

Wojciech SUWAŁA\*

## ***Typowe elementy i modele systemów paliwowo-energetycznych***

Streszczenie: Podstawowym narzędziem analizy systemowej są modele, a ich konstrukcja jest uwarunkowana szeregiem czynników – w tym subiektywnych. Nie można zatem przedstawić jednego modelu określonego systemu, zawsze będzie on budowany pod kątem znalezienia rozwiązania pewnego problemu. Niemniej jednak w modelach systemów paliwowo-energetycznych można wyróżnić pewne typowe elementy i ich relacje, które znajdują się niemal w każdym modelu. Artykuł poświęcono jednemu z możliwych ujęć elementów i równań modelu będącemu do pewnego stopnia ujęciem typowym.

Słowa kluczowe: analiza systemowa, modelowanie, elementy i relacje

### ***Typical elements and models of fuels and energy systems***

Abstract: Models are the basic tools of the systems analysis, but their construction is warranted by many factors some of subjective character. There is no one model of a certain system, it is always constructed for a specific purpose – task of the system research. However, in the fuels and energy systems it is possible to diversify certain typical elements and their relations, which could be found nearly in each model. The paper is devoted to presentation of one of feasible sets of elements and model's equations which is to some extent typical for fuels and energy systems.

Key words: systems analysis, modeling, elements and relations

### ***Wprowadzenie***

Modelowanie systemów paliwowo-energetycznych jest dziedziną nauki i po trochę sztuki wykorzystującą wiedzę wielu dyscyplin, od inżynierii, przez ekonomię do nauki o środowisku. Jest przy tym pewnym procesem, który nie daje się zalgorytmizować, w sensie podania opisu procedury, która gwarantuje uzyskanie wiarygodnego modelu. Problemem

---

\* Dr inż., Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków.

jest dobór elementów reprezentujących system, relacji między nimi i w konsekwencji formuł modelu. Niezbędna jest tu nie tylko wiedza teoretyczna o funkcjonowaniu systemu, praktyczna jego znajomość, ale i pewna intuicja w wyborze istotnych elementów oraz najważniejszych wiążących je relacji.

W dziedzinie budowy modeli podejmowano próby usystematyzowania tego procesu, jednak tak jak i w badaniach systemowych, których są narzędziem, nie ma ścisłej procedury ich konstrukcji. Niniejszy artykuł jest próbą pewnej umownej klasyfikacji elementów systemów paliwowo-energetycznych oraz ich reprezentacji w modelu. W założeniu ma to usprawnić proces budowy modeli i ułatwić jego konstrukcję, nie gwarantując jednak uzyskania modelu spełniającego oczekiwania jego konstruktora.

### **1. Elementy systemów – klasyfikacja dla celów modelowania**

Mimo złożonych struktur systemów paliwowo-energetycznych i skomplikowanych relacji między elementami systemu, można podjąć próbę wyróżnienia pewnych elementów typowych, które w dalszej kolejności będą służyły utworzeniu obrazu systemu i jego modelu. Początki takiej systematyzacji służyły budowie baz danych dla modelowania, przede wszystkim dla usprawnienia gromadzenia danych i ich przenoszenia do modeli (Bibrowski, Umer 1986; Problemy budowy... 1988; Suwała i in. 1990).

Poniżej omówiono wyróżnione elementy, z których można zbudować model systemu paliwowo-energetycznego.

- **Technologia** jest najczęściej używanym, nawet można powiedzieć podstawowym elementem modeli systemów paliwowo-energetycznych. Reprezentuje procesy produkcji lub świadczenia usług charakteryzujących się tymi samymi właściwościami, przede wszystkim stosowaną metodą (produkcji) i wielkością – zdolnością produkcyjną. Jest jakby uśrednioną instalacją – zakładem produkcyjnym, charakteryzującym się przeciętnymi dla danej technologii właściwościami.
- **Obiekt** jest to realnie istniejący lub projektowany zespół budynków, maszyn i urządzeń, spełniający funkcję producenta określonych dóbr lub świadczenia usług. Będzie nim zatem kopalnia, elektrownia, zakład remontowy czy stołówka. Tego rodzaju elementy będą wyróżniane, gdy celem modelowania są wskazówki dla decyzji dotyczących właśnie obiektów. Przykładem może być decyzja o likwidacji kopalni czy budowie elektrowni jądrowej.
- **Dobro** – ogół środków produkcji, materiałów, energii, pracowników itp. występujących w systemie.
- **Proces** – umowna reprezentacja zjawisk lub zależności w systemie lub w jego otoczeniu, w szczególności niezależnych od stanu i dynamiki elementów systemu.
- **Informacja** – reprezentuje te dane, które charakteryzują stan i dynamikę systemu i jego otoczenia.
- **Zasób** – nagromadzenie dóbr, które mogą być szczerpywane lub zasilane przez obiekty, technologie lub procesy.

Podstawowe charakterystyki elementów systemów z punktu widzenia ich modelowania to:

- **obiekt** – stan obiektu lub pewnej jego formy (wariantu) w określonym momencie lub okresie,

- **proces** – zmiany wartości w zależności od innych charakterystyk systemu lub otoczenia, w szczególności zmiany w czasie,
- **dobro** – ilość odniesiona do okresu, natężenie przepływu,
- **informacja** – wartość,
- **zasób** – stan na określony moment.

## 2. Definiowanie równań i nierówności modeli, podstawowe typy

W modelu należy zapisać najważniejsze relacje między elementami systemu, a tymi w przypadku systemów paliwowo-energetycznych są przepływy dóbr. Odpowiednim równaniem opisującym te relacje są bilanse dóbr. Inne to opis technologii i związku jej parametrów – głównie mocy produkcyjnych – ze zużyciem i produkcją dóbr.

Najczęściej występujące ograniczenia mają następującą postać:

- Bilans zdolności produkcyjnych – odnosi się do technologii i równowazy poziom zdolności produkcyjnych w danym momencie czasu:

$$X_{j,t} = X_{j,t-1} + \Delta X_{j,t} - \Delta X_{j,t-h} \quad \forall j,t$$

gdzie:

- $j$  – indeks technologii,
- $X_t$  – stan zdolności produkcyjnych w momencie czasu  $t$ ,
- $\Delta X_t$  – przyrost zdolności produkcyjnej przypisany momentowi  $t$ ,  
czyli przyrost w okresie między momentem  $t - 1$  a  $t$ ,
- $h$  – okres funkcjonowania technologii,
- $\Delta X_{t-h}$  – przyrost zdolności produkcyjnej przypisany momentowi  $t - z$ ,  
w równaniu są to zdolności utracone w momencie  $t$  wskutek ich zużycia.

- Bilanse dóbr<sup>1</sup> – równoważą pozyskanie i produkcję dobra z jego zużyciem i magazynowaniem w danym momencie czasu:

$$Z_{d,t-1} + \sum_{j=1}^J p_{d,j} X_{j,t} + \sum_{i=1}^I P_{d,i} Y_{i,t} + P_{d,o} = Z_{d,t} + \sum_{j=1}^J u_{d,j} X_{j,t} + \sum_{i=1}^I U_{d,i} Y_{i,t} + U_{d,o}$$

$$\forall d,t$$

gdzie:

- $d$  – indeks dobra,
- $j$  – indeks technologii,
- $J$  – zbiór technologii,
- $Z_{d,t}$  – stan zasobów dobra  $d$  w podokresie  $t$ ,
- $X_{j,t}$  – stan zdolności produkcyjnych technologii  $j$  w momencie czasu  $t$ ,
- $p_{d,j}$  – jednostkowa produkcja w technologii  $j$  odniesiona do zdolności produkcyjnej,
- $u_{d,j}$  – jednostkowe zużycie w technologii  $j$  (informacja – parametr modelu),

<sup>1</sup> W terminologii statystycznej bilanse te noszą zazwyczaj nazwę bilansów materiałowych

- $P_{d,i}$  – produkcja dobra w obiekcie  $i$ ,
- $U_{d,i}$  – zużycie dobra w obiekcie  $i$ ,
- $P_{d,o}$  – produkcja dobra w otoczeniu,
- $U_{d,o}$  – zużycie dobra w otoczeniu.

Należy dodać, że tego typu równania mogą mieć wiele wariantów i niekoniecznie bilansować, ale ograniczać pozyskanie lub zużycie dobra. W szczególności dotyczyć to będzie przypadków ograniczenia poziomu emisji lub popytu na określone dobro.

- Równania jakości dóbr, ograniczające jakość dóbr, np. zawartość siarki w węglu. Formuły te są analogiczne do równań bilansowych, gdyż bilansują ilość substancji określającej jakość (np. siarki) w dobrach z dopuszczalnym poziomem. Warto tu zwrócić uwagę, że nie wylicza się zawartości tej substancji, a jej ilość, przez co unika się konieczności dzielenia, a zatem nieliniowości równań. W równaniach tych równoważą się pozyskanie (dostawy) substancji w dobrach z jego dopuszczalnym poziomem zużycia:

$$\sum_d \alpha_{f,d} Q_{d,t} \begin{cases} \leq \\ = \\ \geq \end{cases} \alpha_f \begin{cases} \max \\ 0 \\ \min \end{cases} \sum_d Q_{d,t} \quad \forall f, t$$

W tej nierówności ilość substancji  $f$  w dostawach  $Q$  do odbiorcy jest porównywana z ilością wymaganą. Generalnie dla substancji szkodliwych ilość dostarczana powinna być mniejsza od dopuszczalnej, podczas gdy dla substancji użytecznych ilość powinna być większa. W zasadzie w tego typu równaniach stosuje się znak równości tylko wtedy, gdy wymaga tego specyfika danego dobra.

- Ograniczenia dla zmiennych zerojedynkowych – warunki, jakie muszą spełniać zmienne binarne, tak aby wybory dokonywane przez model były racjonalne. Na ogół chodzi tu o selekcje co najwyżej jednego spośród możliwych wariantów lub dokładnie jednego:

$$\sum_{w=1}^W Y_{w,i} \leq 1 \quad \sum_{w=1}^W Y_{w,i} = 1$$

gdzie:

- $w$  – indeks wariantu,
- $W$  – liczba wariantów.

W szczególnych przypadkach równania te będą dopuszczały inne specyficzne wartości wynikające z ujęcia rozwiązywanego problemu.

- Ograniczenia dla zmiennych całkowitoliczbowych – warunki, jakie muszą spełniać zmienne całkowitoliczbowe, tak aby wybory dokonywane przez model były racjonalne. Przykładowo, górna granica sumy wartości zmiennych, tutaj całkowita liczba obiektów jest ograniczona od góry:

$$\sum_{i=1}^I K_i \leq K^{MAX}$$

gdzie:

$K$  – zmienna całkowitoliczbowa oznaczająca liczbę obiektów  $i$ .

Proporcje zmiennych:

$$\frac{K_1}{K_2} = a \quad K_1 = aK_2$$

Pierwsza postać daje model nieliniowy, który sprawia trudności w rozwiązywaniu; drugą można zastosować w modelu liniowym zazwyczaj dość łatwym w rozwiązywaniu.

— Ograniczenie wielkości zasobu:

a) limit ilości jaką można pozyskać z zasobu nieodnawialnego:

$$Z_{d,t} = Z_{d,t-1} + \sum_{i \in I} P_{d,i} Y_{i,t} + \sum_{j \in J} p_{d,j} X_{j,t} - \sum_{i \in I} U_{d,i} Y_{i,t} - \sum_{j \in J} u_{d,j} X_{j,t} + P_{d,t}^O - U_{d,t}^O$$

$$\forall d \in D^G, \quad \forall t \in T$$

$$Z_{d,t} \leq Z_{d,t}^{MAX} \quad \forall d \in D^G, \quad \forall t \in T$$

gdzie:

$Z_{d,t}^{MAX}$  – maksymalny stan zasobu (magazynu) dobra  $d$  w podokresie  $t$ ;

b) limit ilości, jaką można pozyskać z zasobu odnawialnego (dotyczy np. zasobów biomasy):

$$Z_{d,t} = Z_{d,t-1} + Z_{d,t-1} \cdot \alpha \quad Z_{d,t} \geq 0$$

gdzie:

$\alpha$  – stopa przyrostu zasobu odnawialnego w ciągu podokresu  $t$ , np. 0,2 – oznacza przyrost (naturalne odtworzenie) 20% na podokres.

— Funkcja celu, kryterium optymalizacji np. minimalizacja kosztu:

$$\sum_{t=1}^T q_t \left( \sum_{j=1}^J k_j X_{j,t} + \sum_{i=1}^I K_i Y_{i,t} + K_o \right) \rightarrow \min$$

gdzie:

$q_t$  – czynnik dyskontujący,

$k_j$  – koszt jednostkowy technologii,

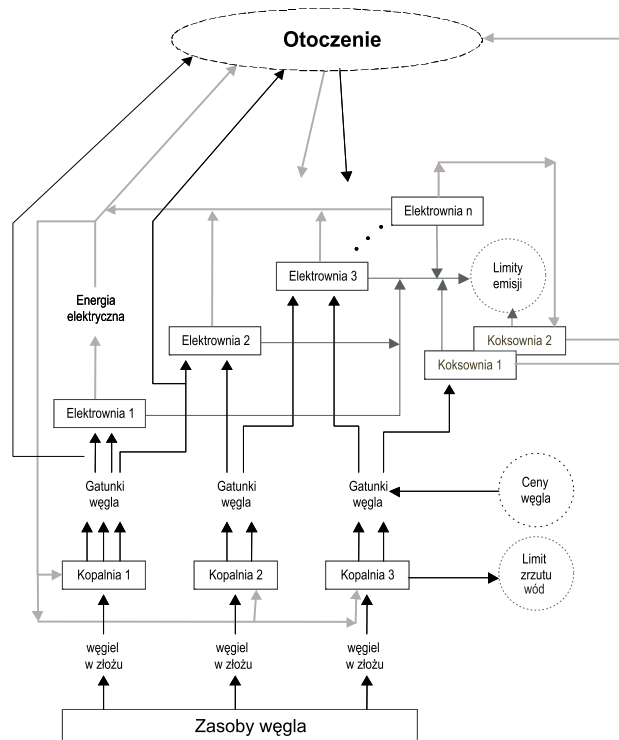
$K_i$  – koszt całkowity obiektu,  
 $K_o$  – koszty całkowite otoczenia.

- Równania specyficzne dla systemu, np.:
  - rozkład popytu na energię elektryczną w okresie szczytu i poza nim,
  - parametry produkcji ropy naftowej,
  - mieszanie produktów rafinacji ropy dla uzyskania odpowiednich właściwości produktów końcowych,
  - limity emisji w elektrowniach.

### 3. Równania przykładowego modelu gospodarki węglem kamiennym

Problemem jest tu ustalenie optymalnej struktury systemu pozyskania i użytkowania węgla kamiennego, czyli ile i jakie powinny funkcjonować w modelowanym systemie:

- kopalnie (obiekty – likwidowane, nowe lub technologie),
- elektrownie (obiekty lub technologie, warianty rozwoju z lub bez odsiarczania),
- koksownie (obiekty lub technologie).



SYSTEM GOSPODARKI WĘGLEM KAMIENNYM (przykład)

Rys. 1. Przykład systemu gospodarki węglem

Fig. 1. Example of coal system

Zapisany poniżej model jest jednym z możliwych ujęć.

Okres – horyzont czasowy modelu obejmuje zazwyczaj 20–30 lat, podzielonych na podokresy od 1 roku do 5 lat.

### Bilans dóbr

$$Z_{d,t-1} + \sum_{j \in J} p_{d,j} X_{j,t} + \sum_{i \in I} P_{d,i} Y_{i,t} + P_{d,t}^O = Z_{d,t} + \sum_{j \in J} u_{d,j} X_{j,t} + \sum_{i \in I} U_{d,i} Y_{i,t} + U_{d,t}^O$$

$$\forall d \in D, \quad \forall t \in T$$

gdzie:

- $j$  – indeks technologii,
- $J$  – zbiór technologii,
- $d$  – indeks dobra,
- $t$  – indeks czasu,
- $i$  – indeks obiektu,
- $I$  – zbiór obiektów,
- $Z_{d,t-1}$  – stan zasobów dobra  $d$  w podokresie  $t - 1$ ,
- $X_{j,t}$  – stan zdolności produkcyjnych (produkcja na rok) technologii  $j$  w podokresie  $t$  (zmienna decyzyjna),
- $Y_{i,t}$  – stan obiektu  $i$  w momencie czasu  $t$  (zmienna decyzyjna),
- $p_{d,i}$  – jednostkowa produkcja dobra w technologii  $j$  (informacja – parametr modelu),
- $u_{d,i}$  – jednostkowe zużycie dobra w technologii  $j$  (informacja – parametr modelu),
- $P_{d,i}$  – całkowita produkcja dobra w obiekcie  $i$  (informacja – parametr modelu),
- $U_{d,i}$  – całkowite zużycie dobra w obiekcie  $i$  (informacja – parametr modelu),
- $P_{d,t}^O$  – produkcja dobra w otoczeniu, np. import (informacja lub zmienna decyzyjna)
- $U_{d,t}^O$  – zużycie dobra w otoczeniu (informacja lub zmienna decyzyjna),
- $t$  – czas.

W niektórych ujęciach parametry modelu mogą być zależne od czasu lub innych zmiennych, wtedy są opisywane procesami, np.:

$$U_{d,i,t} = U_{d,i,0} (1 + \varepsilon t)$$

gdzie:

- $U_{d,i,t}$  – parametr modelu (tu zużycie),
- $U_{d,i,0}$  – wartość początkowa parametru modelu (tu zużycie),
- $\varepsilon$  – stopa wzrostu parametru.

### Minimalne dostawy paliw do wytwarzania energii elektrycznej

Dla wytwarzania energii elektrycznej w technologiach:

$$\left( \sum_{d \in D^W} V_{d,j,t} Q_d \right) \eta_{j,EE} 0,2777 = p_{EE,j} X_{j,t} \quad \forall j \in J^{EE}, \quad \forall d \in D^W$$

Dla wytwarzania energii elektrycznej w obiektach:

$$\left( \sum_{d \in D^W} V_{d,i,t} Q_d \right) \eta_{i,EE} 0,2777 = p_{EE,i} X_{i,t} \quad \forall i \in I^{EE}, \quad \forall d \in D^W$$

gdzie:

- $D^W$  – zbiór dóbr – paliw pierwotnych,
- $V_{d,j,t}$  – dostawy dobra  $d$  (paliwa pierwotnego) do technologii  $j$  wytwarzania energii elektrycznej (*zmienna decyzyjna*),
- $V_{d,i,t}$  – dostawy dobra  $d$  (paliwa pierwotnego) do obiektu  $i$  wytwarzania energii elektrycznej (*zmienna decyzyjna*),
- $Q_d$  – wartość opałowa dobra (węgla)  $d$  (paliwa pierwotnego),
- $\eta_{j,EE}$  – sprawność wytwarzania energii elektrycznej w technologii  $j$  (bezwymiarowe),
- $\eta_{i,EE}$  – sprawność wytwarzania energii elektrycznej w obiekcie  $i$  (bezwymiarowe),
- 0,2777 – współczynnik przeliczenia jednostek z GJ na MWh,
- $P_{EE,i}$  – całkowita ilość energii elektrycznej produkowana w obiekcie  $i$ ,
- $p_{EE,i}$  – produkcja energii elektrycznej na jednostkę wydajności technologii  $i$ ,
- $J^{EE}$  – zbiór technologii – elektrowni,
- $I^{EE}$  – zbiór obiektów – elektrowni.

### Bilans zasobów węgla:

$$Z_{d,0} - \sum_{t \in T} \sum_{i \in I} U_{d,i} Y_{i,t} \geq 0 \quad \forall d \in D^Z$$

gdzie:

- $Z_{d,0}$  – zasób początkowy złóż węgla,
- $D^Z$  – zbiór dóbr – złóż węgla.

### Bilans zdolności produkcyjnych technologii

$$X_{j,t} = X_{j,t-1} + \Delta X_{j,t} - \Delta X_{j,t-h} \quad \forall j \in J, \quad \forall t \in T$$

gdzie:

- $X_{j,t}$  – stan zdolności produkcyjnych w momencie czasu  $t$ ,

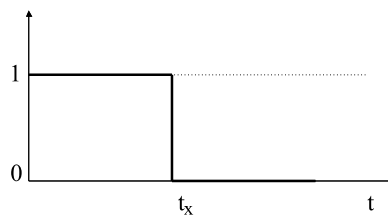


- $\Delta X_{j,t}$  – przyrost zdolności produkcyjnej przypisany momentowi  $t$ ,  
czyli przyrost w okresie między momentem  $t - 1$  a  $t$ ,  
 $h$  – okres funkcjonowania (czas życia) technologii, mierzony liczbą podokresów,  
 $\Delta X_{j,t-h}$  – przyrost zdolności produkcyjnej przypisany momentowi  $t - h$ ,  
w równaniu są to zdolności utracone w podokresie  $t$  wskutek ich zużycia.

**Warunki dla zmiennych zerojedynkowych:**

— dla obiektu likwidowanego:

$$Y_{i,t} \geq Y_{i,t+1} \quad \forall t, i \in I^L$$

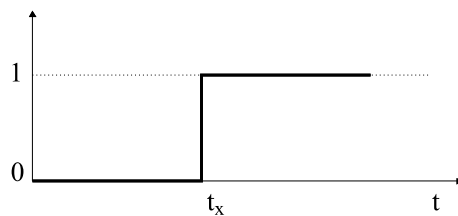


gdzie:

$I^L$  – podzbiór obiektów do likwidacji;

— dla obiektu nowego – uruchamianego:

$$Y_{i,t} \leq Y_{i,t+1} \quad \forall t \in T, \quad \forall i \in I^N$$



gdzie:

$I^N$  – podzbiór obiektów nowych – do uruchomienia;

— dla obiektów z możliwym „wariantem rozwoju”

$$\sum_{w \in I_{w,i}} Y_{i,w,t} = 1 \quad \forall i \in I, \quad \forall t \in T$$

$$Y_{i,w,t} \geq Y_{i,w,t-1} \quad \forall w \in I_{w,i}, \quad \forall i \in I, \quad \forall t \in T$$

gdzie:

$I_{w,i}$  – podzbiór wariantów rozwojowych obiektu  $i$   
(zbioru obiektów „z wariantem rozwoju”),

### Emisje polutantów z kopalni (np. wody słone), elektrowni, koksowni

Jest to swego rodzaju bilans dóbr, tu – polutantów, gdzie poziom maksymalny reprezentuje maksymalne dostawy do otoczenia.

1) Na podstawie bilansu dóbr, emisje są traktowane jak produkcja i zużycie w technologiach redukcji emisji dla dóbr  $D^M$ , np.:

$$\sum_{j \in J} p_{m,j} X_{j,t} + \sum_{i \in I} P_{m,i} Y_{i,t} - \sum_{j \in J^R} u_{d,j} X_{j,t} - \sum_{i \in I^R} U_{d,i} Y_{i,t} = P_{m,t}$$

$$P_{m,t} \leq P_{m,t}^{MAX}$$

$$\forall t \in T, \quad \forall m \in D^M$$

2) Na podstawie zużycia dóbr – z uwzględnieniem jakości spalanych paliw

$$\sum_{d \in D^M} \left( \sum_{j \in J} u_{d,j} \alpha_{d,m} X_{j,t} + \sum_{i \in I} U_{d,i} \alpha_{d,m} Y_{i,t} \right) - \sum_{j \in J^R} u_{m,j} X_{j,t} = P_{m,t}$$

$$P_{m,t} \leq P_{m,t}^{MAX}$$

$$\forall t \in T, \quad \forall d \in D^M$$

gdzie:

- $D^M$  – podzbiór dóbr, których użycie lub produkcja powoduje emisję polutantów,
- $\alpha_{d,m}$  – emisja jednostkowa polutanta (dobra)  $m$  powstająca przy użytkowaniu jednostki dobra  $d$ ,
- $p_{d,i}$  – jednostkowa emisja dobra  $d$  z podzbioru  $m$  w technologii  $j$ ,
- $J^R$  – podzbiór technologii redukcji emisji,
- $I^R$  – podzbiór obiektów redukcji emisji,
- $u_{m,j}$  – jednostkowa redukcja emisji dobra – polutanta  $m$  w technologii  $j$ ,
- $P_{m,t}$  – poziom emisji (produkcji) polutanta  $m$ ,
- $P_{m,t}^{MAX}$  – dopuszczalny poziom emisji (produkcji) polutanta  $m$ ,
- $m$  – indeks dobra – polutanta,
- $D^M$  – zbiór dóbr polutantów.

### Zasoby (magazyn) dóbr (węgla) na składzie

Przekształcone równanie bilansu dóbr, nie uwzględniane w modelu, jeśli zapasy są w bilansie dóbr:

$$Z_{d,t} = Z_{d,t-1} + \sum_{i \in I} P_{d,i} Y_{i,t} + \sum_{j \in J} p_{d,j} X_{j,t} - \sum_{i \in I} U_{d,i} Y_{i,t} - \sum_{j \in J} u_{d,j} X_{j,t} + P_{d,t}^O - U_{d,t}^O$$

$$\forall d \in D^G, \quad \forall t \in T$$

gdzie:

$Z_{d,t}$  – stan zasobu (magazynu) dobra  $d$  w podokresie  $t$ ,  
 $D^G$  – podzbiór dóbr gromadzonych w zapasach.

Równanie to może być uzupełnione ograniczeniem pojemności zapasu (magazynu):

$$Z_{d,t} \leq Z_{d,t}^{MAX} \quad \forall d \in D^G, \quad \forall t \in T$$

gdzie:

$Z_{d,t}^{MAX}$  – maksymalny stan zasobu (magazynu) dobra  $d$  w podokresie  $t$ .

Lub minimalny (bezpieczny):

$$Z_{d,t} \geq Z_{d,t}^{MIN} \quad \forall d \in D^G, \quad \forall t \in T$$

**Funkcja celu, kryterium optymalizacji – minimalizacja kosztów dostaw dóbr:**

$$\sum_{t \in T} q_t \left( \sum_{j \in J} k_{j,t} X_{j,t} + \sum_{j \in J} k_{j,t}^B \Delta X_{j,t} + \sum_{i \in I} K_{i,t} Y_{i,t} + \sum_{d \in D} c_{d,t} P_{d,t}^O + \sum_{m \in D^M} k_{m,t} P_{m,t} \right) \rightarrow \min$$

gdzie:

$q_t$  – czynnik dyskontujący, zależny od ujęcia czasu,  
 $c_{d,t}$  – cena dobra  $d$  przy dostawach z zewnątrz,  
 $k_{j,t}$  – koszty jednostkowe technologii,  
 $k_{j,t}^B$  – jednostkowe nakłady inwestycyjne technologii  $j$ ,  
 $K_{i,t}$  – koszty całkowite obiektu,  
 $k_{m,t}$  – jednostkowe opłaty za emisję polutanta  $m$ .

## **Podsumowanie**

W artykule przedstawiono pewne podejście porządkujące ujęcie elementów systemów paliwowo-energetycznych w procesach identyfikacji systemów i budowy modeli. Wprowadzono kilka podstawowych elementów reprezentujących istniejące lub planowane obiekty i technologie oraz elementy pomocnicze służące wprowadzaniu danych i obliczeniom. Jest to jedno z możliwych ujęć, choć wydaje się być wystarczające do opisu wszystkich elementów systemów paliwowo-energetycznych. Procesy modelowania nie mają ustalonego algorytmu ich tworzenia, a ten sam system może być inaczej modelowany zależnie od celu jakim ma służyć prowadzona analiza systemowa; zaprezentowane podejście upraszcza budowę modeli i poszukiwania ich właściwej formy.

### *Literatura*

Bibrowski Z., Umer A., 1986 – Baza danych w zadaniach systemowych (w zastosowaniu do gospodarki surowcami mineralnymi). Materiały Sympozjum: Modele matematyczne w programowaniu rozwoju gospodarki surowcami mineralnymi, Krościenko, Wydawnictwo AGH, Kraków.

Problemy budowy uniwersalnej bazy danych dla potrzeb krajowej gospodarki surowcami mineralnymi. CPPGSMiE PAN, Kraków 1988.

Suwała W., Ney R., Gawlik L., Leńczowska E., 1990 – Universal Data Base for Exploring Minerals Economy. 22 International Symposium APCOM, vol. 3, pp. 85–95.