

## **OCENA EFEKTYWNOŚCI EKONOMICZNEJ I ENERGETYCZNEJ PRODUKCJI PSZENICY OZIMEJ I RZEPAKU OZIMEGO WYKORZYSTANYCH DO PRODUKCJI BIOPALIW**

Tomasz K. Dobek

*Zakład Użytkowania Maszyn i Urządzeń Rolniczych, Akademia Rolnicza w Szczecinie*

**Streszczenie.** Przeprowadzono ekonomiczną i energetyczną ocenę technologii produkcji pszenicy ozimej i rzepaku ozimego, przetworzenia płodów na biopaliwa oraz obliczenie wskaźników efektywności ekonomicznej i energetycznej produkcji biodiesla z rzepaku ozimego i bioetanolu z pszenicy ozimej. Z przeprowadzonych badań wynika, że produkcja biopaliw może być opłacalna pod warunkiem sprzedaży nie tylko biopaliwa, ale także słomy i w przypadku rzepaku – śruty poekstrakcyjnej. Dotyczy to również efektywności energetycznej produkcji biopaliw.

**Słowa kluczowe:** biopaliwo, koszt produkcji, nakład pracy, efektywność ekonomiczna, efektywność energetyczna

### **Wstęp**

Pod pojęciem biopaliw rozumiemy wyłącznie substancje palne o niekopalnym, lecz biologicznym pochodzeniu [Mokrzycki 2005]. Przetwarzanie biomasy na energię ma liczne zalety, do których zaliczyć możemy ograniczenie emisji związków toksycznych, redukcję efektu cieplarnianego, biodegradowalność. O koszcie wytwarzania biopaliw decyduje przede wszystkim cena surowca, która z kolei zależy głównie od stosowanych technologii oraz systemów dotacji dla rolnictwa. Ważnym elementem oceny produkcji biopaliw, oprócz kosztów, jest rachunek efektywności energetycznej. Z rachunku tego wynika, jak duże trzeba ponieść nakłady energetyczne, aby uzyskać jednostkę energii w biopaliwach. Celem badań było przeprowadzenie ekonomicznej i energetycznej oceny technologii produkcji pszenicy ozimej i rzepaku ozimego, przetworzenia płodów na biopaliwa oraz obliczenie wskaźników efektywności ekonomicznej i energetycznej produkcji biodiesla z rzepaku ozimego i bioetanolu z pszenicy ozimej.

### **Materiał i metody**

Badania przeprowadzono w latach 2003-2005, w gospodarstwach rolnych województwa zachodniopomorskiego na glebach IIIa i IVa klasy bonitacyjnej. W produkcji rzepaku ozimego wykorzystano technologię tradycyjną uprawy roli (pług lemieszowy i bronę

talerzową), a w doprawianiu gleby – agregat doprawiający. Nawożenie wykonano czterokrotnie rozsiewaczem przyczepianym, a siew siewnikiem uniwersalnym. W okresie wegetacji wykonano czterokrotne opryskiwanie za pomocą przyczepianego opryskiwacza ciągnikowego. Zbiór rzepaku ozimego przeprowadzono metodą jednoetapową. Do zbioru wykorzystano kombajn z adapterem przystosowanym do zbioru rzepaku. Średni plon rzepaku wyniósł 3,8 t·ha<sup>-1</sup>. W produkcji pszenicy do uprawy roli zastosowano pług lemieszowy oraz kultywator, a do doprawiania gleby wał uprawowy. Nawożenie wykonano czterokrotnie rozsiewaczem przyczepianym, a siew siewnikiem uniwersalnym. W okresie wegetacji pszenicy ozimej wykonano czterokrotne opryskiwanie za pomocą opryskiwacza ciągnikowego. Zbór pszenicy ozimej wykonano metodą jednoetapową, w której wykorzystano kombajn. Średni plon pszenicy ozimej wyniósł 6,2 t·ha<sup>-1</sup>.

Koszty badanych technologii składały się z kosztów eksploatacji zastosowanych maszyn, narzędzi i ciągników, kosztów materiałów i surowców, kosztów paliwa oraz kosztów pracy ludzkiej [Muzalewski 2005]. Koszty produkcji biopaliw obliczono na podstawie zależności:

$$K_{pro} = \sum K_{mat} + \sum K_{agr} + \sum K_{pal} + \sum K_r + \sum K_{prz}, \quad [\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}] \quad (1)$$

gdzie:

- $K_{pro}$  – koszty produkcji biopaliwa [zł·ha<sup>-1</sup>],
- $\sum K_{mat}$  – koszty wykorzystanych materiałów i surowców [zł·ha<sup>-1</sup>],
- $\sum K_{agr}$  – koszty maszyn i narzędzi [zł·ha<sup>-1</sup>],
- $\sum K_{pal}$  – koszty zużytego paliwa [zł·ha<sup>-1</sup>],
- $\sum K_r$  – koszty pracy ludzkiej [zł·ha<sup>-1</sup>].
- $\sum K_{prz}$  – koszt przetworzenia na biopaliwo [zł·ha<sup>-1</sup>].

Do analizy nakładów energii skumulowanej zawartej w produkcji rzepaku ozimego i pszenicy ozimej, zastosowano metodę opracowaną przez IBMER [Anuszewski i in. 1979; Wójcicki 2002]. W obliczeniach uwzględnione również zostały koszty oraz nakłady energii skumulowanej zawartej w produkcji roślinnej oraz produkcji biopaliw. Energochłonność skumulowana dla badanych zabiegów i przetworzenia obliczona została z zależności:

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

gdzie:

- $E_{pro}$  – energochłonność skumulowana w produkcji biopaliwa [MJ·ha<sup>-1</sup>],
- $\sum E_{mat}$  – energia skumulowana zawarta w materiałach i surowcach [MJ·ha<sup>-1</sup>],
- $\sum E_{agr}$  – energia skumulowana zawarta w maszynach i narzędziach [MJ·ha<sup>-1</sup>],
- $\sum E_{pal}$  – energia skumulowana zawarta w paliwie [MJ·ha<sup>-1</sup>],
- $\sum E_r$  – energia skumulowana zawarta w pracy ludzkiej [MJ·ha<sup>-1</sup>],
- $\sum E_{prz}$  – energia skumulowana zawarta w technologii przetworzenia plonu na biopaliwo [MJ·ha<sup>-1</sup>].

Natomiast wskaźniki energetyczne, dotyczące procesów technologicznych związanych z przetwarzaniem ziemiopłodów na biopaliwa, zaczerpnięto z literatury zagranicznej i krajowej [Mokrzycki 2005, Richards 2000], a wartości wskaźników efektywności energetycznej obliczono z zależności:

$$W_{ee} = \frac{\sum W_{prz}}{\sum W_{pro}}, \quad (3)$$

gdzie:

- $W_{ee}$  – wskaźnik efektywności energetycznej badanej technologii,
- $\sum W_{pro}$  – nakłady energii skumulowane w produkcji oraz przetworzeniu uzyskanego plonu [ $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ],
- $\sum W_{prz}$  – energia skumulowana zawarta w biopaliwie i pozostałej biomasie [ $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ].

## Wyniki i dyskusja

Analizując całkowite koszty produkcji pszenicy ozimej i rzepaku ozimego (tabela 1), można stwierdzić, że koszty produkcji rzepaku ozimego są niższe o 8,4% od kosztów produkcji pszenicy ozimej. W przypadku rzepaku wyniosły one  $2275,6 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$ , a w przypadku produkcji pszenicy  $2466 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$ . W strukturze kosztów produkcji największym udziałem charakteryzują się koszty materiałów i surowców oraz koszty eksploatacji maszyn i narzędzi (razem z kosztem zbioru słomy). W przypadku produkcji rzepaku koszty materiałów i surowców wyniosły  $1172,8 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$  tj. 51,54%, a produkcji pszenicy  $1426,6 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$ , co stanowiło 57,85% całkowitych kosztów produkcji.

Tabela 1. Koszty produkcji pszenicy i rzepaku ozimego w badanych technologiach  
Table 1. Production cost of wheat and winter rapeseed in researched processes

Wyszczególnienie	Rzepak ozimy		Pszenica ozima	
	$\text{zł}\cdot\text{ha}^{-1}$	%	$\text{zł}\cdot\text{ha}^{-1}$	%
Koszt eksploatacji maszyn i narzędzi bez kosztów paliwa i pracy ludzkiej	832,4	36,6	753,10	30,5
Koszt paliwa	248,8	10,9	262,4	10,6
Koszt pracy ludzkiej	21,6	1,0	23,9	1,0
Koszt materiałów i surowców	1 172,8	51,5	1 426,6	57,9
Razem koszty	2 275,6		2 466,0	
Efektywność ekonomiczna produkcji roślinnej	1,50		1,21	

Źródło: obliczenia własne autora

Znaczącą pozycję zajmowały też koszty eksploatacji maszyn i narzędzi, które wyniosły  $832,4 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$  (36,6%) w przypadku rzepaku i  $753,1 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$  (30,5%) w przypadku produkcji pszenicy. Rozpatrując natomiast koszty eksploatacji maszyn i narzędzi wykorzystywanych w poszczególnych zabiegach, można stwierdzić, że w produkcji rzepaku ozimego najwyż-

sze koszty związane były z uprawą roli. Wyniosły one  $335,8 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$  (40,4%) oraz ze zbiorem  $225,9 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$  (27,1%). Podobnie było w przypadku produkcji pszenicy ozimej. Najwyższe koszty dotyczą uprawy roli  $310, \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$  (41,2%) oraz zbioru  $227,4 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$  (30,2%). Współczynnik efektywności ekonomicznej (z uwzględnieniem wartości słomy) w analizowanych technologiach wyniósł 1,50 dla rzepaku ozimego i 1,21 dla pszenicy ozimej.

Przetwarzając uzyskane plony na biopaliwa (biodiesel i bioetanol) ponosimy dodatkowe koszty, które w bardzo istotny sposób obniżają efektywność ich produkcji. I tak koszt przetworzenia rzepaku na estry wyniósł  $3093,2 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$  i był wyższy o 35,9% od kosztów produkcji samych nasion rzepaku ozimego ( $2275,6 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). W przypadku produkcji bioetanolu również koszt przetworzenia był wyższy – wyniósł on  $4491,9 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$  i był o 82,1% wyższy od produkcji pszenicy ( $2466 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). Efektywność ekonomiczna produkcji biodiesla wyniosła 1,47, co świadczy o dochodowości produkcji, a w przypadku bioetanolu wartość ta wyniosła 0,68. Wynika z tego, że produkcja biodiesla była opłacalna, a bioetanolu nie (tabela 2). Analizując natomiast procentowy udział w kosztach produkcji biodiesla i bioetanolu (rys.1) można stwierdzić, że najwyższymi kosztami charakteryzuje się przetwarzanie płodów na biopaliwo (64,6% – bioetanol i 57,6% – biodiesel), a najniższym udziałem praca ludzka (0,3% – bioetanol i 0,4% – biodiesel).

Tabela 2. Koszty produkcji i przetworzenia plonu pszenicy ozimej i rzepaku ozimego na bioetanol i biodiesel

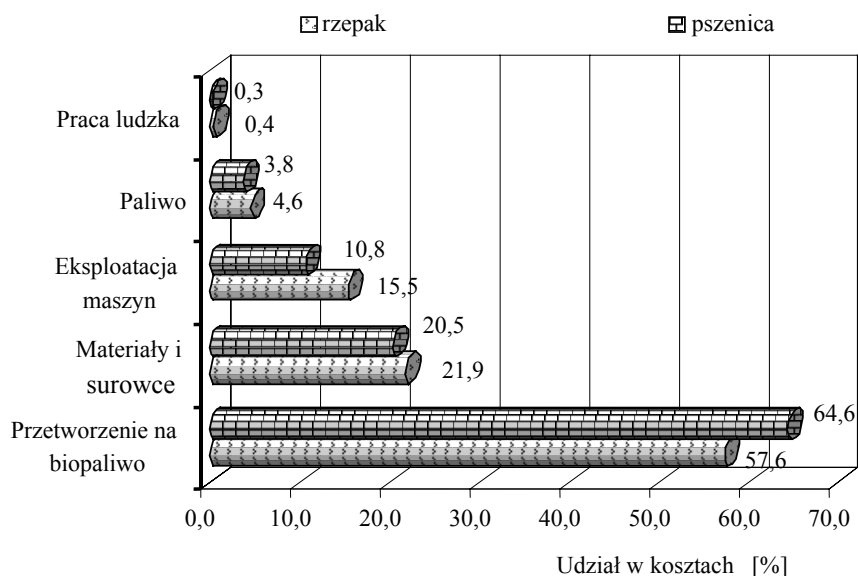
Table 2. Production and processing costs of winter wheat and winter rapeseed crops into bioethanol and diesel biofuel

Wyszczególnienie	Biodiesel $\text{zł}\cdot\text{ha}^{-1}$	Bioetanol $\text{zł}\cdot\text{ha}^{-1}$
Koszt produkcji roślinnej	2 275,6	2 466,0
Koszt przetworzenia na biopaliwo	3 093,2	4 491,9
Koszt całkowity (poz.1 + poz.2)	5 368,8	6 957,9
Wartość biopaliwa	5 216,3	4 141,1
Wartość słomy	452,2	579,7
Wartość śruty poekstrakcyjnej	2 226,6	–
Dochód całkowity (poz.4 + poz.5 + poz.6)	7 895,1	4 720,8
Efektywność ekonomiczna produkcji biopaliw (poz.7/poz.3)	1,47	0,68

*Źródło: obliczenia własne autora*

Na podstawie analizy nakładów energii skumulowanej w ocenianych technologiach produkcji roślinnej można stwierdzić, że wyższymi nakładami charakteryzowała się produkcja pszenicy ozimej –  $37050 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ , która była wyższa o 15,8% od nakładów energii skumulowanej w produkcji rzepaku ozimego –  $29400 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ . W strukturze nakładów energii skumulowanej największy udział mają materiały i surowce, a najmniejszy praca ludzka (tabela 3). W produkcji pszenicy ozimej nakłady energii skumulowanej w materiałach i surowcach wyniosły  $27524 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ , co stanowi 74,3% całkowitych nakładów, natomiast w produkcji rzepaku ozimego  $20241 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$  tj. 68,8%. Rozpatrując natomiast nakłady energii skumulowanej w maszynach i narzędziach wykorzystanych w produkcji

roślinnej można stwierdzić, że największą energochłonnością charakteryzuje się uprawa roli, która w przypadku pszenicy wyniosła  $1926 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ , co stanowi 39,17% nakładów energii zawartej w maszynach i narzędziach, natomiast w przypadku rzepaku  $2051 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$  tj. 40,62%.



Rys. 1. Struktura kosztów produkcji biodiesla i bioetanolu

Fig. 1. Production cost structure for diesel biofuel and bioethanol processing

Drugą, pod względem nakładów energii skumulowanej, pozycję zajmuje zbiór. W przypadku pszenicy ozimej  $1549 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$  (31,5%), a rzepaku  $1468 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$  (29,01%). Współczynnik efektywności energetycznej w technologii produkcji pszenicy ozimej wyniósł 1,51, natomiast w technologii produkcji rzepaku ozimego 1,55 (tabela 3).

W podsumowaniu można stwierdzić, że wyższy wskaźnik efektywności energetycznej uzyskano przy produkcji biodiesla z rzepaku (2,27) niż przy produkcji bioetanolu z pszenicy (2,13). W analizowanej technologii produkcji rzepaku ozimego i przetworzenia jego plonu na biodiesel energochłonność skumulowana wyniosła  $45567 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$  z czego 35,3% energii tj.  $16066 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$  zawarta jest w przetworzonym na biopaliwo plonie. Natomiast w produkcji bioetanolu z pszenicy ozimej, w rozpatrywanej technologii produkcji pszenicy ozimej, energochłonność skumulowana była wyższa o 58,4% od energochłonności produkcji biodiesla – wyniosła  $72204 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ , z czego  $37050 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$  (51,3%) przypadło na produkcję pszenicy, a  $35154 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$  (48,7%) na jej przetworzenie na bioetanol.

Przeliczając uzyskane produkty na jednostkę energii, można stwierdzić, że uzysk energii netto w przypadku produkcji biodiesla wyniósł  $80462 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ , a produkcji bioetanolu  $81432 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ , co oznacza, że mniejsze nakłady poniesiono na jego wyprodukowanie niż odzyskano je w postaci wyprodukowanego biopaliwa (tabela 4).

Tabela 3. Nakłady energii skumulowanej produkcji pszenicy ozimej i rzepaku ozimego w produkcji roślinnej

Table 3. Power expenditure for accumulated production of winter wheat and winter rapeseed in crop farming

Nakłady energii skumulowanej	Rzepak ozimy MJ·ha <sup>-1</sup>	Pszenica ozima MJ·ha <sup>-1</sup>
Maszyny i narzędzia	5 049	4 917
Paliwo	3 790	4 320
Praca ludzka	320	289
Materiały i surowce	20 241	27 524
Razem nakłady energii skumulowanej	29 400	37 050
Efektywność energetyczna produkcji roślinnej	1,55	1,51

Źródło: obliczenia własne autora

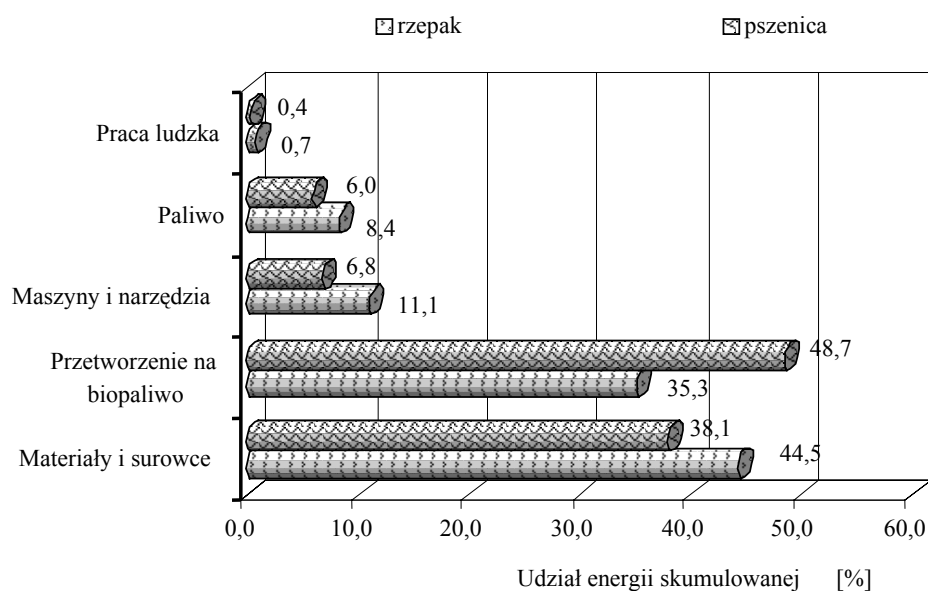
Tabela 4. Bilans energetyczny produkcji i przetworzenia plonu pszenicy ozimej oraz rzepaku ozimego na biopaliwa

Table 4. Energy balance in production and processing of winter wheat and winter rapeseed crops into bioethanol and diesel biofuel

Wyszczególnienie	Rzepak ozimy MJ·ha <sup>-1</sup>	Pszenica ozima MJ·ha <sup>-1</sup>
Wartość energetyczna przypadająca na produkcję biopaliw	45 567	72 204
Wartość energetyczna biopaliwa	50 616	51 336
Wartość energetyczna słomy	74 100	102 300
Wartość energetyczna śruty postrakcyjnej	1 212	–
Uzyskana wartość energetyczna po przetworzeniu	112673	138768
Wskaźnik efektywności energetycznej produkcji biopaliw	2,27	2,13
Uzysk energii netto	80 462	81 432

Źródło: obliczenia własne autora

Analizując procentowy udział w strukturze (rys. 2) nakładów energii skumulowanej w produkcji biopaliw można stwierdzić, że największym udziałem charakteryzuje się proces przetworzenia na biopaliwo – 48,7% w przypadku bioetanolu i 35,3% w przypadku biodiesla oraz materiały i surowce odpowiednio 38,1% i 44,5%. Najniższe nakłady energii skumulowanej zawarte były w pracy ludzkiej (0,4% bioetanol i 0,7 biodiesel).



Rys. 2. Struktura nakładów energii skumulowanej produkcji biodiesla i bioetanolu  
 Fig. 2. Accumulated energy expenditure for diesel biofuel and bioethanol processing

## Wnioski

1. Z przeprowadzonych badań wynika, że produkcja biodiesla może być opłacalna pod warunkiem sprzedaży nie tylko biopaliwa, ale także słomy i śruty poekstrakcyjnej. Dotyczy to również efektywności energetycznej produkcji biodiesla.
2. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że produkcja biodiesla z rzepaku ozimego jest opłacana (wskaźnik efektywności 1,47), natomiast bioetanolu z pszenicy ozimej jest nieopłacalna (wskaźnik efektywności 0,68) .
3. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że uzysk energii netto w przypadku produkcji biodiesla wyniósł  $80462 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ , natomiast w produkcji bioetanolu  $81432 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$  – przy założeniu wykorzystania słomy i śruty poekstrakcyjnej w przypadku rzepaku.

## Bibliografia

- Anuszewski R., Pawlak J., Wójcicki Z.** 1979. Energochłonność produkcji rolniczej. Metodyka badań energochłonności produkcji surowców żywnościowych. Wydaw. IBMER, Warszawa. s. 23-28.
- Mokrzycki E. (red.).** 2005. Podstawy gospodarki surowcami energetycznymi. Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne AGH Kraków. ISBN 83-89388-23-5. s. 422.
- Muzalewski A.** 2005. Koszty eksploatacji maszyn. Wydaw. IBMER, Warszawa Nr 20. s. 7-13.
- Richards I.R.** 2000. Energy balances in the growth of oilseed rape for biodiesel and of wheat for bioethanol. Levington Agriculture Report, BABFO. s. 9-38.
- Wójcicki Z.** 2000. Wyposażenie i nakłady materiałowo energetyczne w rozwojowych gospodarstwach rolniczych. Wydaw. IBMER, Warszawa. ISBN 83-86264-62-4. s. 139.

## EVALUATION OF ECONOMIC EFFECTIVENESS AND POWER CONSUMPTION FOR FARMING OF WINTER RAPESEED AND WINTER WHEAT UTILIZED FOR BIOFUEL PRODUCTION

**Summary.** Economic and power consumption evaluation was conducted with reference to farming of winter rapeseed and winter wheat, processing of those crops into biofuels as well as calculation of economic and power use effectiveness for processing of diesel oil biofuel from winter rapeseed and bioethanol from winter wheat. The research indicates that the production of biofuels may be profitable if it's sale could be combined with sale of is offered in conjunction with straw, and in case rapeseed — in conjunction with extraction cake. It also pertains to the power use effectiveness in the production of biofuels.

**Key words:** biofuel, cost of production, cost of labour, economic effectiveness, power consumption

### Adres do korespondencji:

Tomasz K. Dobek; e-mail: [tomasz.dobek@agro.ar.szczecin.pl](mailto:tomasz.dobek@agro.ar.szczecin.pl)  
Zakład Użytkowania Maszyn i Urządzeń Rolniczych  
Akademia Rolnicza w Szczecinie  
ul. Papieża Pawła VI nr 3  
71-459 Szczecin