

Zdzisław Wójcicki  
Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa  
w Warszawie

## METODYCZNE PROBLEMY BADANIA ENERGOCHŁONNOŚCI PRODUKCJI ROLNICZEJ

### Streszczenie

Badając efektywność zmechanizowanej produkcji rolniczej trzeba często określać jej energochłonność i efektywność energetyczną. Zaprezentowano problemy metodologiczne, wynikające w trakcie badania skumulowanych nakładów materiałowo-energetycznych w rolnictwie. Postulowano podjęcie interdyscyplinarnych studiów nad ujednoczeniem metodyk, mierników i przeliczników liczbowych, niezbędnych do szacowania efektów i efektywności energetycznej pozyskiwanych surowców rolniczych i produktów żywnościowych.

**Słowa kluczowe:** energochłonność, produkcja, nakłady, efektywność, mierniki, metody, błądy

### Wprowadzenie

Energochłonność ( $E_{me}$ ) to określony nakład materiałowo-energetyczny ( $N_{okr}$ ) ponoszony na pozyskanie określonej jednostki produkcji ( $P_{okr}$ ), czyli:

$$E_{me} = \frac{N_{okr}}{P_{okr}} \quad (z^3/z^3, MJ/MJ, MJ/JZ)$$

W rolnictwie najczęściej określa się energochłonność skumulowaną (ciężnioną), dzieląc wartość sumy 3 lub 4 strumieni energii ( $N_{skm}$ ), tj.:

- bezpośrednich nośników energii ( $N_b$ ),
- surowców i materiałów ( $N_m$ ),
- ośrodków inwestycyjnych i napraw ( $N_i$ ),
- pracy żywej ( $N_z$ ),

przez wartość rolniczej produkcji globalnej ( $P_{gl}$ ), stanowić jej sumę wartości:

- produkcji roślinnej ( $P_r$ ),
- produkcji zwierzęcej ( $P_z$ ),
- innej produkcji i usług ( $P_i$ ).

## Wskaźniki energochłonności

Jeżeli  $N_{skm}$  wyszacujemy w MJ, a  $P_{gl}$  w JZ, to wskaźnik:

$$E_{me} = \frac{N_{skm}}{P_{gl}} = \frac{N_b + N_m + N_i + N_z}{P_r + P_z + P_i} \quad (\text{MJ/JZ})$$

oznacza <sup>31</sup>czne zużycie ośrodków materialnych i pracy żywej na umowną jednostkę globalnej produkcji rolniczej.

Badając nakładochłonność technologicznie modernizowanego gospodarstwa zamiast  $P_{gl}$  stosujemy często kategorie:

- produkcji końcowej ( $P_{knc} = P_{Pgl} - Z_{ww}$ ),
- produkcji towarowej netto ( $P_{twn} = P_{knc} - Z_{rz}$ ).

Oceniając zabieg (czynność) produkcyjny wykonywany różnymi agregatami maszynowymi zbyt często szacujemy tylko zużycie oleju napędowego, maszyny i części wymiennych oraz pracy bezpośredniej i odnosimy ten nakład do uzyskanej produkcji potencjalnie towarowej (globalnej), zaniżając tym samym wyliczane wskaźniki energochłonności (MJ/JZ). Będem jest obciążenie danego roku gospodarczego niektórymi nakładami skumulowanymi w:

- ciłgnikach i innych ośrodkach technicznych zamiast rozłożenia ich na wszystkie lata użytkowania (amortyzacji),
- nawożenia obornikiem i gnojowicą, wapnowaniu, gęboszowaniu, matowaniu itp. zamiast (tab. 1) rozdzielenia tych nakładów na kilka kolejnych lat.

Tabela 1. Oddziaływanie nawożenia i gęboszowania przez kilka lat po zabiegu  
Table 1. Effect of fertilization and subsoiling (deep tillage) over few years after the treatments

Rodzaj zabiegu	Proponowany % nakładu obciążający kolejny rok				
	1	2	3	4	5
Obornik	40	30	20	10	–
Gnojowica	60	30	10	–	–
Wapnowanie	45	30	20	10	5
Gęboszowanie	30	25	20	15	10

Nie powinno się także nazywać:

- jednostkowe nakłady wyrażone w MJ / ha, MJ / szt. itp. wskaźnikami energochłonności (można w MJ/t, MJ/l),
- wskaźnika energochłonności produkcji ( $E_{me}$ ), wskaźnikiem efektywności energetycznej ( $E_{en}$ ).

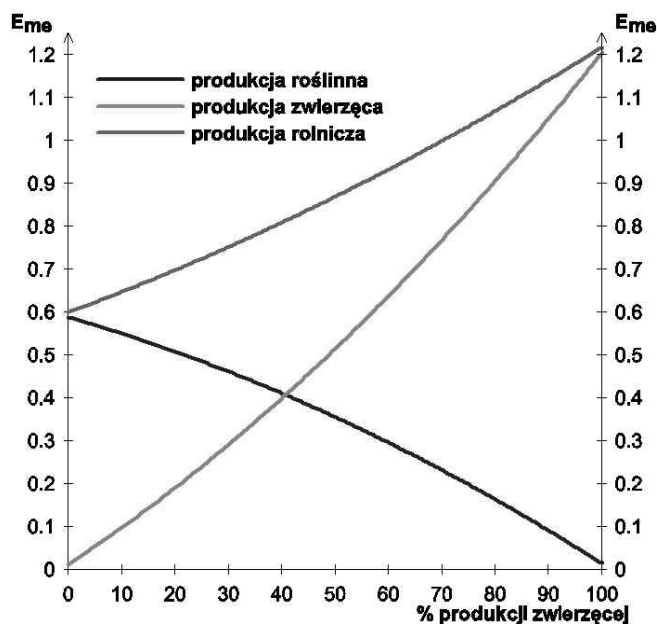
Niemianowany wskaźnik energochłonności skumulowanej produkcji w gospodarstwie rolniczym powinien przyjmować wartości:

$$E_{me} \leq 1,0 \text{ lub } \leq 100\%,$$

aby był kompatybilny (proporcjonalny) do ponoszonych kosztów produkcji i zysku.

Generalnie energochłonność produkcji roślinnej jest niższa od energochłonności produkcji zwierzęcej. Energochłonność obniża się wraz z:

- intensyfikacji produkcji (plony i produktywność zwierząt),
- koncentracji produkcji (wielkość gospodarstwa i stada zwierząt),
- struktury produkcji gospodarstwa (rys. 1).



Rys. 1. Zależność  $E_{me}$  od % struktury produkcji w modelowanych gospodarstwach rolniczych

Fig. 1. Relationship between  $E_{me}$  and production structure (%) on the model farms

Rozdzielczo szacując energochłonność produktów rolniczych trzeba pamiętać, aby: produkt roślinny (np. ziemniaki) obciążać użytym obornikiem, a produkt zwierzęcy (np. mleko) użytymi odchodami (słomą) i paszami (ponad 60% nakładów).

### **Efektywność ekonomiczna i energetyczna**

Efektywność ( $E$ ) to stosunek (iloraz) uzyskanego efektu ( $P$ ) do poniesionego nakładu ( $N$ ). Rolnicza efektywność ekonomiczna ( $E_{ek}$ ) to:

$$E_{ek} = \frac{P_{gl}}{N_{skm}} \quad (z^3/z^3, JZ/z^3, JZ/MJ)$$

Rolnicza efektywność energetyczna ( $E_{en}$ ) to:

$$E_{en} = \frac{P_{gl}}{N_{skm}} \quad (z^3/z^3, MJ/MJ, JZ/MJ)$$

i różni się od  $E_{ek}$  tylko stosowanymi miernikami i przelicznikami.  $E_{en}$  jest odwrotnością energochłonności ( $E_{me}$ ).

Efektywność energetyczna będzie też stosunek (iloraz) wartości kalorycznej (cieplnej lub żywieniowej) skumulowanej w uzyskanym produkcie ( $P_{cal}$ ) do skumulowanych nakładów ( $N_{skm}$ ) poniesionych na jego pozyskanie, czyli:

$$E_{en} = \frac{P_{cal}}{N_{skm}} \quad (MJ/MJ, Mcal/Mcal)$$

W badaniach OZE szczególnie ważne jest określenie  $N_{skm}$  poniesionych na jednostkę pozyskanego paliwa z zasobów odnawialnych:

$$E_{en} = \frac{N_{oze}}{N_{skm}} \quad (MJ/MJ, z^3/z^3)$$

Wskaźniki  $E_{en}$  i  $E_{ek}$  powinny przyjmować wartości:

### **Wskaźniki mierniki i przeliczniki**

Badając  $N_{skm}$  zachodzi potrzeba przeliczenia:

- umownych jednostek produkcji rolniczej (JZ) na umowne jednostki nakładów energetycznych (MJ) i odwrotnie,
- MJ na JZ (tab. 2).

*Metodyczne problemy badania energochłonności.....*

*Tabela 2. Nakłady i efekty technologii produkcji (5 ha) buraków w modelowym gospodarstwie rodzinnym (26 ha)*

*Table 2. Inputs and effects of beet production technology (5 ha) on a model family farm of 26 ha acreage*

Rodzaj nakładu (kosztu) lub efektu	Wartość na 1 ha w jednostkach		
	pieniężnych tys. zł	energetycznych GJ	zbożowych JZ
Produkcja potencjalnie towarowa	9,9	148	200
Obornik i nawozy zielone	2,2	30	53
Nawozy, odcinki chemiczne i inne	1,5	23	18
Użytkowanie maszyn	0,7	13	12
Nadwyżka bezpośrednia (SNB)	5,5	82	117
Ogólne nakłady materialne	0,9	16	14
Produkcja czysta (WDB)	4,6	66	103
Robocizna własna i obca	0,9	9	17
Amortyzacja, podatki i inne	1,9	22	23
Ogółem koszty własne	8,1	113	133
Zysk lub strata	+ 1,8	+ 35	+ 67

$$E_{me} = \frac{113 \text{ GJ}}{148 \text{ GJ}} = 0,76$$

$$E_{me} = \frac{133 \text{ JZ}}{200 \text{ JZ}} = 0,67$$

$$E_{me} = \frac{113 \text{ GJ}}{200 \text{ JZ}} = 565 \text{ MJ/JZ}$$

$$E_{en} = \frac{148 \text{ GJ}}{113 \text{ GJ}} = 1,31$$

$$E_{en} = \frac{200 \text{ JZ}}{133 \text{ JZ}} = 1,5$$

$$E_{ek} = \frac{9900 \text{ zł}}{8100 \text{ zł}} = 1,22$$

$$E_{ek} = \frac{200 \text{ JZ}}{8,1 \text{ tys. zł}} = 24,7 \text{ JZ/tys. zł}$$

$$E_{en} = \frac{N_{cal}}{N_{skm}} = \frac{144 \text{ GJ}}{113 \text{ GJ}} = 1,27$$

### Przeliczniki energetyczne

Podstaw<sup>1</sup> szacowania liczbowych przeliczników energetycznych s<sup>1</sup> poniższe wartości:

- 1 kg paliwa umownego (p.u.) = 1 kg węgla o wartości opałowej 7000 kcal (29,3 MJ),
- 1 kg ekwiwalentu oleju (o.e.) = 1 kg ropy lub oleju napędowego o wartości opałowej 10000 kcal (10 Mcal = 41,7 MJ),

- 1 MJ = 0,273 kWh = 0,239 Mcal,
- 1 kWh = 3,6 MJ = 0,86 Mcal,
- 1 Mcal = 1,163 kWh = 4,186 MJ.

Skumulowany nakład energetyczny (N<sub>skm</sub>) energii elektrycznej przeliczony jest różnie:

- 1 kWh = 3,6 MJ [Tymiński i in. 1997],
- 1 kWh = 11,0 MJ [Bibrowski i in. 1977],
- 1 kWh = 6,0 MJ [Wójcicki i in.].

Różni autorzy podają różne kategorie i różne liczby przeliczników energetycznych (tab. 3). Trzeba podejmować próby ujednoczania przeliczników energetycznych stosowanych w naukach rolniczych, uwzględniając też sprawność (k) wykorzystania nośników energii.

Tabela 3. Przeliczniki energetyczne wg różnych kategorii i źródeł

Table 3. Conversion factors of energy according to various categories and sources

Nośniki energii	Przeliczniki w MJ / kg wartości energetycznej wg			
	Tymiński i in.	Dreszer i in.	Bibrowski, Grzybek, Wójcicki i in.	
	opałowa	opałowa	żywniowa	skumulowana
Olej napędowy	42,3	41	–	48
Benzyna	43,3	42	–	50
Olej rzepakowy	37,1	37	37	–
Etanol	27,0	27	25	–
Węgiel kamienny	25,5	12 – 30	–	27
Drewno	15,0	12 – 21	–	11 – 16
Słoma (sucha)	16,5	16 – 17	–	1,8
Ziarno zbóż	–	(18,5)	14	9 (1,0)
Nasiona rzepaku	–	–	20	12 (2,0)
Ziemniaki	–	–	3,5	2 – 2,5 (0,35)
Mleko	–	–	3	13 (0,9)

### Podsumowanie i wnioski

1. Znaczenie badań nad energochłonnością produkcji rolniczej znowu wzrasta w związku z potrzebami dokonywania wielokryterialnych ocen:
  - użytkowania nowych agregatów maszynowych lub linii technologicznych,
  - wprowadzania nowocześniejszych technologii produkcji rolniczej,
  - modernizowania gospodarstw rolniczych,
  - wykorzystywania odnawialnych zasobów energetycznych (OZE) na wsi i w rolnictwie,
  - poszanowania energii i środowiska na obszarach wiejskich.

2. Badania nakładów materiałowo-energetycznych s<sup>1</sup> wykorzystywane do szacowania rolniczych efektów:
  - produkcyjnych (plony roślin i produktywności zwierząt),
  - energetycznych,
  - ekonomicznych,
  - ekologicznych:
    - bezpieczeństwa żywnościowego,
    - dobrostanu zwierząt,
    - reprodukcji zasobów gleb,
    - emisja CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O i innych.
3. Wszystkie efekty rolnicze można szacować wg aktualnego ich stanu lub wg dynamiki przyrostu ( $\pm\Delta$ ) w:
  - naturalnych jednostkach fizycznych (ha, ton, szt.),
  - stosowanych jednostkach pieniężnych (zł, euro i inne),
  - umownych jednostkach energetycznych (kWh, MJ, kcal i inne),
  - umownych jednostkach produkcji rolniczej (JZ i inne),
  - umownych jednostkach ekologicznych i innych.
4. Stwierdza się istotne różnice w definiowaniu, mianowaniu i liczbowym określeniu wskaźników, mierników i przeliczników energetycznych podawanych przez autorów monografii i rozpraw naukowych.
5. Trzeba podjąć interdyscyplinarne studia dla doskonalenia metodologii badań energochłonnościowych i ujednoczenia umownych przeliczników energetycznych i produkcyjnych stosowanych w naukach rolniczych.
6. W publikacjach dotyczących badań efektów i efektywności energetycznej trzeba wyraźnie zaznaczyć co wchodzi w skład analizowanych nakładów i jakie zastosowano przeliczniki.

### **Bibliografia**

- Bibrowski i in. 1977. Badania energochłonności produkcji. Wydawnictwo IPPT - PAN, Warszawa
- Chochowski A., Cucholski D. 2001. Diagnostyka energetyczna w zintegrowanym systemie odnawialnych źródeł energii. Materiały z konferencji nt. Odnawialne Źródła energii u progu XXI wieku. Wydawnictwo IBMER, Warszawa, 117-123
- Dreszer A., Roszkowski A., Michałek R. 2003. Energia odnawialna - możliwości jej pozyskania i wykorzystania w rolnictwie. Wydawnictwo PTIR, Kraków
- Grzybek A. 1997. Rolnictwo jako Źródło i użytkownik energii. Wydawnictwo IBMER, Warszawa

Grzybek A., 2003. Wpływ wybranych technologii na środowisko i energochłonność przetwórstwa owocowo-warzywnego. Rozprawa habilitacyjna. Inżynieria Rolnicza, 2(44)

Pabis J. 2001. Rozwój wykorzystania odnawialnych Źródeł energii w Polsce. Technologiczne, Ekologiczne i Ekonomiczne Aspekty Energetyki Odnawialnej. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 7-12

Szeptycki A., Wójcicki Z. 2003. Postęp technologiczny i nakłady energetyczne w rolnictwie do 2020 r. Wydawnictwo IBMER, Warszawa

Tymiński J. 1997. Wykorzystanie odnawialnych Źródeł energii w Polsce do 2030 r. Wydawnictwo IBMER, Warszawa

#### **METHODOLOGICAL QUESTION AT INVESTIGATION OF ENERGY INPUTS IN AGRICULTURAL PRODUCTION**

##### **Summary**

Study on the efficiency of mechanized farm production, needs the energy consumption and energetic effectiveness to be often determined. Some methodological problems arising in the course of studies on cumulated material and energy inputs in agriculture were discussed in the paper. Undertaking of interdisciplinary studies to unify the methods, indices and conversion factors necessary to valuating the effects and energetic efficiency of food and agricultural raw material production, were recommended.

**Key words:** energy consumption, agricultural production, inputs, efficiency, indices, methods, errors

*Recenzent: Jan Pawlak*