

Rafał Bał, Jacek Bieranowski  
Katedra Elektrotechniki i Energetyki  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

**MODEL SYSTEMU WYTWARZANIA I WYKORZYSTANIA  
ODNAWIALNYCH NOŚNIKÓW ENERGETYCZNYCH  
POCHODZENIA ROLNICZEGO  
CZ. II MODEL MATEMATYCZNY I SYMULACYJNY  
SYSTEMU WYTWARZANIA I WYKORZYSTANIA  
ODNAWIALNYCH NOŚNIKÓW ENERGII**

**Streszczenie**

W artykule zaprezentowano model matematyczny i symulacyjny systemu wytwarzania i wykorzystania odnawialnych nośników energii pochodzenia rolniczego na poziomie wybranej gminy województwa warmińsko – mazurskiego. Do zbudowania modelu matematycznego wykorzystano definicję charakterystyk matematycznych i klas charakterystyk matematycznych, co w toku dalszej kompozycji stanowiło punkt wyjścia do budowy modelu symulacyjnego.

**Słowa kluczowe:** odnawialne nośniki energii, model matematyczny systemu

**Wprowadzenie**

W artykule przedstawiono model matematyczny i symulacyjny systemu wytwarzania i wykorzystania odnawialnych nośników energii pochodzenia rolniczego dla pojedynczej gminy. Model ten opisano na zbiorze elementów i cech elementów modelu relacyjnego  $\mathcal{X}_{(e)}$  (patrz Cz. I. niniejszego artykułu).

**Metodyka**

Model matematyczny systemu można przedstawić jako następującą strukturę:

$$M \subset (\mathcal{X}_{(e)} \times \mathcal{X}_{(e)}) \times C \quad (5)$$

gdzie:

- $\mathcal{X}_{(e)}$  – zbiór elementów modelu,
- $C$  – zbiór cech elementów modelu.

Utworzono następujące klasy charakterystyk matematycznych  $X_\phi$  systemu wytwarzania odnawialnych nośników energii:

$$X_\phi = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9\} \quad (6)$$

gdzie:

$\phi$ : numer klasy charakterystyk matematycznych.

Ze względu na ograniczenia edytorskie oraz obszerny charakter zbioru klas charakterystyk matematycznych  $X_\phi$ , dla przykładu opisano pojedynczą charakterystykę matematyczną dla elementu modelu **GRO** – grunty czasowo wyłączone z produkcji rolniczej. Cechą, która dla tego zbioru ma największą liczbę relacji, jest możliwość produkcji wybranych roślin energetycznych  $Z_{GRO}^4$ . Zbiór klas charakterystyk matematycznych dla elementów **GRO** ma postać:

$$X_{\phi GRO} = \{X_{1GRO}, X_{2GRO}, X_{3GRO}, X_{7GRO}\} \quad (7)$$

gdzie:

$X_{1GRO}$  – charakterystyka matematyczna wyznaczania energii z produkcji estrów metylowych ( $E_{est.}$ ),

Charakterystyka  $X_{1GRO}$  jest zbiorem jednoelementowym zawierającym zbiór parametrów wyznaczania energii z produkcji estrów metylowych ( $E_{est.}$ ). Dla przykładu, algorytm wyznaczania energii alkoholu metylowego ( $E_{est.}$ ) uzyskany z produkcji estrów metylowych ma następującą postać:

$$E_{est.} = 0,001 \times M_{est.} \times Q_e \text{ (MJ)} \quad (8)$$

gdzie:

$M_{est.}$  – masa estrów metylowych (t),

$Q_e$  – wartość opałowa estrów metylowych (MJ/kg).

Wartość opałową estrów metylowych ( $Q_e$ ) wyznaczono w oparciu o prace Budzyńskiego i Ojczyka [1996].

$X_{2GRO}$  – charakterystyka matematyczna wyznaczania energii z produkcji alkoholu etylowego ( $E_{al.ety.}$ ) z wybranych roślin energetycznych,

Charakterystyka  $X_{2GRO}$  jest zbiorem czteroelementowym zawierającym zbiór parametrów wyznaczania energii z produkcji alkoholu etylowego ( $E_{al.ety.}$ ) z wybranych roślin energetycznych (ziemniak, burak cukrowy, żyto, topinambur). Wartość energetyczną ( $E_{al.ety.}$ ) z produkcji alkoholu etylowego wyznaczono ze wzoru:

$$E_{\text{al. ety.}} = 0,001 \times M_{\text{al. ety.}} \times Q_i \quad (\text{MJ}) \quad (9)$$

gdzie:

- $M_{\text{al. ety.}}$  – masa alkoholu etylowego dla poszczególnych roślin energetycznych (t),
- $Q_i$  – wartość opałowa litra surowego spirytusu (MJ/kg).

Wartość opałową surowego spirytusu  $Q_i$  wyznaczono za Roszkowskim [2001].

$X_{3GRO}$  – charakterystyka matematyczna wyznaczania energii uzyskanej z produkcji wierzby energetycznej ( $E_w$ ),

Charakterystyka  $X_{3GRO}$  jest zbiorem dwuelementowym zawierającym zbiór parametrów wyznaczania energii z produkcji wierzby energetycznej ( $E_w$ ). Wartość energetyczną ( $E_w$ ) uzyskaną z produkcji wierzby energetycznej obliczono z wzoru:

$$E_w = E_{w\_1} + E_{w\_3} \quad (\text{MJ}) \quad (10)$$

We wzorze (10) energię uzyskaną z wierzby energetycznej w cyklu jednorocznym ( $E_{w\_1}$ ) i cyklu trzyletnim ( $E_{w\_3}$ ), wyznaczono według wzorów:

$$E_{w\_1} = 0,001 \times P_{w\_1} \times Q_{w\_1} \quad (\text{MJ}) \quad (11)$$

$$E_{w\_3} = 0,001 \times P_{w\_3} \times Q_{w\_3} \quad (\text{MJ}) \quad (12)$$

gdzie:

- $P_{w\_1}$  – plon wierzby w cyklu jednorocznym (t),
- $P_{w\_3}$  – plon wierzby w cyklu trzyletnim (t),
- $Q_{w\_1}$  – wartość opałowa wierzby energetycznej w cyklu jednorocznym (MJ/kg),
- $Q_{w\_3}$  – wartość opałowa wierzby energetycznej w cyklu jednorocznym (MJ/kg)

Wartości opałowe w cyklu jednorocznym ( $Q_{w\_1}$ ) i cyklu trzyletnim ( $Q_{w\_3}$ ) przyjęto za Szczukowskim i in. [2004].

$X_{7GRO}$  – charakterystyka matematyczna wyznaczania energii uzyskanej, pochodzenia roślinnego ( $E_R$ ),

Charakterystyka  $X_{7GRO}$  jest zbiorem trzejelementowym zawierającym zbiór parametrów wyznaczania energii pochodzenia rolniczego ( $E_R$ ). Całkowitą uzyskaną energię pochodzenia roślinnego ( $E_R$ ) obliczono na podstawie wzoru:

$$E_R = E_{\text{est.}} + E_{\text{al. ety.}} + E_w \quad (\text{MJ}) \quad (13)$$

gdzie:

- $E_{\text{est.}}$  – energia alkoholu metylowego (MJ),
- $E_{\text{al. ety.}}$  – energia alkoholu etylowego (MJ),
- $E_w$  – energia z wierzby energetycznej (MJ).

Zbudowane modele: relacyjny (Cz. I) i matematyczny są punktem wyjścia do budowy modelu symulacyjnego systemu wytwarzania i wykorzystania odnawialnych nośników energii pochodzenia rolniczego. Do budowy programu symulacyjnego wykorzystano następujące zbiory danych wejściowych i wyjściowych:

Dane wejściowe:

- zmienna niezależna (plon jednostkowy (dt/ha)),
- zmienna decyzyjna (areal dostępny pod uprawy energetyczne (ha)).

Dane wyjściowe:

- plon całkowity (t/ha),
- masa surowego spirytusu (t),
- masa estrów metylowych (t),
- wydajność energetyczna (MJ).

## Funkcjonowanie modelu

Algorytm funkcjonalny głównej części programu wytwarzania i wykorzystania odnawialnych nośników energii ilustruje schemat ideowy przedstawiony na rysunku 1. Ze względu na ograniczenia edytorskie nie można było przedstawić poszczególnych części składowych schematu ideowego. Przyjęto następujące warianty funkcjonowania modelu wytwarzania i wykorzystania odnawialnych nośników energii:

- wyznaczenie stopnia zapotrzebowania na pierwotne nośniki energii (węgiel, miał, energia elektryczna, drewno, paliwa gazowe itd).
- wyznaczenie potrzeb energetycznych gminy oraz procent pokrycia tego zapotrzebowania z odnawialnych nośników energii (zgodnie z Dz. U. Nr 122, poz. 1336 – na poziomie 2,65 % (2003 r.), 2,85 % (2004 r.)).
- możliwość wytwarzania biopaliw pochodzenia roślinnego generujących energię, wyznaczono wg. wzoru 13 lub biopaliw pochodzenia zwierzęcego, generującą energię wg. wzoru:

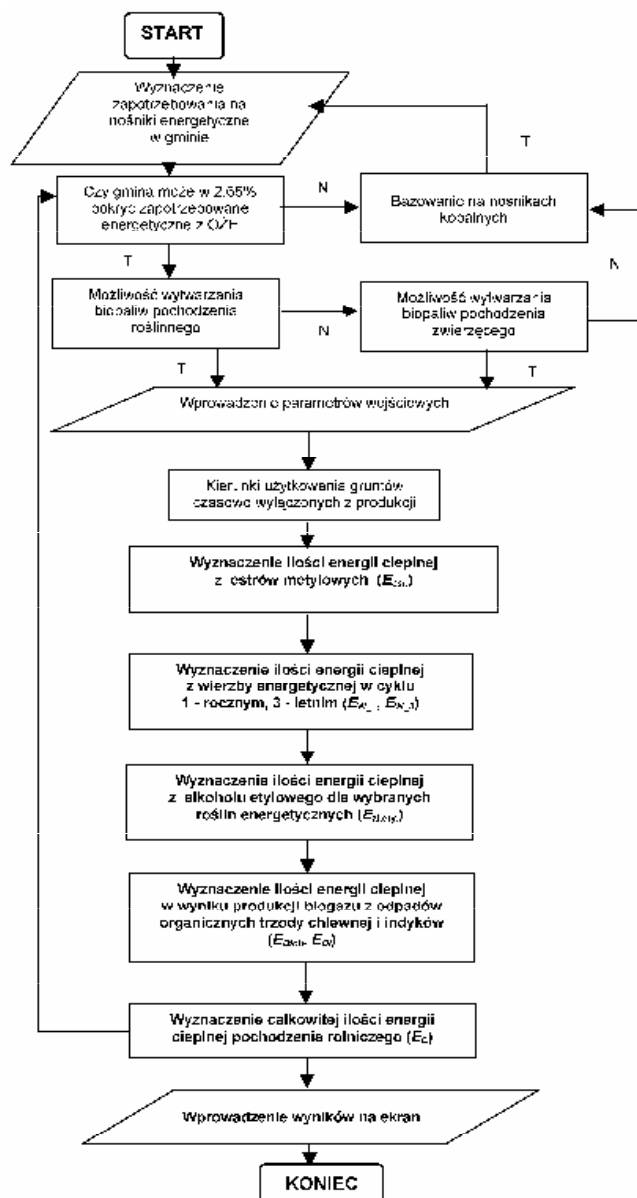
$$E_Z = E_{Btch} + E_{Bi} \quad (\text{MJ}) \quad (14)$$

gdzie:

$E_Z$  – całkowita energia pochodzenia zwierzęcego (MJ),

$E_{Btch}$  – energia uzyskana z biogazu wyprodukowanego z obornika od trzody chlewnej (tzn. knurów, macior, tuczników, warchlaków i prosiąt) (MJ),

$E_{Bi}$  – energia uzyskana z biogazu wyprodukowanego z obornika od indyków (MJ)



Rys. 1. Algorytm głównej części programu wytwarzania i wykorzystania odnawialnych nośników energii

Fig. 1. Algorithm of the main part of the program of generating and utilizing renewable energy carriers

W zależności od otrzymanych wyników dekomponowano parametr wejściowy zmiennej niezależnej oraz zmiennej decyzyjnej. Uwzględnienie tych parametrów pozwoliło na wyznaczenie:

1. ilości energii cieplnej uzyskanej z estrów metylowych ( $E_{est.}$ ) - wzór 8,
2. ilości energii cieplnej uzyskanej z alkoholu etylowego dla wybranych roślin energetycznych ( $E_{al.ety.}$ ) - wzór 9,
3. ilości energii cieplnej uzyskanej z wierzby energetycznej w cyklu 1 – rocznym i 3 - letnim ( $E_w$ ) - wzór 10,
4. ilości energii cieplnej uzyskanej w wyniku produkcji biogazu z odpadów organicznych trzody chlewnej i indyków ( $E_{Btch}$ ,  $E_{Bi}$ ),
5. całkowitej ilości energii cieplnej pochodzenia rolniczego ( $E_C$ ) według wzoru:

$$E_C = E_R + E_Z \quad (\text{MJ}) \quad (15)$$

Poszczególne elementy formuły ( $E_C$ ) wyznaczono ze wzoru (13) oraz (14). Po wyjściu z algorytmu bilansowania całkowitej ilości energii cieplnej (rysunek) drukowane są wyniki.

### Weryfikacja modelu

Na podstawie przeprowadzonych badań ankietowych i zebranych danych na obszarze wybranej gminy, zbudowano model matematyczny i symulacyjny. W celu zweryfikowania poprawności przyjętej metodyki z wynikami otrzymanymi z sondażu diagnostycznego zrealizowano 5 eksperymentów symulacyjnych z modelem wytwarzania i wykorzystania odnawialnych nośników energii na przykładzie uprawy: ziemniaka i rzepaku na potrzeby produkcji surowców energetycznych. Przy uprawie rzepaku na powierzchni 30 ha plon całkowity jaki podaje jeden z respondentów wynosi 75 t, wynik testacji dla powierzchni 30 ha to plon 90 t. Dla masy estrów rzepakowych, otrzymano odpowiednio około 26,1 t i 30 t. Dla uprawy ziemniaka na 3 ha uzyskano plon 60 t (dane empiryczne) przy 75 t dla danych z eksperymentu symulacyjnego. Wyższy zakładany plon dla eksperymentu symulacyjnego wynika z kompleksowego podejścia do uprawy ziemniaka i rzepaku, zgodnie ze sztuką agrotechniczną. Do budowy modelu symulacyjnego wykorzystano następujące przykładowe dane: klasa ziemi, stanowisko w płodozmianie, nawożenie, ochrony roślin, średni plon, rozkład opadów w okresie wegetacji za okres ostatnich pięciu lat.

W oparciu o powyższe przytoczone dane można stwierdzić że:

- model numeryczny należy poddać dalszej weryfikacji w celu uzyskania próby zbliżonej danym empirycznym,
- w modelu numerycznym przy uprawie roślin energetycznych nie uwzględniono czynników strat: biologicznych, mechanicznych np. wymarzania, zbioru itd.

Zaobserwowane różnice między wartościami teoretycznymi a pomiarami można wytłumaczyć pominięciem w modelu strat.

### **Wnioski i zalecenia**

1. Zbudowany model systemu wytwarzania i wykorzystania odnawialnych nośników energii pozwala określić: masę uzyskanego surowego spirytusu, masy estrów rzepakowych, ilości biogazu od trzody chlewnej, ilości biogazu od indyków.
2. Zastosowanie modelu wytwarzania i wykorzystania odnawialnych nośników energii do wyznaczania wartości energetycznej biopaliw pochodzenia roślinnego i zwierzęcego, ułatwia planowanie energetyczne na szczeblu gminy.
3. Istnieje potrzeba prowadzenia dalszych badań w zakresie doskonalenia modelu wytwarzania i wykorzystania odnawialnych nośników energii w aspekcie:
  - analizy ekonomicznej opłacalności produkcji energii odnawialnej pochodzenia rolniczego,
  - zwiększenia zbioru danych w celu uzyskania próby statystycznej wiarygodnej do przeprowadzenia szerszej analizy statystycznej procesów zachodzących w modelu.

### **Bibliografia**

Budzyński W., Ojczyk T. 1996. Rzepak produkcja surowca olejarskiego. Wydawnictwo Akademii Rolniczo – Technicznej w Olsztynie.

Roszkowski A. 2001. Wytwarzanie nośników energii jako szansa dla rolnictwa XXI wieku. III Międzynarodowa Konferencja Naukowo–Techniczna MOTROL 2001 „Motoryzacja i energetyka rolnictwa”. Lublin 19-21 wrzesień, s. 17-24.

Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M.J. 2004. Wierzba energetyczna. Wydawnictwo Plantpress Sp. z o. o. Kraków.

## **MODEL OF A SYSTEM GENERATING AND UTILIZING RENEWABLE ENERGETIC CARRIERS OF AGRICULTURAL ORIGIN.**

**PART 2. MATHEMATICAL AND SIMULATED MODEL  
OF A SYSTEM GENERATING  
AND UTILIZING RENEWABLE ENERGY CARRIERS**

**Summary**

Mathematical system and simulated program, generating and utilizing renewable energy carriers of agricultural origin in a chosen commune of Warmia and Mazury Voyevodship was presented in the paper. Definition of mathematical characteristic and classes of mathematical characteristics were used for building a mathematical model and further it was used for building a simulated model.

**Key words:** renewable, energy carriers, mathematical model of a system