45.3 per cent in relation to the traditional technology. The energy value of the yield of rye cultivated to be used for biogas was greater by 48.1 per cent than the energy value of the yield of rye cultivated whose grain was to be used to produce alcohol and whose straw was to be burnt. It was established when calculating the energy value of the net yield, understood as the difference between the yield energy value and the value of the input of accumulated energy required for its production, that the traditional cultivation generated this value on the level of 62.45 GJ·ha⁻¹, while the cultivation technology where the yield was to be used for biogas purposes was on the level of 92.94 GJ·ha⁻¹.

Key words: energy effectiveness, bioethanol, biogas, combustion of straw, rye