

Rafał Bał, Jacek Bieranowski, Janusz Piechocki  
Katedra Elektrotechniki i Energetyki  
Uniwersytet Warmińsko – Mazurski w Olsztynie

**MODEL SYSTEMU WYTWARZANIA I WYKORZYSTANIA  
ODNAWIALNYCH NOŚNIKÓW ENERGETYCZNYCH  
POCHODZENIA ROLNICZEGO  
CZ. I. MODEL RELACYJNY SYSTEMU WYTWARZANIA  
I WYKORZYSTANIA ODNAWIALNYCH NOŚNIKÓW ENERGII**

**Streszczenie**

W pracy zastosowano podejście systemowe do rozwiązywania zagadnień ekoenergetycznych tj. wytwarzania odnawialnych nośników energii pochodzenia rolniczego na poziomie wybranej gminy województwa warmińsko – mazurskiego. Wykazano potrzebę całościowych, systemowych rozwiązań wyznaczania zapotrzebowania na energię z zasobów odnawialnych pochodzenia rolniczego. Budowę systemu wytwarzania odnawialnych nośników energii zrealizowano w dwóch etapach: I budowa modelu relacyjnego, II budowa modelu matematycznego i programu symulacyjnego (numerycznego). W niniejszym artykule przedstawiono etap I – model relacyjny systemu.

**Słowa kluczowe:** odnawialne nośniki energii, modelowanie systemów technicznych, planowanie energetyczne, model relacyjny, elementy modelu, rolnictwo

**Wprowadzenie**

Energetyka oparta na źródłach odnawialnych według Szeptyckiego [2001] ze względu na swój specyficzny charakter, wielostronność i wielowariantowość jest szczególnie interesująca przy kształtowaniu polityki rozwoju regionalnego. W chwili obecnej brak jest obiektywnych metod umożliwiających:

- prognozowanie i identyfikację zapotrzebowania na energię ciepłą, elektryczną i paliwa gazowe;
- wykorzystanie nadwyżek lokalnych zasobów energii odnawialnej.

W celu realizacji tak postawionego problemu autorzy artykułu podjęli próbę wykorzystania metody modelowania systemów technicznych, polegającą na ujęciu wybranej branży na danym obszarze w jeden wspólny logicznie uzasadniony system [Bieranowski 2003].

W oparciu o badania ankietowe (badano 990 gospodarstwa rolne w gminie Gietrzwałd województwo W - M), analizowano zużycie konwencjonalnych nośników energii w celu oceny możliwości zbudowania zrównoważonego systemu energetycznego z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii pochodzenia rolniczego. Analizowane gospodarstwa rolne w poszczególnych sołectwach gminy charakteryzowały się zróżnicowaną strukturą powierzchni: grunty orne, użytki zielone, lasy, sady oraz grunty czasowo wyłączone z produkcji rolniczej. Na podstawie badań ankietowych stwierdzono, że w gminie znajduje się obecnie 993 ha gruntów wyłączonych z produkcji. Daje to możliwość wykorzystania tych użytków pod uprawę roślin energetycznych. Podstawowymi roślinami energetycznymi w gminie mogą być: rzepak, ziemniaki, żyto, topinambur, buraki cukrowe, wiklina energetyczna.

Drugim pod względem znaczenia nośnikiem energii odnawialnej w gminie są odchody zwierzęce. W oparciu o wyniki badań ankietowych w gminie wyznaczono ilość obornika i gnojowicy z przemysłowych ferm tuczu indyków i trzody chlewnej.

## **Cel pracy**

Celem dwuczęściowej serii artykułu pt: „Model systemu wytwarzania i wykorzystania odnawialnych nośników energetycznych pochodzenia rolniczego”, jest opracowanie efektywnego narzędzia pozwalającego wyznaczać zapotrzebowanie na nośniki energetyczne i określać możliwości wytwarzania energii cieplnej i elektrycznej z odnawialnych źródeł energii na terenie wybranej gminy województwa warmińsko-mazurskiego. Dla zrealizowania tak sformułowanego celu niezbędne jest:

1. Zbudowanie modelu relacyjnego systemu (część I pracy), pozwalającego na:
  - identyfikację elementów systemu energetycznego,
  - ustalenie kryterium formalnego obiektywizującego procesu agregacji komponentów systemu przedmiotowego w zbiór elementów modelu relacyjnego na poziomie gminy,
  - wyznaczenie cech charakteryzujących te elementy i relacji między nimi.
2. Zbudowanie modelu matematycznego i symulacyjnego (część II), umożliwiającego:
  - określenie możliwości wytwarzania energii cieplnej i elektrycznej z odnawialnych źródeł energii pochodzenia roślinnego i zwierzęcego,

## Metodyka

Model relacyjny zbudowano następująco: zidentyfikowano zbiór czynników istotnych  $\chi_{(i)}$  to jest zbiór wszystkich komponentów wchodzących w skład systemu: zużycia pierwotnych nośników energetycznych, produkcji odpadów organicznych pochodzenia zwierzęcego oraz struktury agralnej poszczególnych gospodarstw. Zbiór czynników istotnych  $\chi_{(i)}$  ma następującą postać:

$$\chi_{(i)} = \{S_{(i)}, ZEE_{(i)}, ZON_{(i)}, ZB_{(i)}, ZOP_{(i)}, ZD_{(i)}, ZG_{(i)}, ZT_{(i)}, ZK_{(i)}, ZM_{(i)}, ZW_{(i)}, OT_{(i)}, GT_{(i)}, OI_{(i)}, PI_{(i)}, UZ_{(i)}, GO_{(i)}, L_{(i)}, SA_{(i)}, GRO_{(i)}\} \quad (1)$$

gdzie:

$S_{(i)}$	– liczba sołectw	-
$ZEE_{(i)}$	– zużycie energii elektrycznej	(MJ),
$ZON_{(i)}$	– zużycie oleju napędowego	(MJ),
$ZB_{(i)}$	– zużycie benzyn silnikowych	(MJ),
$ZOP_{(i)}$	– zużycie oleju opałowego	(MJ),
$ZD_{(i)}$	– zużycie drewna	(MJ),
$ZG_{(i)}$	– zużycie gazu	(MJ),
$ZT_{(i)}$	– zużycie trocin	(MJ),
$ZK_{(i)}$	– zużycie koksu	(MJ),
$ZM_{(i)}$	– zużycie mialu	(MJ),
$ZW_{(i)}$	– zużycie węgla	(MJ),
$OT_{(i)}$	– obornik z trzody chlewnej	(MJ),
$GT_{(i)}$	– gnojowica z trzody chlewnej	(MJ),
$OI_{(i)}$	– obornik z indyczarni	(MJ),
$PI_{(i)}$	– pióra z ubojni indyków	(MJ),
$UZ_{(i)}$	– użytki zielone	(ha),
$GO_{(i)}$	– grunty orne	(ha),
$L_{(i)}$	– lasy	(ha),
$SA_{(i)}$	– sady	(ha),
$GRO_{(i)}$	– grunty rolne odłogowane	(ha).

Zidentyfikowane komponenty zbioru  $\chi_{(i)}$ , umożliwiły ocenę stanu aktualnego zapotrzebowania na ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe w ciągu roku, możliwości wykorzystania gruntów czasowo wyłączonych z produkcji rolniczej oraz zagospodarowania odpadów organicznych pochodzenia zwierzęcego. Zbiór czynników istotnych  $\chi_{(i)}$ , zawiera wszystkie składniki systemu wybrane na podstawie danych pochodzących z sondażu diagnostycznego (ankiety). Odwzorowanie zbioru czynników istotnych  $\chi_{(i)}$  w zbiór elementów modelu relacyjnego  $\chi_{(e)}$  zrealizowano

przez izomorficzne odwzorowanie zbioru pośredniego  $\mathcal{X}_{(g)}$  (zbioru obiektów głównych) [Bieranowski 2003]. Izomorficzne odwzorowanie Żółtowski i Niziński [2002] uzależniają od sposobu odzwierciedlenia wybranych właściwości procesów i związków zachodzących w modelowanym systemie oraz celu badań, który zależy od charakteru poszukiwanych danych. W rezultacie otrzymano następujący zbiór elementów modelu relacyjnego:

$$\mathcal{X}_{(e)} = \{ S_{(e)}, NK_{(e)}, GRO_{(e)}, OOT_{(e)}, OPI_{(e)} \} \quad (2)$$

gdzie:

$S_{(e)}$	– liczba sołectw	-
$NK_{(e)}$	– nośniki konwencjonalne	(MJ)
$GRO_{(e)}$	– grunty rolne odłogowane	(ha),
$OOT_{(e)}$	– odpady organiczne z produkcji trzody chlewnej	(MJ),
$OPI_{(e)}$	– odpady organiczne z produkcji indyków	(MJ),

Graficzne odwzorowanie zbioru czynników istotnych  $\mathcal{X}_{(i)}$  w zbiór elementów modelu (2) przedstawiono na rys. 1. Rysunek 1 ilustruje sposób agregacji zbioru czynników istotnych  $\mathcal{X}_{(i)}$ , i odwzorowanie w zbiór elementów modelu relacyjnego  $\mathcal{X}_{(e)}$ , systemu wytwarzania i wykorzystania odnawialnych nośników energii. Zmniejszenie liczności zbioru nie spowodowało zmiany funkcjonowania systemu. Oddziaływanie między zbiorami  $\mathcal{X}_{(i)} \rightarrow \mathcal{X}_{(g)} \rightarrow \mathcal{X}_{(e)}$  oraz wynikający z nich model relacyjny systemu posłużył do syntezy struktury matematycznej i symulacyjnej (numerycznej) metody wyznaczania wielkości wytwarzania i wykorzystania odnawialnych nośników energii. Każdy element modelu  $\mathcal{X}_{(e)}$  jest odpowiednim podzbiorem scharakteryzowanym następująco:

$S_{(e)} = \{S_i\}$ ,  $\{i = 1, 2, \dots, I\}$ , gdzie  $i$  jest numerem sołectwa.

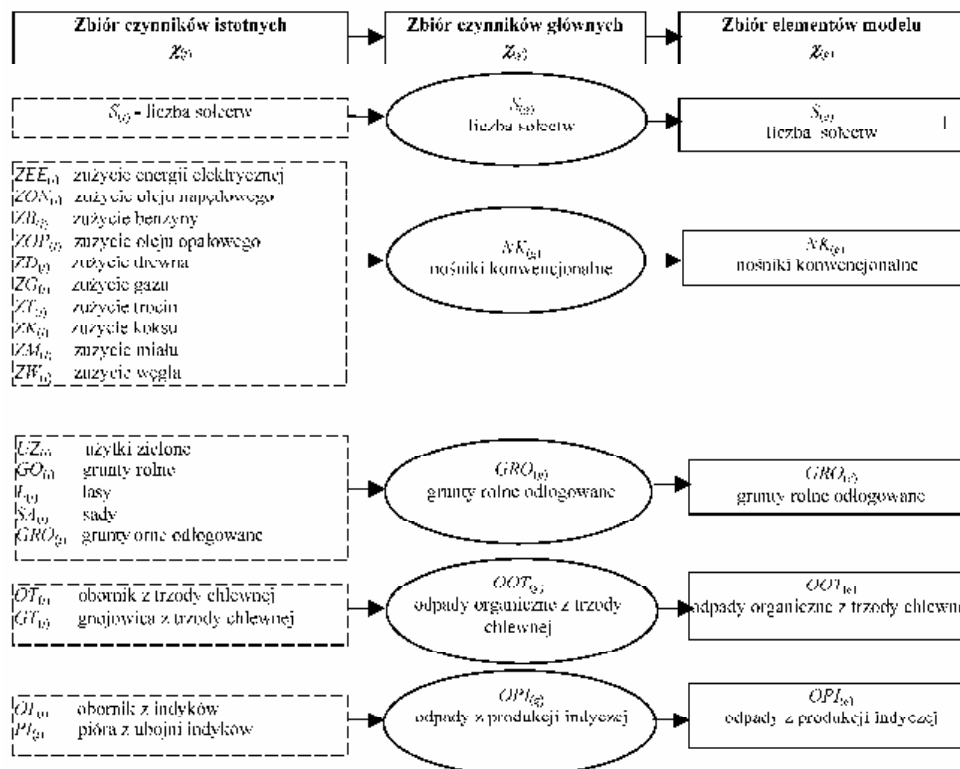
$NK_{(e)} = \{NK_h\}$ ,  $\{h = 1, 2, \dots, H\}$ , gdzie  $h$  jest numerem kolejnego nośnika energetycznego:

$h = 4 \Rightarrow$  olej opałowy, (MJ),  $h = 5 \Rightarrow$  drewno (MJ),  $h = 6 \Rightarrow$  gaz (MJ),  
 $h = 7 \Rightarrow$  trociny (MJ),  $h = 8 \Rightarrow$  koks (MJ),  $h = 9 \Rightarrow$  miął (MJ),  
 $h = 10 \Rightarrow$  węgiel (MJ).

$GRO_{(e)} = \{GRO_u\}$ ,  $\{u = 1, 2, \dots, U\}$ , gdzie  $u$  oznacza klasę bonitacji gruntów:  
 $u = 1 \Rightarrow$  klasa bonitacji IV a,  $u = 2 \Rightarrow$  klasa bonitacji IV b,  $u = 3 \Rightarrow$  klasa bonitacji V,  $u = 4 \Rightarrow$  klasa bonitacji VI.

$OOT_{(e)} = \{OOT_m\}$ ,  $\{m = 1, \dots, M\}$ , gdzie  $m$  jest numerem odpadu organicznego produkcji trzody chlewnej:  $m = 1 \Rightarrow$  obornik,  $m = 2 \Rightarrow$  gnojowica.

$OPI_{(e)} = \{OPI_n\}$ ,  $\{n = 1, \dots, N\}$ , gdzie  $n$  jest zbiorem dwuelementowym odpadów z produkcji indyczej:  $n = 1 \Rightarrow$  obornik,  $n = 2 \Rightarrow$  pióra z ubojni indyków.



Rys. 1. Odzworowanie zbioru czynników istotnych w zbiór elementów modelu relacyjnego systemu wytwarzania i wykorzystania odnawialnych nośników energii

Fig. 1. Mapping of a set of significant factors into a set of elements of a model of a relational system of generating and utilizing renewable energy carriers

Dla poszczególnych elementów modelu relacyjnego wyróżniono zbiory cech (C) charakteryzujące każdy element wg. metodyki podanej przez Bieranowskiego [2005]:

$$C = \{C_i^k\}_{i=1, k=1}^{I, K} \quad (3)$$

gdzie:

$C_i^k$  :  $i$  – ta cecha,  $k$  – tego elementu modelu.

Identyfikację relacji między poszczególnymi cechami elementów modelu relacyjnego (3) można zapisać w postaci macierzy zero – jedynkowej  $[a_{ij}]$ , gdzie  $i, j$  – numer kolejnej cechy. Występowanie relacji dowolnego rodzaju oznaczono „1”, lub „0” – brak relacji między danymi elementami modelu. Relacje między elementami modelu zdefiniowano arbitralnie. Poszczególne zbiory cech charakteryzujące elementy modelu, zapisane w formie macierzy zero – jedynkowej, wykazywały zróżnicowaną liczbę relacji względem siebie. Cechy o największej liczbie relacji stanowiły punkt wyjścia do dalszej analizy modelu systemu przedmiotowego. Dla przykładu, zbiór cech oraz macierz relacji elementów modelu  $GRO$  – grunty czasowo wyłączone z produkcji rolniczej ma następującą postać:

$$C_{GRO} = \langle Z_{GRO}^1, Z_{GRO}^2, Z_{GRO}^3, Z_{GRO}^4, Z_{GRO}^5, Z_{GRO}^6, Z_{GRO}^7, Z_{GRO}^8 \rangle \quad (4)$$

gdzie:

- $Z_{GRO}^1$  – powierzchnia nieużytków (ha),
- $Z_{GRO}^2$  – opłacalność produkcji rolniczej (zł),
- $Z_{GRO}^3$  – klasa bonitacji gleby (I - VI),
- $Z_{GRO}^4$  – możliwości produkcji wybranych roślin energetycznych: burak cukrowy, ziemniak, rzepak, żyto, topinambur, wierzba energetyczna,
- $Z_{GRO}^5$  – plon roślin energetycznych (t/ha),
- $Z_{GRO}^6$  – nakłady poniesione na produkcję energetyczną (MJ/ha),
- $Z_{GRO}^7$  – opłacalność produkcji roślin energetycznych (zł),
- $Z_{GRO}^8$  – wykorzystanie wybranych roślin energetycznych.

W zbiorze elementów modelu relacyjnego  $\mathcal{X}_{(e)}$  opisano zbiory cech charakteryzujące poszczególne elementy modelu.

Macierz relacji:

CECHA	$Z_{GRO}^1$	$Z_{GRO}^2$	$Z_{GRO}^3$	$Z_{GRO}^4$	$Z_{GRO}^5$	$Z_{GRO}^6$	$Z_{GRO}^7$	$Z_{GRO}^8$
$Z_{GRO}^1$	1	0	1	1	0	0	0	1
$Z_{GRO}^2$	1	1	0	0	0	0	0	0
$Z_{GRO}^3$	1	1	1	1	1	0	1	1
$Z_{GRO}^4$	0	0	1	1	1	0	0	0
$Z_{GRO}^5$	0	0	1	1	0	0	1	1
$Z_{GRO}^6$	0	0	0	1	0	1	1	1
$Z_{GRO}^7$	0	0	0	1	0	0	1	1
$Z_{GRO}^8$	0	0	0	1	1	1	1	1

I tak w zbiorze relacji między cechami elementów modelu *GRO*-grunty czasowo wyłączone z produkcji rolniczej, cechą która wykazała największą liczbę relacji w stosunku do innych, jest  $Z_{GRO}^4$  - możliwość produkcji roślin energetycznych. Dla przykładu jako rośliny energetyczne przyjęto: ziemniaki, buraki cukrowe, żyto, topinambur ( $E_{al. ety}$ )-do produkcji alkoholu etylowego, rzepak ( $E_{est.}$ )-do produkcji estrów metylowych oraz wierzbę energetyczną w cyklu 1-rocznym i 3-letnim ( $E_{w_1}$ ,  $E_{w_3}$ )-do produkcji energii cieplnej.

### Podsumowanie

Przedstawiona metodyka budowy modelu wytwarzania i wykorzystania odnawialnych nośników energii jest punktem wyjścia do budowy modelu matematycznego i symulacyjnego (numerycznego). W niniejszym artykule (Cz. I) zastosowano podejście systemowe do budowy i analizy planowania energetycznego na szczeblu lokalnym. W dalszej części artykułu (Cz. II), zawarto model matematyczny oraz symulacyjny systemu wytwarzania i wykorzystania odnawialnych nośników energii.

### Bibliografia

- Bieranowski J. 2003. Model systemu utrzymania wybranych maszyn przemysłu rolno-spożywczego. *Inżynieria Rolnicza* 1(43), s. 9-88.
- Bieranowski J. 2005. Kryteria wyboru zespołów funkcjonalnych w aspekcie budowy modelu abstrakcyjnego. *Maszyny Tetra – Pak. Inżynieria Rolnicza* 1(61), s. 33-40.
- Powierża L. 1997. *Elementy inżynierii systemów*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa.
- Szeptycki A. 2001. Odnawialne źródła energii szansą dla rolnictwa i obszarów wiejskich. *Materiały Konferencyjne „Odnawialne źródła energii u progu XXI wieku”*. IBMER Warszawa, s. 288-290.
- Żółtowski B., Niziński S. 2000. *Modelowanie procesów eksploatacji maszyn*. Bydgoszcz – Sulejówek

**MODEL OF A SYSTEM GENERATING  
AND UTILIZING RENEWABLE ENERGETIC CARRIERS  
OF AGRICULTURAL ORIGIN. PART 1. MODEL  
OF A RELATIONAL SYSTEM OF GENERATING  
AND UTILIZING RENEWABLE ENERGY CARRIERS**

**Summary**

A comprehensive approach was applied to solve ecoenergetic problems i.e. generation of renewable carriers of energy carriers of agricultural origin in a chosen commune of Warmia and Mazury Voyevodship. The need of complete, comprehensive solutions for the determination of the demand for the energy from renewable resources of agricultural origin was presented. The building of a system of generating renewable energy carriers was carried out in two stages: building a relational model, mathematical model and a simulated program (numeric). In the present article the first stage-a relational model of a system is presented.

**Key words:** renewable energy carriers, modeling of technical systems, energetic planning, a relational model, model elements, agriculture