

Helena RUSAK*

Model macierzowy zrównoważonej energetyki lokalnej uwzględniający niepewność danych wejściowych

STRESZCZENIE. Budowanie modeli *input–output* dla energetyki lokalnej obarczone jest błędami wynikającymi z niepewności danych użytych do konstrukcji modelu. Problem ten dotyczy wszystkich trzech składników omawianego modelu, zarówno danych wykorzystywanych do formułowania klasycznej macierzy przepływów między wyszczególnionymi elementami produkcji i zużycia energii jak również w odniesieniu do macierzy opisujących oddziaływanie środowiskowe i społeczne. W artykule proponuje się rozwiązanie tego zagadnienia poprzez zastosowanie interwałowego sformułowania danych do modelu.

SŁOWA KLUCZOWE: rozwój zrównoważony, energetyka lokalna, interwałowy model *input–output*

Analiza *input–output* wykorzystywana jest do analizy systemów ekonomicznych od lat trzydziestych ubiegłego wieku. Jak wykazały prowadzone od lat na szeroką skalę badania, metoda ta daje możliwość analizowania wzajemnych stosunków podaży i popytu w odniesieniu zarówno do tak złożonych organizmów, jak gospodarki narodowe lub wręcz gospodarka światowa, jak i w przypadku analiz gospodarki lokalnej, poszczególnych branż czy też nawet pojedynczych przedsięwzięć. Modele *input–output* dostarczają informacji co do struktury połączeń ekonomicznych i szacują skutki realizowanej polityki zarządzania. Wraz z postępem badań i rodzącymi się nowymi potrzebami modele *input–output* wzbogacono o nowe elementy włączając w nie oddziaływania procesów produkcji na środowisko. Już w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku stwierdzono, że procesy produkcyjne są niero-

* Dr inż. – Wydział Elektryczny, Politechnika Białostocka, Białystok.

zerwalnie związane z produkowaniem zanieczyszczeń. Dalej poprowadziło to do stwierdzenia, że oprócz wpływu rynku na wielkość produkcji dodatkowym elementem oddziaływania są dobra pozarynkowe, będące częścią środowiska naturalnego oraz zanieczyszczenia emitowane w procesach przemysłowych. Z biegiem czasu okazało się, że kwestia tempa wzrostu ilości zanieczyszczeń i postępującej degradacji środowiska powoduje, że analiza związków między działalnością ekonomiczną, wytwarzaniem zanieczyszczeń i jakością środowiska, jest zagadnieniem niezwykle istotnym. Jest to jednak zagadnienie trudne do opisanego modelami, gdyż przeplatają się w nich aspekty techniczne i ekonomiczne z aspektami ochrony środowiska i problemami wyceny dóbr natury.

Podjęto również próby powiązania kwestii zużywania energii w przemyśle z wielkością produkcji, wykorzystując opis tych zależności poprzez modele *input-output*. W modelach tego typu, kwestie energii rozpatrywane są z punktu widzenia całości analizowanego systemu ekonomicznego, nie odnoszą się natomiast do energetyki jako jądra modelu i głównego przedmiotu jego analizy.

Jeśli wyżej wymienione zastosowania i rodzaje modeli *input-output* uzupełnić o dodatkowy moduł odnoszący się do oddziaływania procesów produkcyjnych na tworzenie i utrzymanie miejsc pracy [5], to okazuje się, że model taki ma wszystkie odniesienia do zasad zrównoważonego rozwoju, tzn. ocenia i analizuje relacje między zagadnieniami ekonomicznymi, środowiskowymi i społecznymi.

Lokalna energetyka, jako jeden z najistotniejszych elementów lokalnej gospodarki, wpływający w istotny sposób zarówno na inne elementy systemu ekonomicznego, jak również na środowisko naturalne i oddziaływające na lokalny rynek pracy, może być przedstawiony w postaci modelu *input-output* składającego się z trzech równoważnych równań, dających obraz zrównoważenia lokalnego systemu energetycznego, zapisywanych macierzowo w postaci [10]:

$$\mathbf{X} = \mathbf{aX} + \mathbf{F} \quad (1)$$

$$\mathbf{D} = \mathbf{d}'\mathbf{X}' + \mathbf{d}''\mathbf{X}'' \quad (2)$$

$$\mathbf{W} = \omega\mathbf{X}' \quad (3)$$

gdzie: \mathbf{X} – jest wektorem produkcji globalnej (odpowiednio produktów $n = 1, 2, \dots, N$),
 \mathbf{a} – jest macierzą współczynników technicznych, określających jaka część jednego wytwarzanego produktu jest wykorzystywana przy produkcji innego produktu, spośród wyróżnionych w wektorze produkcji globalnej \mathbf{X} ,
 \mathbf{F} – jest wektorem popytu końcowego na poszczególne produkty.

W sytuacji gdy model dotyczy lokalnej energetyki produktami, o których mowa powyżej, jest energia wytwarzana z określonych rodzajów energii pierwotnej w określonych źródłach. Wektor \mathbf{X} jest dekomponowany na dwa wektory składowe \mathbf{X}' oraz \mathbf{X}'' . Elementami wektora składowego \mathbf{X}' , jest energia produkowana z różnych paliw pierwotnych w różnego rodzaju źródłach oraz te produkty, które służą bezpośrednio wytwarzaniu energii, np. paliwa

lub urządzenia służące wytwarzaniu energii lub związane z jej wytwarzaniem. Wektor \mathbf{X}'' grupuje pozostałe produkty, przy produkcji, których zużywana jest energia, lecz one same nie są wykorzystywane do produkcji energii. Macierz \mathbf{d}' jest macierzą współczynników określających produkcję dóbr ekologicznych odniesioną do jednostki produkcji poszczególnych dóbr ujętych w wektorze \mathbf{X}' , natomiast macierz \mathbf{d}'' składa się ze współczynników zużycia dóbr ekologicznych, również odniesionych do jednostkowej produkcji dóbr ujętych w wektorze \mathbf{X}' . Wektor \mathbf{D} zawiera saldo wpływów środowiskowych energetyki lokalnej na danym obszarze, np. odpowiednio, wytwarzanie i zużycie dwutlenku siarki, dwutlenku węgla, tlenków azotu, pyłów, wody ($m = 1, \dots, M$, gdzie M jest liczbą uwzględnionych oddziaływań środowiskowych). Wektor składa się z elementów określających liczbę miejsc pracy w różnych działach lokalnej gospodarki generowanych przez prowadzenie produkcji energii oraz innych dóbr na rzecz lokalnej energetyki. Liczba wierszy macierzy (a tym samym liczba elementów wektora \mathbf{W}), może być większa niż liczba elementów wektora \mathbf{X}' , gdyż włączone powinny być do tej macierzy wektory odpowiadające nieprodukcyjnym działom gospodarki, w których działanie lokalnej energetyki generuje miejsca pracy, np. obsługa bankowa firm energetycznych. Analizując macierz można stwierdzić, że zawiera ona zarówno informacje o efektach wewnętrznych, jak i oddziaływania lokalnej energetyki na inne obszary działalności gospodarczej (obrazujące korzyści społeczne uzyskiwane dzięki działalności lokalnej energetyki).

Tak skonstruowany model ilościowy ma charakter statyczny i deterministyczny. Jeśli przeanalizujemy rzeczywiste układy gospodarcze, szczególnie kiedy rozpatruje się je w czasie, okazuje się, że dokładne wyznaczenie elementów modelu praktycznie nie jest możliwe. Pozyskanie danych do modeli może odbywać się poprzez:

- ✧ wykorzystanie danych statystycznych gromadzonych przez urzędy,
- ✧ wykonanie badań dedykowanych opracowywanemu modelowi,
- ✧ szacowanie współczynników dla analizowanego regionu na podstawie współczynników dla całej gospodarki narodowej.

Decyzja co do wykorzystania statystyk posiadanych przez odpowiednie urzędy lub badań własnych za pomocą metody próby losowej zależy od tego, na ile dane będące w posiadaniu urzędów spełniają oczekiwania opracowującego model. Szczególnie duże problemy w pozyskaniu odpowiednich dla modelu I-O danych pojawiają się, kiedy poszukuje się danych dla lokalnych systemów ekonomicznych. Zagadnienie komplikuje się jeszcze bardziej, kiedy definicje wielkości wykorzystywanych w modelu nie odpowiadają tym, jakie przyjęte są w urzędowych statystykach. Główną tego przyczyną jest fakt, że zbieranie danych statystycznych w urzędach ma z założenia służyć określonym potrzebom administracji, a nie potrzebom modelowania ekonometrycznego. Mamy wówczas do czynienia z sytuacją, kiedy albo dane urzędowe muszą być przeliczone na odpowiadające zakresowi modelu, albo całość badań musi być przeprowadzona na potrzeby modelu. Oba przypadki są utrudnieniem w procesie formułowania zależności I-O, gdyż w pierwszym przypadku aproksymowanie danych urzędowych na potrzeby modelu wprowadza dodatkowe błędy. Podobnie rzecz się ma w przypadku konieczności przeprowadzenia całej serii badań dla modelu, gdyż zasięg koniecznych wówczas do przeprowadzenia badań ogranicza liczebności badanych próbek, a to z kolei prowadzi również do powiększenia błędów

otrzymywanych wyników [2]. Dodatkowe błędy wynikają np. ze sposobów wyboru próbek oraz agregacji danych wykorzystywanych do budowania tablic modelu *input–output*. Innym sposobem pozyskania danych do modelu jest wykorzystanie wartości wyznaczonych dla całej gospodarki narodowej. Do najprostszych metod szacowana współczynników regionalnych na podstawie tych danych należy metoda tzw. ilorazu lokacyjnego [4]. Niestety, dane które są niezbędne do budowy modelu lokalnej energetyki w znacznym stopniu nie mają odbicia w strukturze danych zbieranych dla gospodarki narodowej.

Wartości użyte w regionalnych modelach energetycznego I-O zależą od:

- ✧ dostępności danych urzędowych,
- ✧ zakresu wykonanych badań dedykowanych, a w tym od informacji z próby losowej, procedury losowania oraz przeprowadzonych korekt,
- ✧ zakresu agregacji wykorzystywanych danych,
- ✧ sposobów przeliczania danych ogólnonarodowych na wartości odpowiadające warunkom regionalnym.

Jak wynika z powyższej analizy w praktyce nie jesteśmy w stanie przygotować dokładnych danych dla modeli *input–output*. Pierwszym nasuwającym się na myśl sposobem analizy niepewności danych użytych do budowania modelu jest analiza wariantowa. Można by przyjąć dwa skrajne warianty i wariant tzw. najbardziej prawdopodobny i dla każdego z nich zbudować odpowiedni model I-O. Uzyskano by informacje, które pozwalałyby analizować w pewnym zakresie wpływ niepewności danych używanych do budowy modelu na uzyskiwane wyniki. Wadą takiej metody jest to, że poszczególne warianty są obliczane jako całkowicie niezależne przypadki i różnice w odpowiadających sobie danych w rozważanych wariantach matematycznie nie są ze sobą powiązane w procesie analizy. Lepsze z punktu widzenia uzyskiwanej informacji wyjściowej jest wykorzystanie w modelu *input–output* danych w postaci probabilistycznej. Znaczącym utrudnieniem, często przekraczającym praktyczne możliwości wykorzystania tego podejścia, jest konieczność znajomości funkcji gęstości rozkładu prawdopodobieństwa opisywanych wielkości. Najczęściej przyjmuje się, że rozkład ma charakter normalny i przedział predykcji układu się symetrycznie wokół wartości oczekiwanej przy określonym z góry prawdopodobieństwie. Z punktu widzenia praktyki najczęściej najbardziej efektywnym rozwiązaniem problemu niepewności wykorzystywanych danych jest podanie danych do modelu w postaci przedziału, dla którego poziom ufności jest równy 1, czyli przedziału, w którym na pewno mieści się wartość rzeczywista¹. Aby uniknąć w przypadku wykorzystania metody przedstawiania danych do modelu w postaci przedziałowej, wad analogicznych jak w przypadku analizy wariantów, rozwiązanie modelu (obliczenie potencjalnie nieznanego wektora będącego składnikiem modelu) należałoby przeprowadzić z wykorzystaniem zasad matematyki przedziałowej. Zastosowanie odpowiednich algorytmów pozwala na uzyskanie rozwiązania w postaci stosunkowo wąskich przedziałów rozmytych [6, 7].

Jeśli wykorzystamy zapis przedziałowy to hipotetyczny model sformułowany w [10], będący przykładem macierzowego opisu energetyki lokalnej na obszarach cennych przyrodniczo, będzie składał się z trzech elementów. Pierwszy z nich (4) stanowi klasyczne

¹ Elementy macierzy i wektorów modelu *input–output* podane są wówczas w postaci przedziałów definiowanych następująco: Niech $\underline{a}, \bar{a} \in \mathbb{R}, \underline{a} \leq \bar{a}$. Zbiór $[a] := [\underline{a}, \bar{a}] := \{\underline{a} \leq a \leq \bar{a}\}$ nazywa się przedziałem rzeczywistym.

równanie przepływów międzygałęziowych odnoszące się do wykorzystania poszczególnych rodzajów energii wytwarzanej na analizowanym obszarze, zapisywane w formie przedziałowej następująco :

$$\begin{array}{c}
 \mathbf{X} \\
 \left[\begin{array}{c}
 97,2;118,8 \\
 106,7;126,7 \\
 301;323 \\
 190;210 \\
 65\ 501;71\ 501 \\
 475;525
 \end{array} \right]
 \end{array}
 =
 \begin{array}{c}
 \mathbf{aX} \\
 \left[\begin{array}{cccccc}
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 3;4 & 0 & 0 & 1,3;1,5 & 0 \\
 0 & 12;12,96 & 33,44;41,44 & 52,0;52,832 & 128,01;134,07 & 6,04;6,44 \\
 49,5;61,7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 239;253,1 & 191,8;201,94 & 95,42;101,45 & 290,1;300,52 & 140,62;161,62 & 47,2;51,17 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
 \end{array} \right]
 \end{array}
 \quad (4)$$

$$\begin{array}{c}
 + \\
 \left[\begin{array}{c}
 97,2;118,8 \\
 102,2;121,2 \\
 69,51;75,258 \\
 0 \\
 64\ 496,85;70\ 431,214 \\
 290;310
 \end{array} \right]
 + \\
 \left[\begin{array}{c}
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 140,5;148,3 \\
 0 \\
 185;215
 \end{array} \right]
 \end{array}
 \quad \mathbf{F}$$

Wektor **F** wyszczególniony w równaniach 1 i 4 został w przedstawionym przykładzie rozłożony na dwie składowe. Pierwsza z nich zawiera ilości poszczególnych produktów zużywanych przez odbiorców finalnych na analizowanym obszarze. Druga składowa to produkty wytwarzane na obszarze gminy, lecz zużywane poza jej terenem.

Zapis równania (4) przedstawiono tak, jakby wszystkie jego elementy były znane. Wiadomo jednak, że znając współczynniki techniczne umieszczone w macierzy **a** (zależność 1) oraz np. popyt finalny, możliwe jest obliczenie produkcji globalnej. Współczynniki macierzy **a** mogą być wyznaczone podobnie jak to pokazano dla a_{22} (zależności 5 i 6).

Podkreślić należy, że dane przykładowego modelu nie są wielkościami rzeczywistymi a jedynie są wielkościami zbliżonymi do wartości rzeczywistych, nie są to wielkości uzyskane z rzeczywistych badań, a jedynie oszacowane na podstawie danych literaturowych.

Przykład modelu przedstawia uproszczony układ zawierający jedynie dwie metody wytwarzania energii cieplnej, energię elektryczną oraz jeden produkt wytwarzany na potrzeby lokalnej energetyki i jeden produkt, przy wytwarzaniu którego energia jest tylko wykorzystywana, a sam produkt nie służy lokalnej energetyce, tj.:

- ✧ X_1 – wytwarzanie energii cieplnej w oparciu o biomasę pozyskiwaną z uprawy (w GW·h/rok),
- ✧ X_2 – wytwarzanie energii w ciepłowni miejskiej opalanej węglem (w GW·h/rok),
- ✧ X_3 – energia elektryczna dostarczana spoza analizowanego obszaru (w GW·h/rok),
- ✧ X_4 – produkcja wyrobów na rzecz lokalnej energetyki (np. kotłów ciepłych) (w szt./rok),
- ✧ X_5 – transport (w GJ/rok),

✧ X_6 – produkcja wyrobów nie wykorzystywanych przez lokalną energetykę (w t/rok).

Aby zwiększyć czytelność i wartość informacji niesionej przez tablice I-O zamiast pary liczb $\left[\underline{X}_{ij}, \overline{X}_{ij} \right]$ podaje się w poszczególnych polach trzy liczby w postaci $\left[\underline{X}_{ij}, X_{ij}^g, \overline{X}_{ij} \right]$, gdzie X_{ij}^g oznacza wartość najbardziej prawdopodobną, która znajduje się na tym połu w klasycznej nieprzedziałowej tablicy I-O. Przedziałowe współczynniki macierzy \mathbf{a} wyznaczone są według zależności [2]:

$$[a_{ik}] := \frac{[X_{ik}]}{[X_k]} = \left[\frac{\underline{X}_{ik}}{\underline{X}_k}, \frac{\overline{X}_{ik}}{\overline{X}_k} \right] \quad (5)$$

Zatem np. współczynnik będzie obliczony następująco:

$$a_{22} = \frac{[3,0,4,0]}{[106,7;126,7]} = [0,0237;0,0375] \quad (6)$$

Sformułowanie równania takiego typu jak równanie 4 wymaga, aby średnice² przedziałów spełniały warunek:

$$\acute{s}r\left(\sum_{k=1}^K [X_{ik}]\right) \leq \acute{s}r([X_i]) \quad (7)$$

Zatem np. w gałęzi drugiej w zależności (4) musi, więc być spełnione, że:

$$\acute{s}r([3;4]) + \acute{s}r([1,3;1,5]) = 1 + 0,2 = 1,2 \leq \acute{s}r([106,7;126,7]) = 20 \quad (8)$$

Wobec powyższego możliwe jest wyznaczenie wartości $[Y_2]$ jako różnicy wewnętrznej:

$$[Y_2] = [106,7;126,7] \dot{-} ([3;4] + [1,3;1,5]) = [106,7;126,7] \dot{-} [4,3;5,5] = [102,4;121,2] \quad (9)$$

Elementy przedziałowej macierzy współczynników mają nieco inne właściwości niż współczynniki macierzy w modelu klasycznym. W ogólnym przypadku [2, 3]:

$$[a_{ik}][X_k] \neq [X_{ik}] \quad (10)$$

gdyż $\frac{[X_k]}{[X_k]} \neq [1;1]$. W modelu klasycznym suma współczynników w wierszach macierzy I-O

jest równa 1, w przypadku modelu przedziałowego suma tych współczynników $\sum [a_{ik}] \cong [1;1]$. Szczegółową analizę powyższych zależności opisano w [2, 3].

Równanie przedziałowe dotyczące wpływu lokalnej energetyki na środowisko przedstawia się następująco:

² Przez średnicę przedziału rozumie się liczbę , podane za: [2].

$$\begin{bmatrix} 283,6 \cdot 10^3; 346,51 \cdot 10^3 \\ 41,93 \cdot 10^9; 52,88 \cdot 10^9 \\ 193,61 \cdot 10^3; 239,18 \cdot 10^3 \\ 25,476 \cdot 10^3; 32,23 \cdot 10^3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 2480,2560 & 0 & 0 & 0,29;0,31 \\ 0 & 350,370 \cdot 10^3 & 0 & 0 & 70;84 \\ 570,582 & 1240,1280 & 0 & 0 & 0,09;0,11 \\ 70;74 & 175;185 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 97,2;118,8 \\ 106,7;126,7 \\ 30;323 \\ 190;210 \\ 65\ 50;71\ 510 \end{bmatrix} \quad (11)$$

W równaniu tym uwzględnione zostały tylko te produkty, które są wytwarzane lub używane przez energetykę lokalną, tzn. pominięty został element X_6 przykładowego wektora \mathbf{X} , który nie wchodzi w skład wektora \mathbf{X}' . Jako elementy wektora \mathbf{D} występują wartości emisji, odpowiednio, dwutlenku siarki, dwutlenku węgla, tlenków azotu i pyłów mierzone w tonach emisji na rok. Współczynniki emisji związane z energią elektryczną są równe 0, gdyż energia elektryczna jest na analizowany obszar dostarczana, a nie jest tam wytwarzana. Przesył nie powoduje emisji branych pod uwagę związków. W przykładzie pominięto również drugi składnik równania (3), przyjmując założenie, że wytwarzanie wziętych pod uwagę produktów powoduje wyłącznie emisję zanieczyszczeń, a nie powoduje zużywania jakichkolwiek dóbr środowiskowych [10]. Wykorzystanie macierzy przedziałowych ma szczególne znaczenie właśnie w odniesieniu do tej części modelu, która opisuje interakcje lokalnego systemu energetycznego z otoczeniem w sytuacji, kiedy zależności wyrażone są nie jako ilościowe, lecz kosztowe. Niepewność informacji wykorzystywanych do sporządzenia tablicy \mathbf{d}' wynika z faktu, że wykorzystanie tego samego rodzaju paliwa może odbywać się za pomocą różnego typu urządzeń o różnych charakterystykach, co nie jest możliwe do określenia bez szczegółowych badań dedykowanych temu zadaniu. Ponadto, w sytuacji gdy zamiast modelu ilościowego chcemy posłużyć się modelem kosztowym określenie kosztów zewnętrznych związanych z oddziaływaniem na środowisko stanowi bardzo istotną trudność. Badania wykonywane w celu wyznaczenia kosztów i korzyści zewnętrznych powodowanych przez energetykę dają często bardzo rozbieżne rezultaty.³ Powodem takiej sytuacji jest fakt, że część tych badań i obliczeń zmierzających do wyznaczenia kosztów i korzyści zewnętrznych bazuje na danych zebranych dla warunków innych krajów. Warunki te odbiegają od polskich realiów i dają najprawdopodobniej niewiarygodne wyniki. Niestety, badań podstawowych w zakresie tej tematyki przeprowadzono w Polsce bardzo niewiele. Dodatkowym utrudnieniem jest to, że koszty zewnętrzne środowiskowe będą zależne w każdym przypadku od tego, na jakiego typu ekosystem lokalna energetyka oddziałuje. Istotne znaczenie będzie miało w tym przypadku to, jakiego rodzaju źródła energii występują na danym obszarze, jakiego rodzaju oddziaływanie

³ W pracy przedstawiono wyniki pomiaru korzyści środowiskowych w postaci poprawy jakości powietrza, wynikających z zastosowania źródeł wykorzystujących odnawialną energię pierwotną zamiast źródeł konwencjonalnych. Uzyskane przez autorkę rezultaty (7,72 zł/MW·h) znacząco różnią się od wyników uzyskiwanych przy zastosowaniu programu ExternE (106,57 zł/MW·h – przeliczane z € wg kursu waluty). Badania te z jednej strony pokazują, że możliwe jest określenie wartości różnego rodzaju efektów zewnętrznych wytwarzania energii, a z drugiej pokazują konieczność prowadzenia dalszych badań zarówno nad metodologią, jak i uzyskaniem realnych dla warunków polskich rezultatów. Z przykładów pokazanych w pracy [11] wynika również jasno, że uwzględnienie kosztów i korzyści środowiskowych w rachunku ekonomicznej efektywności wytwarzania energii znacząco zmienia obraz uzyskiwanych wskaźników efektywności.

na środowisko one generują oraz na ile lokalne środowisko wrażliwe jest na te oddziaływania. Jak wynika z przeprowadzonej analizy literatury, nie określono dotychczas zależności zewnętrznych kosztów środowiskowych od rodzaju oddziaływania, jego poziomu i rodzaju środowiska (lokalnego ekosystemu) i jego wrażliwości na określone oddziaływania generowane przez lokalną energetykę. Brak takich informacji w znacznym stopniu utrudnia wykorzystywanie analiz ekonomicznych, w tym także rozszerzonego modelu Leontieffa dla energetyki lokalnej, uwzględniającego środowiskowe koszty zewnętrzne.

Trzecim składnikiem modelu jest równanie obrazujące generowanie miejsc pracy w analizowanej gminie, na skutek działania energetyki lokalnej. Przyjęto, że miejsca pracy powstają przy procesach produkcji energii (W_1), w transporcie (W_2), w procesach pozyskiwania paliwa (W_3) oraz w zewnętrznej administracji (np. obsługa bankowa itp.) (W_4). Dane do tego elementu modelu w zakresie elementów macierzy ω , muszą być albo oszacowane na podstawie regionalnych statystyk albo na podstawie danych dla całej gospodarki narodowej. Równanie to w postaci przedziałowej w prezentowanym przykładzie ma postać:

$$\begin{bmatrix} 9,603;11,17 \\ 16,56;22,74 \\ 70,705;92,875 \\ 0,513;0,792 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0,09;0,094 & 0 \\ 0,1;0,12 & 0,05;0,06 & 0,005;0,007 \\ 0,65;0,71 & 0 & 0,025;0,0264 \\ 0,0015;0,0025 & 0,0009;0,0011 & 0,0009;0,0011 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 97,2;118,8 \\ 106,7;126,7 \\ 301,323 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Podsumowanie

Modele *input–output* są szeroko stosowane na świecie do analizy zjawisk gospodarczych w różnym zakresie, w odniesieniu do całych gospodarek narodowych jak i systemów ekonomicznych na mniejszym terenie. Model tego typu rozszerzony o dodatkowe zależności odnoszące się do oddziaływania energetyki lokalnej na środowisko i społeczeństwo może stanowić opis lokalnej energetyki w odniesieniu do wymogów zrównoważonego rozwoju. Opracowanie tego typu modelu, który mógłby z powodzeniem być zastosowany do praktycznych analiz jest trudne ze względu na znaczny stopień niepewności danych używanych do jego budowy. Opracowanie modelu deterministycznego, nie uwzględniającego elementu niepewności może prowadzić do błędnych decyzji w kształtowaniu lokalnej polityki energetycznej. Problem ten można pokonać wykorzystując stosunkowo prostą metodę zapisu elementów macierzy modelu w postaci przedziałowej. Opracowane zostały metody rozwiązywania przedziałowych równań macierzowych pozwalające na uzyskanie rezultatów rezultatów postaci rozmyto-przedziałowej. Przedziałowy zapis macierzy jest szczególnie korzystny ze względu na znaczący zakres niepewności wynikający natury zewnętrznych kosztów środowiskowych, jak i znacznych braków w obszarze badań dotyczących środowiskowych kosztów zewnętrznych wywoływanych przez energetykę lokalną. Praktyczne

wykorzystanie modeli I-O w odniesieniu do energetyki lokalnej w ujęciu zrównoważonego rozwoju wymaga uzupełnienia tej luki w wiedzy.

Artykuł przygotowano w ramach realizacji w Politechnice Białostockiej pracy W/WE/05/07.

Literatura

- [1] WU C.C., CHANG N.B., 2003 – Grey input-output analysis and its application for environmental cost allocation. *European Journal of Operational Research* 145, p. 175–201.
- [2] GURGUL H., 1998 – Modele input-output w warunkach niepełnej informacji. Wyd. AGH.
- [3] GURGUL H., 1997 – Przedziałowe modelowanie systemów input-output. *Automatyka* t. 1, z. 1, s. 147–153.
- [4] TOMASZEWICZ Ł., 1994 – Metody analizy input-output. Warszawa, PWE.
- [5] HAWDON D., PEARSON P., 1995 – Input-output simulations of energy, environment, economy interactions in the UK. *Energy Economics* Vol. 17, No. 1, pp. 73–86.
- [6] GONERA M., DYMOWA L., SEWASTIANOW P., 2003 – Pierwiastki rozmyte równań przedziałowych. *Informatyka Teoretyczna i Stosowana* nr 4, r. 3, s. 197–204.
- [7] GONERA M., 2004 – Rozmyte wartości wielkości produkcji i interwałowe wartości kosztów w analizie wejścia – wyjścia. *Informatyka Teoretyczna i Stosowana* nr 5, r. 4.
- [8] LI Q-X., LIU S.-F., 2008 – The foundation of the grey matrix and the grey input-output analysis. *Applied Mathematical Modelling* 32, 267–291.
- [9] PLICH M., 2002 – Budowa i zastosowanie wielosektorowych modeli ekonomiczno-ekologicznych. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- [10] RUSAK H., 2007 – Model macierzowy energetyki lokalnej w zrównoważonym rozwoju obszarów cennych przyrodniczo, *Polityka Energetyczna* t. 10, z. spec. 2.
- [11] LIGUS M., 2008 – Wskaźnik korzyści środowiskowych w ocenie ekonomicznej efektywności inwestycji w odnawialne źródła energii. Referat na konferencji „Ekonomiczne problemy wykorzystania odnawialnych źródeł energii”, Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu, 25–27 czerwca.

Helena RUSAK

The I-O model of the sustainable local energy system in case of the uncertainty of input data

Abstract

Constructing models input-output for local energy system makes mistakes. These mistakes are result of uncertainties of data used to the construction of the model. This problem concerns everyone

of three components of the discussed model. It refers to data used to formulating of the classical matrix of flows between specified elements of the production and the consumption of energy as well as towards matrices describing the environmental and social influence. In the article a solution of this problem through the application of interval formulating of elements of the model matrix was proposed.

KEY WORDS: sustainable development, local energy system, interval input–output