

Helena RUSAK*

Model macierzowy energetyki lokalnej w zrównoważonym rozwoju obszarów cennych przyrodniczo

STRESZCZENIE. Modelowanie lokalnej energetyki w warunkach zrównoważonego rozwoju wymaga uwzględnienia trzech elementów: składnika ekonomicznego, środowiskowego oraz społecznego. Proponowany model uwzględniający te trzy składniki zbudowany został w oparciu o schemat modelu input – output. Model składa się z układu trzech niezależnych równań macierzowych. Pozwala w prosty sposób analizować zależności lokalnej energetyki i innych działań gospodarki oraz wpływu lokalnej energetyki na środowisko naturalne i lokalny rynek pracy.

SŁOWA KLUCZOWE: rozwój zrównoważony, energetyka lokalna, model input - output

Wprowadzenie

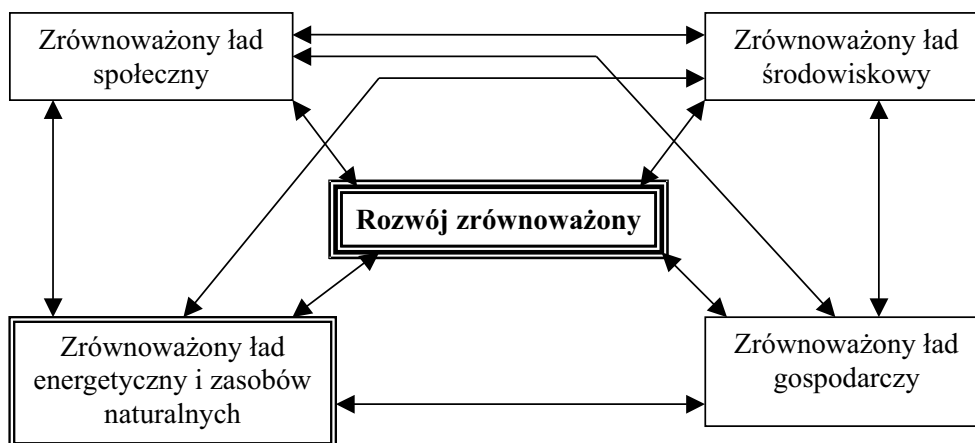
Zrównoważony i trwały rozwój zarówno w makro skali jak też na poziomie regionów wymaga równowagi między rozwojem gospodarczym, społecznym i ochroną środowiska przyrodniczego. Szczególnie istotne zagadnienie to staje się na terenach posiadających ponadprzeciętne walory przyrodnicze, których zachowanie w niezmiennym kształcie leży

* Dr inż. — Politechnika Białostocka.

Recenzent: doc. dr hab. inż. Mariusz KUDELKO

w interesie zarówno społeczności lokalnych jak również całej ludzkości. Ochrona przyrody na takich terenach stwarza szczególne warunki gospodarowania, powodujące ograniczenia inwestycyjne w przedsięwzięcia wpływające negatywnie na stan środowiska naturalnego.

Dziedziną, której ograniczenie rozwoju praktycznie jest niemożliwe jest energetyka, która musi istnieć na każdym terenie gdzie współcześnie mieszkają ludzie. Na terenach o szczególnych walorach przyrodniczych również muszą być ogrzewane budynki, musi być dostarczona energia elektryczna odbiorcom indywidualnym, komunalnym i przedsiębiorstwom, musi w końcu być wytworzona i dostarczona energia cieplna do celów technologicznych. Wynika stąd, że energetyka odgrywa istotną rolę w zrównoważonym rozwoju na obszarach cennych przyrodniczo (OCP) i stanowi czwarty element zrównoważonego ładu gospodarczego, społecznego i ekologicznego (rys. 1).



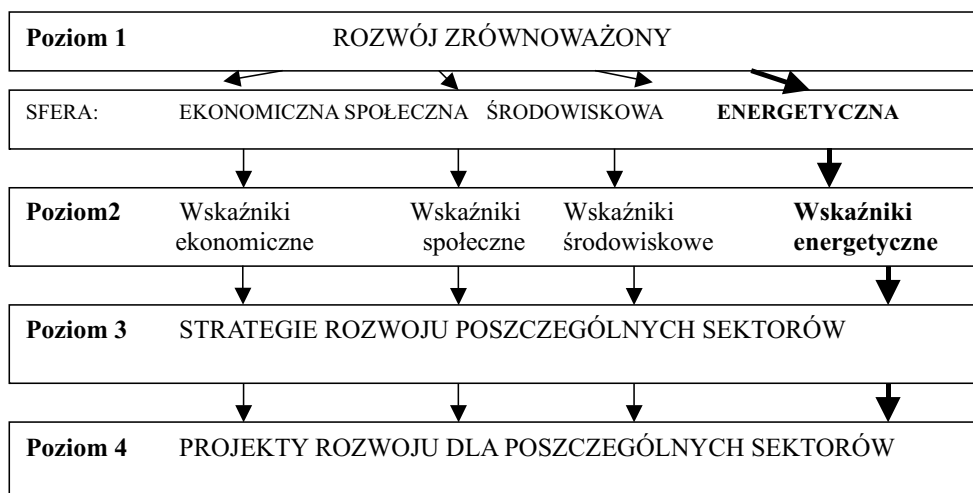
Rys. 1. Czynniki oddziaływujące na zrównoważenie rozwoju i ich współzależności [1]

Fig. 1. Factors affecting sustainable development and their interdependences [1]

Rozwój zrównoważony obszarów przyrodniczo cennych powinien odbywać się w oparciu o opracowane strategie rozwoju poszczególnych składników zrównoważonego ładu, które będą oceniane pod względem zgodności z zasadami trwałego i zrównoważonego rozwoju poprzez opracowany system wskaźników (rys. 2).

1. Model typu input – output lokalnej energetyki na obszarach cennych przyrodniczo

Modele powiązań ekonomiczno-ekologicznych mają w wielu przypadkach charakter modeli input – output. Podwaliny analiz tego typu opracował Wassily Leontief. Podejście to przechodziło w ciągu ostatnich ponad 50 lat szereg ulepszeń i rozwijane jest do dzisiaj.



Rys. 2. Zintegrowany model zrównoważonego rozwoju z uwzględnieniem energetyki jako czwartego z podstawowych łańcuchów [2]

Fig. 2. Integrated model of sustainable development from regard the energetic as fourth of basic orders [2]

Podstawowy I-0 modelu może zostać zdefiniowany jako sprawny, statyczny, linearny model zakupów i sprzedaży między sektorami gospodarki, opartej na technicznych relacjach produkcji [3].

Opracowanie strategii rozwoju i konkretnych realizujących tą strategię planów odnośnie zaopatrzenia w energię i jej wykorzystania wymaga możliwości określenia aktualnych zależności pomiędzy wydzielonymi składnikami ładu zrównoważonego oraz prognozowania przyszłych relacji między nimi. Dotychczas prezentowane modele uwzględniające powiązania między energetyką, a innymi obszarami działalności gospodarczej w swoich najszerszych postaciach opisywały trzy spośród wymienionych filarów zrównoważonego rozwoju, tj. powiązania łańcuchów ekonomicznego, środowiskowego oraz energetycznego (tzw. modele 3E od angielskich słów *Energy, Economic, Environmental*). W modelach tego typu uwagę poświęcano opisaniu przy pomocy równań tych działów gospodarki, w których ma miejsce przetwarzanie energii. Modele 3E zawierające równania dotyczące emisji zanieczyszczeń służą jako narzędzia oceny wariantów polityki energetycznej i ekologicznej zarówno na szczeblu regionalnym jak i w odniesieniu do krajowej gospodarki energetycznej [4, 5, 6] oraz poszczególnych działów gospodarki, np. rolnictwa [7]. Modele tego typu mogą mieć charakter statyczny jak również dynamiczny, pokazywać zależności zastane w danym momencie jak też obrazować zmiany zależności w czasie.

Model, o którym mowa w niniejszym artykule, dedykowany jest gminom. Ma charakter modelu input – output i dotyczy powiązań energetyki z innymi działami gospodarki, które zużywają energię lub wytwarzają paliwa, oddziaływaniem energetyki na zasoby przyrodnicze terenu, którego dotyczy analiza oraz interakcjami procesów wytwarzania i przesyłania energii z potrzebami społecznymi. Wpływ na kształt modelu ma fakt, że opisywać on ma wyżej przedstawione zależności na specyficznym obszarze, jakim są tereny o szczególnych walorach przyrodniczych. Ma to odbicie przede wszystkim w branżach pod uwagę

sposobach wytwarzania energii oraz sposobach jej użytkowania. Wyjaśnić należy jeszcze, że model dedykowany jest właściwie opisywaniu energetyki na obszarze gminy leżącej na OCP. Przyjęcie takiego założenia ułatwia pozyskanie danych do modelu, gdyż przynajmniej częściowo można przy ustalaniu danych korzystać z informacji gromadzonych przez gminy. Przedstawiony model nie ma charakteru międzyregionalnego (rozbudowa modelu przewiduje uwzględnienie oddziaływań międzyregionalnych na poszczególne jego składniki). Zakłada się przede wszystkim, że:

- ✧ na OCP nie funkcjonują źródła energii elektrycznej współpracujące z siecią,
- ✧ zakłada się, że energia ciepła wytwarzana na OCP jest w całości zużywana na tym obszarze,
- ✧ uwzględnia się wyłącznie oddziaływania powstałe na analizowanym obszarze, tzn. nie są brane pod uwagę zanieczyszczenia środowiska, powstałe poza OCP a oddziałujące na jego środowisko, oraz nie bierze się pod uwagę przenoszenia się oddziaływań środowiskowych z analizowanego obszaru poza jego granice (np. wytwarzania zanieczyszczeń powietrza w elektrowniach produkujących energię elektryczną na potrzeby analizowanego obszaru). Nie uwzględnia się również wpływu na rynek pracy poza analizowanym obszarem, chociaż taki wpływ niewątpliwie istnieje, np. ze względu na import paliw spoza OCP.

Proponowany model składa się z trzech równań macierzowych. Macierze te mają charakter produktowy, tzn. że:

- ✧ w pierwszym rozpatruje się wzajemne zużycie energii produkowanej w różnych źródłach oraz dostarczanej na teren OCP energii elektrycznej i różnego rodzaju produktów wytwarzanych na tym terenie, na których produkcję zużywana jest energia,
- ✧ w drugim analizowane są zużycie dóbr ekologicznych i produkcja zanieczyszczeń na skutek działań związanych z lokalną energetyką,
- ✧ w trzecim analizuje się wpływ energetyki lokalnej na rynek pracy na analizowanym obszarze.

Przedstawiany model, na tym etapie jego opracowywania, ma wymiar jednostek naturalnych, tzn. produkcja poszczególnych produktów mierzona jest w naturalnych dla nich jednostkach, energia mierzona jest w dżulach (i ich wielokrotności), itd. Można by przekształcić model w taki sposób, aby wszystkie równania wyrażone były w jednostkach monetarnych. Każde z trzech równań macierzowych stanowiących model jest równoprawne i żadne z nich nie pełni roli bloku nadrzędnego.

Pierwsze równanie, ma właściwie charakter niemalże typowego modelu input – output, różnica istnieje tylko w sposobie formułowania wektora \mathbf{X} .

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

Rozwijając równanie (1) otrzymujemy postać:

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \dots \\ X_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1N} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{N1} & a_{N2} & \dots & a_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \dots \\ X_N \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \dots \\ F_N \end{bmatrix} \quad (2)$$

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

Elementy macierzy \mathbf{A} mogą być wyznaczone na podstawie danych statystycznych, na podstawie norm technicznych wyznaczonych na podstawie danych inżynierskich, metodą ekspercką wykorzystującą znajomość procesów technologicznych [4] lub na podstawie danych uzyskanych bezpośrednio od producentów. Ostatnia możliwość wynika ze stosunkowo niewielkiej liczby wytwórców działających na obszarach, którym dedykowany jest model.

Wektor produkcji energii (\mathbf{X}') budowany jest jako kombinacja wymienionych poniżej rodzajów paliw oraz rodzajów źródeł. Przykładowe, brane pod uwagę rodzaje energii pierwotnej:

- $i=1$ – olej opałowy,
- $i=2$ – węgiel,
- $i=3$ – gaz ziemny,
- $i=4$ – biogaz,
- $i=5$ – biomasa,
- $i=6$ – energia pierwotna sił natury (np. energia promieniowania słonecznego),
- $i=7$ energia elektryczna.

Brane pod uwagę rodzaje źródeł energii:

- $j=1$ – scentralizowane źródła energii cieplnej,
- $j=2$ – piece przystosowane do spalania biomasy,
- $j=3$ – piece kaflowe,
- $j=4$ – piece centralnego ogrzewania ogólnego zastosowania,
- $j=5$ – piece przystosowane do spalania oleju opałowego,
- $j=6$ – piece przystosowane do spalania gazu,
- $j=7$ – źródła energii wykorzystujące energię pierwotną sił natury.

Zestaw uwzględnianych rodzajów paliw i źródeł energii zależy od ich rodzajów wykorzystywanych na analizowanym obszarze i może być modyfikowany zgodnie z potrzebami.

Wektor \mathbf{X}' ma N' wyrazów, których liczba wynika z uwzględnionej liczby sposobów produkcji energii oraz wytwarzanej na analizowanym obszarze liczby środków produkcji energii.

Przedstawiony powyżej wykaz uwzględnianych rodzajów energii pierwotnej oraz typów źródeł energii mają charakter przykładowy i mogą być modyfikowane w zależności od

specyfiki analizowanego obszaru. Przedstawiony powyżej zestaw wynika z efektów prowadzonych badań na OCP odnośnie rodzajów źródeł energii cieplnej oraz typów wykorzystywanych urządzeń wytwórczych [8].

Drugie równanie opisuje wpływ lokalnej energetyki na dobra ekologiczne. Równanie to ma postać:

$$\mathbf{D} = \mathbf{d}'\mathbf{X}' + \mathbf{d}''\mathbf{X}' \quad (3)$$

Postać rozwinięta równania (3) przedstawia się następująco:

$$\begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \dots \\ D_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d'_{11} & d'_{12} & \dots & d'_{1N'} \\ d'_{21} & d'_{22} & \dots & d'_{2N'} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d'_{M1} & d'_{M2} & \dots & d'_{MN'} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X'_1 \\ X'_2 \\ \dots \\ X'_{N'} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} d''_{11} & d''_{12} & \dots & d''_{1N'} \\ d''_{21} & d''_{22} & \dots & d''_{2N'} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d''_{M1} & d''_{M2} & \dots & d''_{MN'} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X'_1 \\ X'_2 \\ \dots \\ X'_{N'} \end{bmatrix} \quad (4)$$

gdzie: 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 ditlenku siarki, ditlenku węgla, tlenków azotu, pyłów, wody ($m=1, \dots, M$, gdzie M jest liczbą uwzględnionych oddziaływań środowiskowych).

Kolejne równanie składające się na model lokalnej energetyki na OCP to równanie opisujące jej wpływ na lokalny rynek pracy, który stanowi jeden z elementów ładu społecznego, będącego składnikiem regionalnego rozwoju zrównoważonego. Tą część modelu można by potencjalnie rozszerzyć o inne składniki, np. wpływ emitowanych zanieczyszczeń na zdrowie ludzi. Autorka uznała jednak, że na obecnym etapie wiedzy na ten temat trudno byłoby uzyskać wiarygodne dane rzeczywiste dla takiego składnika modelu.

Zależność między sposobami wytwarzania energii na danym obszarze i wpływem lokalnej energetyki na lokalny rynek pracy opisuje równanie:

$$\mathbf{W} = \omega\mathbf{X}' \quad (5)$$

Równanie to można przedstawić w postaci rozwiniętej:

$$\begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \dots \\ W_K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_{11} & \omega_{12} & \dots & \omega_{1N'} \\ \omega_{21} & \omega_{22} & \dots & \omega_{2N'} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \omega_{K1} & \omega_{K2} & \dots & \omega_{KN'} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X'_1 \\ X'_2 \\ \dots \\ X'_{N'} \end{bmatrix} \quad (6)$$

gdzie: wektor \mathbf{W} 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 ω (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 ω , 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).

Przykład modelu przedstawiony zostanie dla uproszczonego układu zawierającego 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 GWh/rok),
- ✧ X_2 – wytwarzanie energii w ciepłowni miejskiej opalanej węglem (w GWh/rok),
- ✧ X_3 – energia elektryczna dostarczana spoza analizowanego obszaru (w GWh/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).

Dane do przedstawionego poniżej przykładu modelu przygotowano w oparciu o pozycje bibliografii [7–10]. 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.

Równanie opisujące wzajemne zależności tych sześciu wyżej wymienionych obszarów działalności gospodarczej, związanych z lokalną energetyką przyjmie postać:

$$\begin{bmatrix} 108 \\ 116,7 \\ 312 \\ 200 \\ 68501 \\ 500 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,03 & 0 & 0 & 0,012 & 0 \\ 0 & 0,04 & 0,12 & 0,168 & 0,42 & 0,02 \\ 0,278 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3,43 & 1,799 & 0,16 & 0,75 & 0,24 & 0,05 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 108 \\ 116,7 \\ 312 \\ 200 \\ 984,27 \\ 500 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 108 \\ 107,2 \\ 88,23 \\ 0 \\ 67102,73 \\ 300 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 170 \\ 0 \\ 200 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Współczynnik np. $a_{33} = 0,12$ oznacza współczynnik strat energii elektrycznej w sieciach na analizowanym obszarze, natomiast $a_{22} = 0,03$ zużycie energii cieplnej w elektrociepłowni na potrzeby własne. Z kolei zerowe współczynniki w pierwszym wierszu wynikają z faktu, że energia wytwarzana z biomasy w indywidualnych kotłach nie jest wykorzystywana w produkcji innych wyszczególnionych produktów i jest zużywana przez odbiorców finalnych. Wektor \mathbf{F} wyszczególniony w równaniach 1 i 2 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.

Równanie dotyczące wpływu lokalnej energetyki na środowisko przedstawia się następująco:

$$\begin{bmatrix} 314,49 \\ 47,178 \cdot 10^3 \\ 215,95 \\ 28,782 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 2520 & 0 & 0 & 0,3 \\ 0 & 360 \cdot 10^3 & 0 & 0 & 77 \\ 576 & 1260 & 0 & 0 & 0,1 \\ 72 & 180 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 108 \\ 116,7 \\ 312 \\ 200 \\ 68051 \end{bmatrix} \quad (8)$$

W równaniu tym uwzględnione zostały tylko te produkty, które są wytwarzane lub zużywane 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: ditlenku siarki, ditlenku 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.

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.). Równanie to w prezentowanym przykładzie ma postać:

$$\begin{bmatrix} 10,73 \\ 20,17 \\ 81,864 \\ 0,645 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0,092 & 0 \\ 0,11 & 0,055 & 0,006 \\ 0,68 & 0 & 0,0257 \\ 0,002 & 0,001 & 0,001 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 108 \\ 116,7 \\ 312 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Wytwarzanie energii z biomasy nie powoduje powstawania miejsc pracy przy obsłudze procesów spalania, gdyż zakłada się, że energia ta jest wytwarzana w indywidualnych kotłach.

Podsumowanie i kierunki dalszych prac

Korelacje między lokalną energetyką, środowiskiem i wybranymi aspektami społecznymi mogą być analizowane z wykorzystaniem modelu typu input-output. Przedstawiony

model ma umożliwić strukturalną analizę współzależności produkcji i zużycia energii, dóbr ekologicznych oraz lokalnego rynku pracy na OCP. Właściwie zastosowany model może być wartościowym narzędziem wspomagającym planowanie energetyczne na obszarach cennych przyrodniczo. Na przedstawiony model energetyczno-ekologiczno-społeczny można spojrzeć z punktu widzenia każdego z jego składników. Z punktu widzenia lokalnej energetyki model pozwala ocenić wpływ określonego składu urządzeń wytwórczych na środowisko naturalne oraz przeanalizować niezbędne decyzje, które pozwoliłyby dostosować lokalny system energetyczny do standardów środowiska. Z punktu widzenia ekologii model służy ocenie wielkości zanieczyszczenia środowiska powodowanego przez lokalną energetykę i w konsekwencji ocenie skutków ekologicznych wynikających z faktu wytwarzania i użytkowania energii na OCP. W końcu, z perspektywy społecznej model daje możliwość przeanalizowania wpływu określonej struktury lokalnego wytwarzania energii na rynek pracy na analizowanym obszarze.

Proponowany model ma charakter statyczny. Współczynniki macierzy A , d' , d'' oraz ω są wartościami stałymi. Możliwa jest jednak rozbudowa modelu w taki sposób, aby współczynniki te miały postać funkcji tych zmiennych, które zostaną uznane za wielkości istotne dla uzyskania obrazu zmian, np. w czasie, sytuacji energetyki na analizowanym terenie. Ponadto, model może być przedstawiony w postaci kosztowej, kiedy wszystkie elementy modelu będą wyrażone nie w jednostkach naturalnych, lecz wartościach monetarnych. Możliwe jest również uwzględnienie niepewności danych używanych w prezentowanym modelu np., w najprostszy sposób, poprzez zastosowanie liczb rozmytych jako elementów modelu.

Artykuł jest efektem realizacji pracy W/WE/5/07

Literatura

- [1] MIDILLI A., DINCER I., AY M., 2006 — Green energy strategies for sustainable development. *Energy Policy*, 34, s. 3623–3633.
- [2] QUADDUS M.A., SIDDIQUE M.A.B., 2001 — Modelling sustainable development planning: A multicriteria decision conferencing approach. *Environment International* 27, s. 89–95.
- [3] ROSE A., 1996 — Multisector economic models for analyzing global climate change. *Global and Planetary Change* 11, s. 201–221.
- [4] PLICH M., 2002 — Budowa i zastosowanie wielosektorowych modeli ekonomiczno-ekologicznych. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- [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] Qiao-Mei LIANGA, Ying FANA, Yi-Ming WE, 2007 — Multi-regional input–output model for regional energy requirements and CO₂ emissions in China. *Energy Policy* 35, pp. 1685–1700.
- [7] KARKACIER O., GOKTOLGA Z.G., 2005 — Input–output analysis of energy use in agriculture, *Energy Conversion and Management* 46, pp. 1513–1521.
- [8] RUSAK H., 2006 — Zużycie paliw i energii oraz analiza ekonomiczna wytwarzania energii w źródłach indywidualnych na cennych przyrodniczo obszarach polski północno-wschodniej. *Polityka Energetyczna* t. 9, z. spec., s. 377–388.

- [9] ŁAKOMIEC L., 2003 — Szanse rozwoju rynku pracy dzięki wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii, *Gospodarka Paliwami i Energią*, 2/2003.
- [10] Strategia zrównoważonego rozwoju powiatu hajnowskiego do 2015 roku, Białystok – Hajnówka 2000, Wyd. Ekonomia i Środowisko, Białystok 2000.
- [11] Wykorzystanie biomasy do ogrzewania budynków mieszkalnych, dokument elektroniczny, <http://www.kape.gov.pl/PL/Programy/>, data pozyskania 2004.08.11.

Helena RUSAK

The matrix model of local energy system in sustainable development of valuable nature areas

Abstract

The modelling of local energy system in conditions of sustainable development requires three elements: economic, environmental and social components. The proposed model that takes into account these three components has been constructed on the base of the scheme of input – output model. The model consists of three independent matrices equations. It allows to analyse in simple way the dependence of local energy system and different sections of economy as well as the influence on environment and the regional labour market.

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