

Mariusz KUDEŁKO*

Efektywność alokacyjna przy występowaniu kosztów zewnętrznych — model równowagi cząstkowej krajowego sektora energetycznego

STRESZCZENIE. Jedną z najważniejszych kategorii ekonomicznych, mających poważny wpływ na poziom osiąganego dobrobytu społecznego, są koszty zewnętrzne, czyli koszty narzucone przez jedną ze stron na drugą bez jakiegokolwiek kompensacji. Klasycznym przykładem takiego oddziaływania jest funkcjonowanie sektorów energetycznych, w przypadku których emisja zanieczyszczeń w bardzo poważnym stopniu wpływa na zmniejszenie dobrobytu społecznego. Na podstawie stworzonego modelu równowagi cząstkowej dokonano analizy rozwoju krajowego sektora energetycznego w oparciu o dwa kryteria efektywnościowe. Wykazano, że wariant rozwoju bazujący na tradycyjnym podejściu optymalizacyjnym, opartym na minimalizacji kosztów produkcji, nie spełnia warunku efektywności alokacyjnej. Udowodniono, że pełna internalizacja kosztów zewnętrznych w decyzjach producentów energii może przynieść wymierne korzyści społeczne.

SŁOWA KLUCZOWE: model, koszty zewnętrzne, efektywność

Wprowadzenie

Przyjmuje się, że w pewnych ściśle określonych warunkach na rynku wolnokonkurencyjnym alokacja zasobów dokonuje się według kryterium maksymalizacji dobrobytu

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

Recenzent: prof. dr hab. inż. Roman NEY

społecznego, czyli w oparciu o kryterium Pareto. Równowaga powstająca w warunkach konkurencji doskonałej jest efektywna w sensie Pareto, ponieważ niezależne działania producentów — ustalających koszty krańcowe na poziomie odpowiadającym cenie, i konsumentów — ustalających na tym samym poziomie użyteczności krańcowe, zapewniają, że krańcowy koszt produkcji dobra równa się jego krańcowej użyteczności. Co więcej, jeśli wszystkie rynki w gospodarce są doskonale konkurencyjne, to powstający stan równowagi w całej gospodarce jest efektywny w sensie Pareto.

Współczesna gospodarka, oparta w głównej mierze na mechanizmie rynkowym, nie zawsze gwarantuje optymalne wykorzystanie zasobów. Terminem „zawodność rynku” określamy sytuacje, gdy równowaga kształtująca się na wolnych, nie będących przedmiotem regulacji rynkach (tzn. na rynkach nie poddanych bezpośredniej kontroli rządu — cenowej lub ilościowej) nie prowadzi do efektywnej alokacji zasobów. Ekonomiści zajmujący się problematyką z zakresu ekonomii dobrobytu podają podstawowe źródła tych zakłóceń, do których zaliczają: niedoskonałość konkurencji, sprawiedliwość podziału, niestabilność gospodarki, brak pełnej informacji, istnienie dóbr publicznych oraz występowanie efektów zewnętrznych¹. Istnienie niekorzystnych efektów zewnętrznych jest klasycznym przykładem zniekształceń, które powinny być eliminowane poprzez skuteczną i efektywną interwencję państwową. Proponowanym, a na gruncie teorii ekonomii powszechnie akceptowalnym rozwiązaniem tego problemu jest usunięcie rozbieżności między prywatnym a społecznym kosztem produkcji. Istnieją co prawda dość poważne kontrowersje co do zakresu tej interwencji, tak aby nie powodować dodatkowych kosztów społecznych i nieefektywności. Ekonomia dobrobytu dostarcza nam jednak przekonujących wskazówek kiedy i w jakim zakresie państwo powinno przejmować rolę regulatora procesów alokacyjnych. W klasycznych pracach z tej dziedziny zagadnienie to analizowane było przez Pigou (1920), choć zdaniem Coase’a (1960) interwencja taka nie zawsze jest konieczna.

Sektor energetyczny, odpowiedzialny za powstawanie kosztów zewnętrznych związanych z emisją zanieczyszczeń gazowych, jest klasycznym przykładem gałęzi gospodarczej, gdzie niekorzystne efekty zewnętrzne prowadzą do nieefektywności alokacyjnej. W prezentowanym artykule podjęto próbę określenia skutków ekonomicznych włączenia kosztów zewnętrznych do modelu decyzyjnego z zakresu długoterminowego planowania rozwoju polskiego sektora energetycznego. W celu realizacji tego zadania skonstruowano model równowagi cząstkowej, umożliwiający długoterminowe planowanie rozwoju systemu energetycznego w oparciu o zdefiniowane kryteria efektywności.

Realizacja celu pracy wymagała zidentyfikowania i zmierzenia kategorii ekonomicznych określających kryterium efektywności alokacyjnej. W pracy zastosowano dwa kryteria formułujące warunek efektywności ekonomicznej. Pierwsze kryterium zakłada osiągnięcie tzw. efektywności kosztowej, co oznacza minimalizację nakładów w celu zaspokojenia popytu na

¹ Więcej na ten temat można znaleźć w klasycznych pozycjach podręcznikowych, m.in. w: Samuelson, Marks 1998; Samuelson, Nordhaus 2000; Laidler i in. 1991; Wojtyła 1990.

energię. Drugie kryterium decyzyjne oparte jest na maksymalizacji dobrobytu społecznego, określanego na podstawie sumy nadwyżki konsumentów i producentów energii. Dodatkowym składnikiem tak zdefiniowanej funkcji dobrobytu są koszty zewnętrzne spowodowane na skutek emisji zanieczyszczeń gazowych. Rachunek uwzględniający wszystkie te elementy pozwala m.in. określić optymalną strukturę dostaw i popytu na nośniki energetyczne oraz optymalny, ze społecznego punktu widzenia, poziom emisji zanieczyszczeń w systemie energetycznym.

1. Podstawy teoretyczne analizy

Badając problemy powodowane zawodnością rynku, w tym także istnieniem kosztów zewnętrznych, należy odwołać się do dostępnych metod analitycznych z zakresu ekonomii dobrobytu. Metodą przydatną w badaniach, kiedy, jak i w jakim zakresie państwo powinno interweniować na prywatnym rynku dóbr i usług, jest analiza kosztów i korzyści (*cost-benefit analysis*). Najogólniej — celem interwencji państwa, a tym samym kryterium określającym jej zakres, jest uzyskanie takiego stanu, w którym nastąpi zrównanie krańcowych kosztów z krańcowymi korzyściami tej interwencji.

Kopp i in. (1997), Woś (1995) oraz Accocella (2002) precyzują zakres stosowania analizy kosztów i korzyści, której głównym zadaniem jest podanie przekonującej informacji o wyborze określonej decyzji inwestycyjnej, podejmowanej przez prywatne przedsiębiorstwo czy władzę publiczną. W tym drugim przypadku metoda znajduje także zastosowanie, gdy należy uzasadnić realizację określonych celów gospodarczych czy prowadzenie określonej polityki gospodarczej, społecznej i środowiskowej.

Analiza kosztów i korzyści wymaga prawidłowego zidentyfikowania wszystkich kategorii korzyści i kosztów związanych z daną decyzją. W zakresie problematyki środowiskowej kwantyfikacja **korzyści ekonomicznych** obejmuje waloryzację unikniętych kosztów zewnętrznych. Ich charakterystykę można znaleźć zarówno w literaturze krajowej, jak i zagranicznej (m. in.: Baładynowicz i in. 1987, Symonowicz 1988, Famielec 1999, Straty gospodarcze... 2001, Freeman 1996, Kopp i in. 1997). Korzyści ekonomiczne można rozpatrywać w kategoriach poprawy zdrowia, zwiększenia produkcji, wartości ekonomicznych i środowiskowych. Kategoria korzyści zdrowotnych wiąże się ze zmniejszonym ryzykiem śmierci i niższą zachorowalnością wśród ludzi. Korzyści produkcyjne wiążą się m.in. z poprawą wielkości zbiorów rolniczych, upraw leśnych itp. oraz możliwymi oszczędnościami kosztów w sektorach gospodarczych zaopatrujących się w wodę. Korzyści ekonomiczne z poprawy stanu środowiska to zwiększona wartość nieruchomości, mniejsze koszty remontów i modernizacji urządzeń. Poprawa wartości środowiskowych obejmuje cechy środowiska, za które człowiek jest w stanie dodatkowo zapłacić. Są to np. dodatkowe tereny rekreacyjne czy naturalne ekosystemy. W przypadku systemów energetycznych wymienione korzyści ekonomiczne możliwe są do osiągnięcia poprzez zmniejszenie zanieczyszczenia

powietrza, zrzutu wód, składowania odpadów i innych oddziaływań związanych z produkcją, transportem i zużyciem paliw energetycznych (Rowe 1996).

Analiza kosztów realizacji określonej polityki wymaga z kolei kategoryzacji i waloryzacji **kosztów ekonomicznych**². W skład kosztów ekonomicznych wchodzi dwie kategorie kosztów: tzw. koszty bezpośrednie i tzw. koszty pośrednie. Pierwsza kategoria kosztów obejmuje koszty czynników produkcji zaangażowanych podczas realizacji projektów gospodarczych. Drugi rodzaj kosztów określa wartości dóbr i usług utraconych przez gospodarke, np. przez wprowadzenie określonych regulacji (Burtraw 1998).

Stosunkowo najłatwiej identyfikowalną i najczęściej wykorzystywaną miarą kosztów realizacji określonej polityki są koszty bezpośrednie. Koszty bezpośrednie powstają na skutek zaangażowania ograniczonych zasobów (czynników produkcji) w celu realizacji określonego zadania produkcyjnego lub polityki gospodarczej. Są też często niesłusznie wykorzystywane w badaniach jako jedyny składnik kosztów ekonomicznych. W przypadku sektorów energetycznych koszty bezpośrednie obejmują koszty wydobycia, transportu i energetycznego wykorzystania nośników energetycznych. W ich skład wchodzi zarówno koszty bieżące (operacyjne) funkcjonowania istniejących zakładów produkcyjnych, jak i koszty inwestycyjne obiektów nowych.

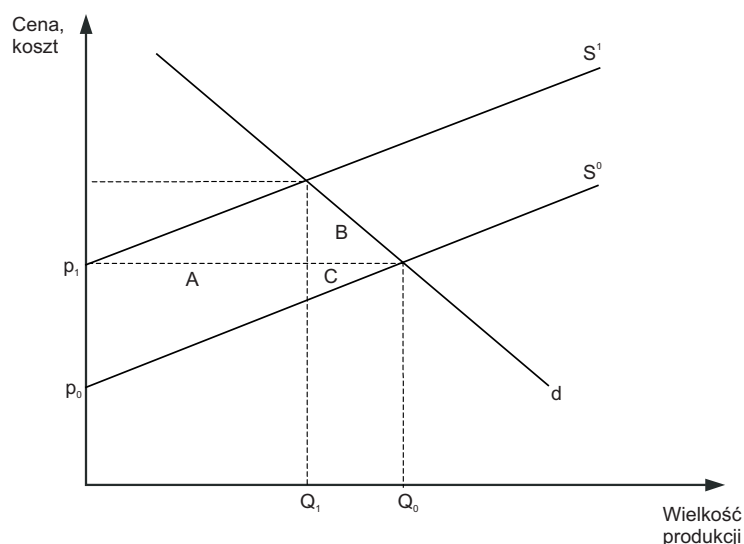
Drugą kategorią kosztów ekonomicznych są koszty pośrednie. Ich zakres określony jest na podstawie zmian dokonujących się na pojedynczych rynkach lub w obrębie całej gospodarki — na skutek wprowadzenia określonych rozwiązań prawnych, ekonomicznych czy społecznych. W przypadku rozwiązań z dziedziny ochrony środowiska najczęściej są to wymuszenia spowodowane wprowadzeniem określonych przepisów środowiskowych, takich jak zaostrzone normy emisyjne lub podatki ekologiczne. Skutki te objawiają się m.in. w zmianie cen produktów, poziomu zatrudnienia, wzroście lub spadku produkcji (Siebert 1995). Te dodatkowe efekty pośrednie (*secondary effects*) wpływają na poziom rozwoju gospodarczego, określanego zazwyczaj na podstawie zmian produktu krajowego brutto. Pełny rachunek kosztów ekonomicznych wymaga wówczas zastosowania tzw. analizy równowagi ogólnej (*general equilibrium analysis*).

Jeżeli skutki ekonomiczne są określane nie dla całej gospodarki, lecz dla pojedynczych rynków produktów czy usług, wówczas mówimy o tzw. *analizie cząstkowej* (*partial analysis*). W tego typu badaniach analizuje się zachowania zawężonej grupy producentów i konsumentów zakładając, że reszta gospodarki nie jest poddana wpływowi oddziaływań ekonomicznych (Pearce, Warford 1993). Takie uproszczone podejście może być uzasadnione analityczną wygodą i dostępnym aparatem matematycznym. Metodyka ta wykorzystywana jest także w przypadku stosunkowo mniej istotnych sprzężeń zwrotnych, zachodzących pomiędzy pojedynczym rynkiem poddanym określonym regulacjom, a całą gospodarką. Wówczas właściwą miarą kosztów pośrednich są zmiany poziomu nadwyżki konsumentów i producentów, określających tzw. poziom dobrobytu społecznego. Koszty

² W literaturze z zakresu ekonomii dobrobytu, a ściślej biorąc analizy kosztów i korzyści, koszty ekonomiczne określane są różnymi terminami, m.in. *social costs*, *welfare costs* czy *economic costs*.

pośrednie są tutaj interpretowane jako miara wartości dóbr i usług utraconych przez gospodarke (Burtraw 1998).

Na rysunku 1 zaprezentowano sposób określania kosztów bezpośrednich i pośrednich dla pojedynczego rynku. S^0 i S^1 przedstawiają krzywe podaży określonego produktu przed i po wprowadzeniu regulacji środowiskowych. Popyt na ten produkt reprezentowany jest przez krzywą d . Po narzuceniu ostrzejszych wymagań środowiskowych cena równowagi wzrasta z p_0 do p_1 , a konsumpcja spada z Q_0 do Q_1 . Pole A przedstawia koszt zakupu urządzeń służących poprawie ochrony środowiska (koszty bezpośrednie), pola B i C utratę nadwyżki konsumentów i producentów na skutek spadku popytu na dostarczany produkt (koszty pośrednie). Suma tych pól stanowi pełną miarę kosztu ekonomicznego wprowadzenia regulacji środowiskowych.



Rys. 1. Koszt ekonomiczny wprowadzenia regulacji środowiskowych
Źródło: Bates i in. 1994

Fig. 1. Economic costs of environmental regulations

Analizując problematykę powstawania kosztów ekonomicznych należy mieć na uwadze fakt, że wiele form regulacji może być przedstawiana zarówno w wąskim, jak i szerokim zakresie skutków gospodarczych. Nie ma niestety prostej odpowiedzi na pytanie o zasadność stosowania określonej metody analitycznej, szacującej wielkość ponoszonych kosztów ekonomicznych. W większości przypadków ingerencje w funkcjonowanie określonego rynku nie pociągają za sobą poważnych skutków makroekonomicznych. Analiza równowagi cząstkowej jest w tym przypadku właściwą metodą szacowania kosztów ekonomicznych. Jednak niektóre mocno zintegrowane z pozostałymi działaniami gospodarczymi sektory, takie jak np. sektor energetyczny, często wymagają zastosowania analizy ogólnej. Nie jest to jednak reguła

i można znaleźć prace, w których analiza równowagi cząstkowej jest równie często wykorzystywana³. Powodem tego są przede wszystkim wysokie koszty budowy i wykorzystania odpowiedniego narzędzia — modelu równowagi ogólnej. Ponadto, w przypadku zastosowania modeli równowagi cząstkowej stopień agregacji wyników jest zdecydowanie mniejszy niż w przypadku modeli równowagi ogólnej, co w wielu przypadkach przesądza o ich użyteczności.

Opracowanie podstaw decyzyjnych w oparciu o analizę kosztów i korzyści wymaga rozróżnienia kryteriów stojących u podstaw tych decyzji. Należy zatem odróżnić decyzje podejmowane przez podmioty indywidualne (osoby prywatne, firmy lub całe branże gospodarcze) od decyzji podejmowanych przez agencję publiczną lub rząd. Dla przedsiębiorstwa lub osoby indywidualnej istotne są prywatne korzyści jego działalności. Opiera ono swoje decyzje produkcyjne na analizie prywatnych kosztów i dochodów z prowadzenia działalności gospodarczej. W wąskim ujęciu prywatnych korzyści projekt (ewentualnie cały zakres podejmowanych działań) jest potencjalnie akceptowalny, jeśli zdyskontowane wartości zysków są większe od zera. Jediną rozpatrywaną przez przedsiębiorstwo kategorią kosztów ekonomicznych są jego koszty bezpośrednie, a potencjalne efekty zewnętrzne (koszty lub korzyści) jego działalności z reguły nie mają dla niego żadnego znaczenia. Dopiero ewentualna interwencja państwa i narzucenie podatku korygującego zakres działalności przedsiębiorstwa o wysokość krańcowych kosztów zewnętrznych zmienia ekonomiczne warunki podejmowania decyzji produkcyjnych. Kryterium decyzyjne dla pojedynczego przedsiębiorstwa ma wówczas następującą postać:

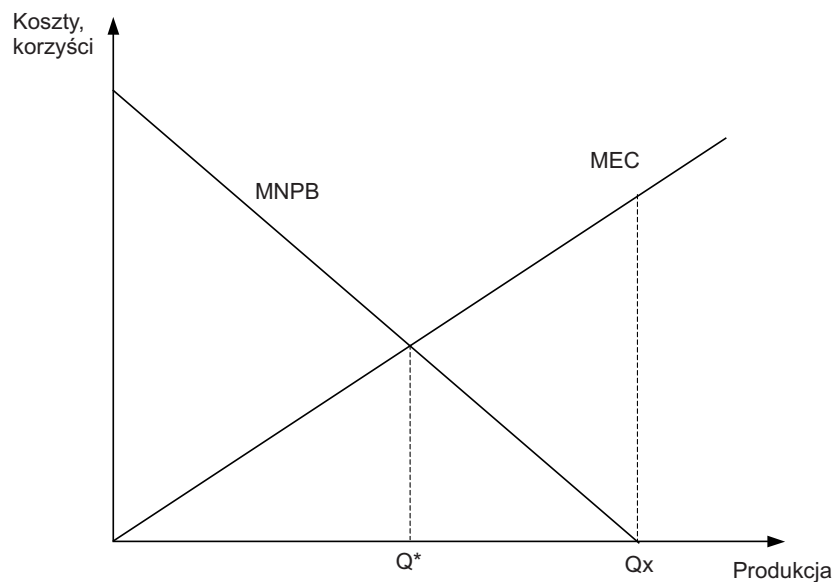
$$\max \sum_t (R_t - C_t \pm D_t)(1+r)^{-t}$$

gdzie: R — przychody z produkcji,
 C — koszty produkcji,
 D — koszty (–) lub korzyści (+) zewnętrzne,
 r — stopa procentowa,
 t — czas.

Taka postać kryterium decyzyjnego, na podstawie którego przedsiębiorstwo podejmuje decyzje produkcyjne, określa sytuację, w jakiej cena produktu jest równa krańcowemu kosztowi społecznemu. Graficzną ilustrację tego przypadku przedstawiono na rysunku 2.

Krzywa zysku krańcowego *MNPB* reprezentuje przyrost zysku firmy na skutek zwiększenia produkcji o dodatkową jednostkę produktu. Działalność firmy powoduje jednak powstawanie zanieczyszczeń i pojawienie się efektów zewnętrznych w postaci krzywej krańcowych kosztów zewnętrznych *MEC*. Ponieważ koszty te nie są naliczane u ich sprawcy, działalność firmy będzie prowadzona w warunkach, jakby nie istniały w ogóle. Firma dążąc do maksymalizacji własnego zysku wybrałaby poziom produkcji Q_x , przy której zysk krańcowy spada do zera, a wysokość kosztów zewnętrznych jest duża. Gdyby jednak

³ Zob. m. in.: Bigano i in. 2000; Andersson, Haden 1997; Bates i in. 1994; Nan 1995.



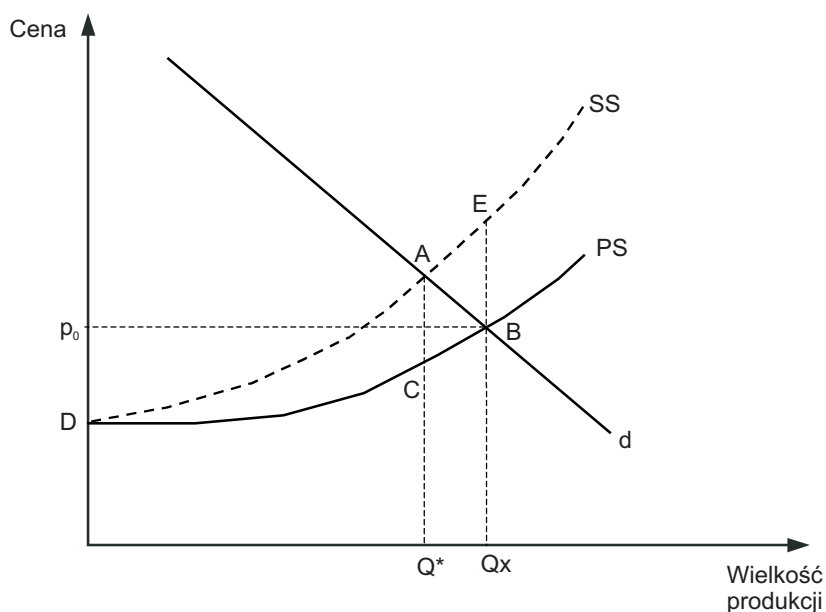
Rys. 2. Ekonomicznie optymalny poziom produkcji (zanieczyszczenia) dla pojedynczej firmy
 Źródło: Pearce, Turner 1990

Fig. 2. Optimal production (pollution) for individual company

uwzględnić w rachunku te dodatkowe koszty zewnętrzne, czyli uznać prywatne korzyści i społeczne straty za jednakowo istotne, wówczas optymalny poziom produkcji wyznaczony by był przez punkt przecięcia obu funkcji i wynosił Q^* , w którym zysk krańcowy zrównuje się z krańcowymi kosztami zewnętrznymi. Jednocześnie punkt ten wyznacza optymalny (niezerowy) poziom zanieczyszczenia środowiska powodowany przez firmę.

Podobna sytuacja jak dla pojedynczej firmy występuje w przypadku całej branży. Również tutaj najistotniejsze są prywatne korzyści uzyskiwane przez poszczególne przedsiębiorstwa. Graficzną ilustrację decyzji produkcyjnych podejmowanych na szczeblu gałęzi gospodarki przedstawiono na rysunku 3.

Krzywa podaży PS jest krzywą prywatnych kosztów krańcowych ponoszonych na szczeblu gałęzi. Krzywa popytu d informuje o gotowości zakupu przez konsumentów produktów danej gałęzi po odpowiedniej cenie. Przy krańcowych kosztach PS wielkość dostaw na rynek wynosi Q_x , której odpowiada cena rynkowa p_0 . W ten sposób nadwyżka producentów osiąga wartość najwyższą z możliwych. Jednakże produkcji towarzyszy wytwarzanie zanieczyszczeń wywołujących koszty zewnętrzne. Producenci nie uwzględniają ich w swoich kalkulacjach kosztów. Zatem rzeczywisty społeczny koszt krańcowy opisany jest krzywą SS . Gdyby konsumenci znali pełne społeczne koszty produkcji (odwzorowane za pomocą ceny), kupili by jedynie Q^* produktu. Zatem Q^* jest społecznie optymalną wielkością produkcji. Pole $AEBC$ jest kosztem zewnętrznym, który powinien zostać usunięty dla osiągnięcia optimum Pareto. Ponieważ usunięcie tego kosztu spowoduje jednocześnie stratę nadwyżki



Rys. 3. Optymalny poziom produkcji na szczeblu gałęzi gospodarki
 Źródło: Peszko 1993

Fig. 3. Optimal production for industry branch

producentów i konsumentów ABC , dlatego korzyść społeczna netto z usunięcia kosztu zewnętrznego $AEBC$ wynosi AEB .

Podjęcie decyzji publicznej (interwencji państwa) w celu eliminacji zniekształceń alokacyjnych powinno się opierać na kryterium maksymalizacji różnicy pomiędzy korzyściami i kosztami tej interwencji. W tym ujęciu korzyści odpowiadają unikniętym kosztom zewnętrznym. Alternatywnym, lecz z formalnego punktu widzenia, tożsamym kryterium decyzyjnym jest minimalizacja sumy kosztów zewnętrznych i kosztów ekonomicznych. Warunki te możemy to zapisać następująco⁴:

$$\max \sum_t (B_t - C_t)(1+r)^{-t}$$

lub alternatywnie:

$$\max \sum_t (D_t + C_t)(1+r)^{-t}$$

⁴Szerzej na ten temat m.in. w: Becker i in. 1993; Woś 1995.

gdzie: $B = D$ — korzyści (koszty zewnętrzne),
 C — koszty ekonomiczne,
 t — czas,
 r — społeczna stopa dyskontowa.

Ponieważ funkcja kosztów zewnętrznych jest w wielu przypadkach trudna do oszacowania, podane kryterium decyzyjne sprowadza się często do minimalizacji kosztów ekonomicznych. W tym szczególnym przypadku mamy do czynienia z analizą efektywności kosztowej (*cost-effectiveness analysis*), gdzie korzyści zewnętrzne są ściśle zdefiniowane (np. docelowy, społecznie akceptowalny, poziom emisji zanieczyszczeń), natomiast zmienne są koszty podejmowanych projektów. Postać tego kryterium jest następująca:

$$\min \sum_t C_t (1+r)^{-t}$$

gdzie: C — koszty ekonomiczne,
 t — czas,
 r — społeczna stopa dyskonta.

Osiągnięcie efektywności kosztowej nie gwarantuje, że dany projekt lub prowadzona polityka jest społecznie pożądana. Zalety tego rozwiązania polegają na możliwości porównania ze sobą różnych projektów i wyboru najodpowiedniejszego z nich, prowadzącego do osiągnięcia zakładanego celu. Wybiera się wówczas taki projekt, który ma najkorzystniejszą relację efektów do nakładów lub najniższą relację nakładów do efektów, przy czym „efekty” są w obu przypadkach takie same. Realizacja określonego projektu nie przesądza wprawdzie, czy wydatkowane nakłady były uzasadnione w sensie społecznym, lecz kiedy zapadła już decyzja akceptująca dany projekt, wówczas metoda ta jest użyteczna przy wyborze najlepszego z możliwych rozwiązań. Umożliwia także racjonalne wykorzystanie ograniczonych zasobów czynników produkcyjnych przy występujących ograniczeniach finansowych, technologicznych, lokalizacyjnych itp.

Do oszacowania wielkości kosztów i korzyści, określających warunek efektywności alokacyjnej, wykorzystane mogą być różne miary, przy czym decydujące znaczenie ma tutaj zastosowana metoda analityczna. W analizie równowagi ogólnej miarą kosztów jest wielkość produktu krajowego brutto (PKB). W analizie cząstkowej są to natomiast zmiany nadwyżki konsumentów i producentów, dokonujące się na pojedynczym rynku. Nadwyżka konsumentów mierzy różnicę między tym, ile konsument chce zapłacić a tym, ile wynosi cena produktu. Nadwyżka producentów mierzy różnicę między ceną, jaką producent otrzymuje a ceną, jaką byłby w stanie zaakceptować przy mniejszych rozmiarach produkcji. W ujęciu formalnym jest to całka następującej funkcji (Spulber 1985):

$$W(Q) = \int_0^Q P(z) dz - cQ$$

gdzie: W — poziom dobrobytu,
 P — odwrócona krzywa popytu,
 Q — zagregowana produkcja,
 c — koszty produkcji (krańcowe).

Ponieważ ze społecznego punktu widzenia koszty zewnętrzne są tak samo istotne jak pozostałe składniki powyższej funkcji, należy je zatem uwzględnić jako dodatkowy składnik funkcji dobrobytu. W rezultacie można sformułować funkcję dobrobytu dla pojedynczego rynku w następującej postaci:

$$W(Q) = \max \int_0^Q P(z) dz - cQ - D(E)$$

gdzie: E — poziom emisji zanieczyszczeń,
 D — funkcja kosztów zewnętrznych.

Jest to rozszerzona postać podanego wcześniej kryterium opartego na maksymalizacji różnicy pomiędzy korzyściami zewnętrznymi a kosztami ekonomicznymi. W tym ujęciu koszty zewnętrzne odpowiadają ujemnym korzyściom zewnętrznym, a koszty ekonomiczne określone są na podstawie zmian (zmniejszenia) poziomu dobrobytu społecznego, mierzonego nadwyżką konsumentów i producentów. Także i w tym przypadku powinien być zastosowany rachunek dyskonta, różnicujący składniki funkcji dobrobytu społecznego w czasie.

2. Narzędzia analityczne

Narzędzia analityczne tworzone do badań rozwoju systemów gospodarczych, w tym także sektorów energetycznych, wykorzystują dwa podejścia badawcze (techniki modelowania): tzw. *bottom-up* i *top-down*. W modelach *bottom-up* (inżynierskich) szczegółowo reprezentowana jest zarówno strona podaźowa, czyli pozyskanie nośników energetycznych i technologie konwersji, jak i strona popytowa, opisana poprzez wielkość zapotrzebowania na poszczególne rodzaje energii finalnej. Charakterystyczną cechą tych modeli jest brak powiązań systemu energetycznego z resztą gospodarki, a kryterium decyzyjne oparte jest zazwyczaj na minimalizacji kosztów bezpośrednich. Rozwój technik informatycznych i technologii komputerowych pozwala coraz częściej na modelowanie rozwoju sektorów energetycznych w oparciu o analizę równowagi cząstkowej, która wymaga zastosowania bardziej skom-

plikowanej techniki z zakresu programowania nieliniowego. Modele tego typu umożliwiają prognozowanie rozwoju systemu energetycznego nie tylko na bazie tradycyjnie liczonych kosztów bezpośrednich, lecz także części kosztów pośrednich. Stosowanie modeli opartych na analizie równowagi cząstkowej jest w większości przypadków uzasadnione potrzebą uzyskania bardziej szczegółowych wyników prognoz. Jest również zalecane, gdy spodziewane efekty ekonomiczne na pozostałych rynkach produktów i usług są znikome i przez to mogą być w analizie pomijane. Przykładami narzędzi wykorzystujących podejście typu *bottom-up* są modele MARKAL (Berger 1987), EFOM (Finon 1974), LEAP (Raskin 1986), AIM (Morita 1996).

Gdy celem badawczym jest określenie skutków ekonomicznych dokonujących się w obrębie całej gospodarki, wykorzystanie tego rodzaju modeli jest jednak poważnie ograniczone. Wówczas konieczne jest zastosowanie modeli typu *top-down*, czyli modeli równowagi ogólnej (*computable general equilibrium* — CGE lub *general equilibrium models* — GEM). Modele te oparte są na teorii równowagi ogólnej, sformułowanej w 1874 roku przez Walrasa. Obejmują one stronę podażową i popytową zależnościami rynkowymi. Oparte są na założeniach idealnego rynku i równowagi pomiędzy produkcją i popytem. W ujęciu tym konsumenci dążą do maksymalizacji funkcji użyteczności, a decyzje producentów wynikają z chęci maksymalizacji zysku. Dążenia te spotykają się na rynku, a ich pogodzeniem jest stan równowagi — zarówno podażowo-popytowej, jak i cenowej (Jankowski 1997). W modelach tego typu właściwą miarą kosztów ekonomicznych wprowadzenia określonych rozwiązań prawnych czy ekonomicznych w gospodarce jest monetarna zmiana dobrobytu społecznego spowodowana realokacją zasobów z produkcji dóbr i usług z jednego sektora do drugiego, a — co istotne — nie dokonująca się w ramach mechanizmu rynkowego (Hazilla, Kopp 1990). Uzasadnieniem takiej realokacji zasobów w systemie energetycznym jest np. konieczność uwzględnienia kosztów zewnętrznych w decyzjach producentów energii, np. poprzez system podatków emisyjnych. Ingerencja ta wymusza zmianę struktury wytwarzania i cen energii, przez co zmieniają się warunki funkcjonowania całego systemu energetycznego oraz dotychczasowy sposób wykorzystania czynników produkcji. Jeżeli rośnie zakres wykorzystania dostępnych czynników produkcji w systemie energetycznym, to przy założeniu stałości zasobów w gospodarce maleje ich dostępność w innych dziedzinach gospodarki. Uwzględnienie tych zmian wymaga wykorzystania skomplikowanego aparatu badawczego w postaci makroekonomicznego modelu gospodarki, posiadającego kilka zasadniczych zalet. Najważniejszą z nich jest zdolność pomiaru pełnych kosztów ekonomicznych, a nie tylko kosztów bezpośrednich. Wykorzystuje się do tego celu istniejący system cen rynkowych lub, gdy ich brak — skłonność konsumentów do zapłaty za dobra i usługi. Wymaga to znajomości krzywych popytu i podaży produktów i usług, których ceny mogą się zmieniać na skutek uwzględnienia nowych warunków cenowych. Zmiany położenia tych krzywych są następnie podstawą do określenia zmian w nadwyżkach producentów i konsumentów, będących miarą kosztów ekonomicznych. Inne podejście do szacowania kosztów ekonomicznych polega na charakterystyce preferencji gospodarstw domowych za pomocą funkcji

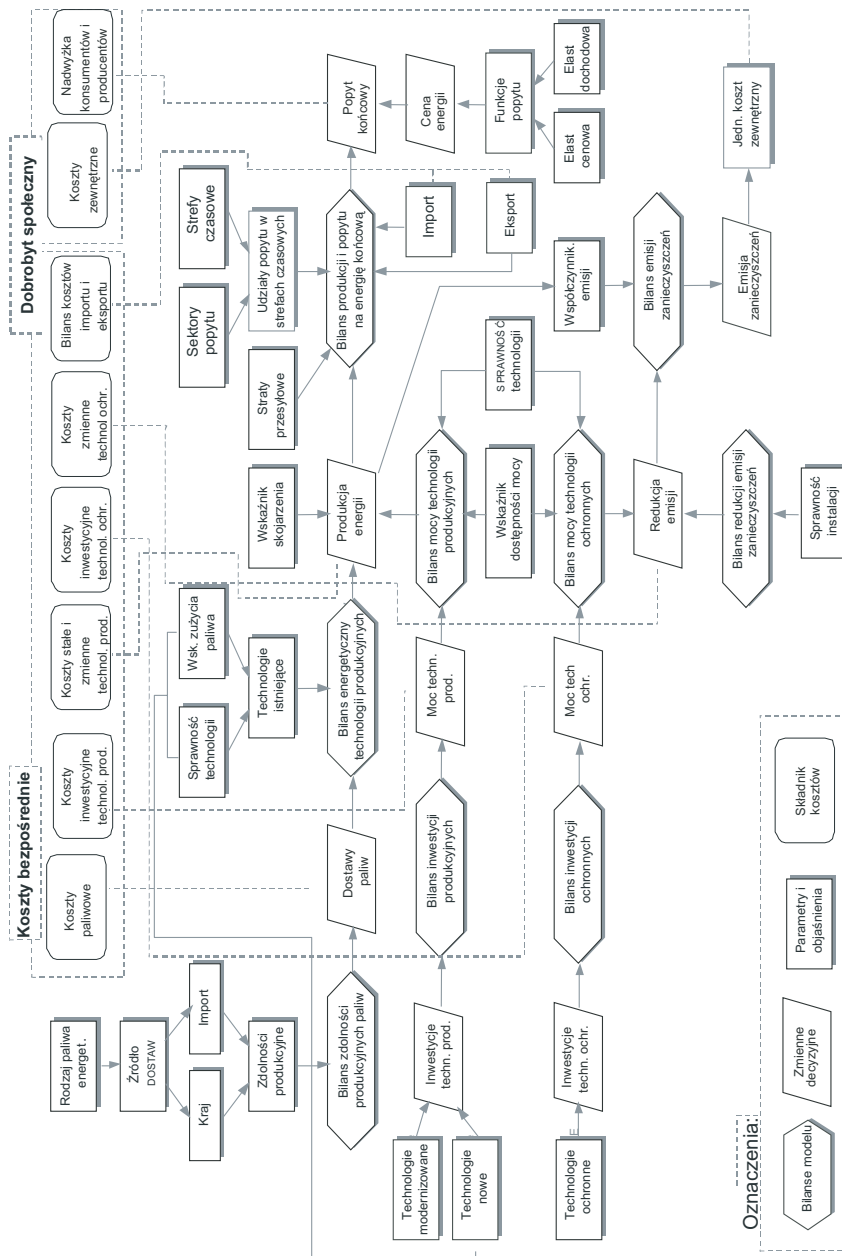
użyteczności lub poziomu wydatków i określeniu zmian użyteczności dokonujących się na skutek zmienionych zależności cenowych i dochodowych, spowodowanych np. realizacją programów środowiskowych (Hazilla, Kopp 1990). Przykładami modeli CGE wykorzystanymi w badaniach nad sektorami energetycznymi są: GLOBAL 2100 (Manne, Richels 1990), Carbon Rights Trading Model (Beaver 1993), GREEN (Burniaux i in. 1992), Dynamic General Equilibrium Model (Jorgenson, Wilcoxon 1990).

3. Model równowagi cząstkowej

W prezentowanym modelu⁵ najważniejsze relacje określające strukturę modelu obejmują stronę podażową i popytową krajowego systemu energetycznego. Strona podażowa określa pozyskanie paliw (z kraju lub importu) i ich przetwarzanie w energię użyteczną za pomocą różnorodnych technologii energetycznych. Możliwości pozyskania poszczególnych rodzajów paliw określone są poprzez odpowiednie zmienne decyzyjne, a ograniczeniem jest ich dostępność, zarówno w odniesieniu do produkcji krajowej, jak i importu. Wybory podejmowane po stronie przetwarzania energetycznego paliw dotyczą wielkości produkcji i importu energii elektrycznej i ciepła oraz poziomu inwestycji technologicznych i ochronnych w wyodrębnionych obiektach. Obiektami w modelu są elektrownie i elektrociepłownie zawodowe, elektrociepłownie przemysłowe oraz ciepłownie zawodowe, przemysłowe i komunalne. Nie są to oddzielne zakłady produkcyjne, lecz wydzielone ze względu na pełnioną funkcję jednorodne grupy przedsiębiorstw. Strona popytowa obejmuje wykorzystanie energii elektrycznej i ciepła przez głównych odbiorców, czyli sektory gospodarki: przemysł i budownictwo, transport, rolnictwo, handel i usługi, odbiorcy indywidualni oraz eksport. W zależności od typu sformułowanego problemu decyzyjnego popyt jest zdefiniowany w oparciu o prognozę zapotrzebowania na wyróżnione nośniki energii lub przeciwnie — zadaniem modelu jest wyznaczenie optymalnej wielkości zapotrzebowania na energię. W tym drugim ujęciu decyzje podejmowane po stronie podażowej i popytowej określają warunki przesądzające o wysokości cen energii elektrycznej i ciepła w poszczególnych sektorach gospodarki.

Na rysunku 4 przedstawiono strukturę najważniejszych zależności określających modelowany sektor energetyczny. Wyróżniono w nim związki zachodzące pomiędzy stroną podażową nośników energetycznych, technologiami produkcyjnymi i ochronnymi — wraz z charakterystyką ich parametrów technicznych i ekonomicznych — oraz popytem zgłaszanym ze strony odbiorców końcowych. Scharakteryzowane relacje tworzą uporządkowany, całościowy układ zależności techniczno-ekonomiczno-środowiskowych. Na schemacie przedstawiono najważniejsze bilanse i związki zachodzące pomiędzy zdefiniowanymi zmiennymi

⁵ Pełny opis modelu, w tym jego zapis matematyczny, przyjęte założenia obliczeniowe, charakterystyki wariantów obliczeniowych oraz zastosowane narzędzie modelowania można znaleźć w pracy Kudelko (2003).

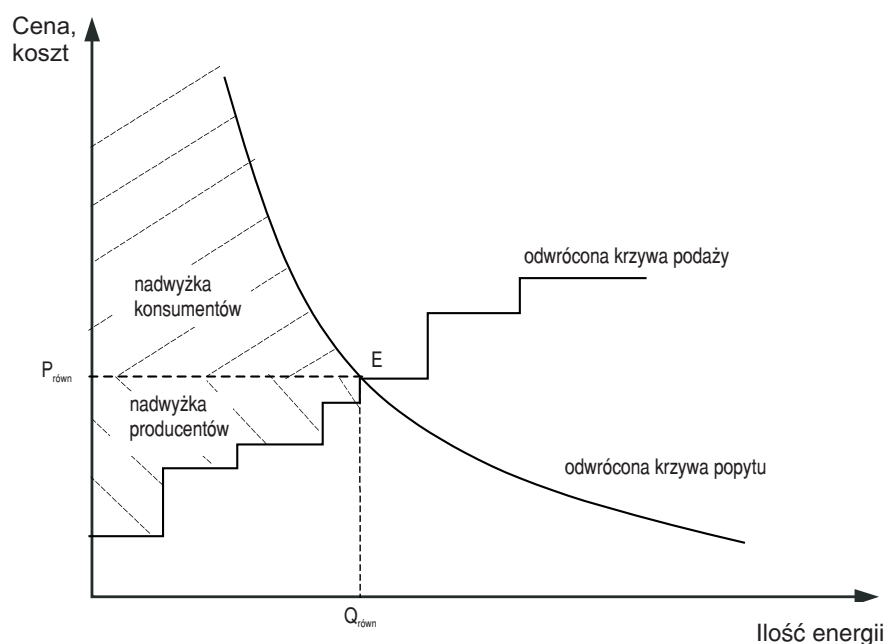


Rys. 4. Struktura modelu
 Źródło: opracowanie własne

Fig. 4. The structure of the model

modelu. Przedstawiono także główne kategorie (zmiennie) ekonomiczne — tj. koszty bezpośrednie i dobrobyt społeczny — określające przyjęte w badaniach kryteria optymalizacji.

Zastosowano dwa kryteria formułujące warunek dla efektywnej alokacji zasobów. Pierwsze kryterium zakłada osiągnięcie tzw. efektywności kosztowej, drugie kryterium oparte jest na maksymalizacji dobrobytu społecznego, definiowanego jako suma nadwyżki konsumentów i producentów, pomniejszona o koszty zewnętrzne powodowane emisją zanieczyszczeń gazowych. Na rysunku 5 zilustrowano warunki realizacji tego kryterium. Punkt E , który jest punktem równowagi na rynku energii, leży na przecięciu krzywej podaży i popytu. Popyt



Rys. 5. Maksymalizacja dobrobytu społecznego
Źródło: opracowanie własne

Fig. 5. Social welfare criterion

w tych warunkach ustala się na poziomie $Q_{równ}$, a cena rynkowa wynosi $P_{równ}$. Uwzględnienie kosztów zewnętrznych w decyzjach producentów spowoduje przemieszczenie krzywej podaży w górę, obniżkę popytu i wzrost ceny równowagi, przy czym dobrobyt społeczny wzrośnie.

Przyjęcie powyższych kryteriów decyzyjnych ma kluczowe znaczenie z punktu widzenia analizowanej w artykule problematyki alokacji zasobów. Porównanie wyników badań dla obu kryteriów pozwala bowiem na krytyczną ocenę programu rozwoju krajowego systemu energetycznego, opartego na warunku realizacji efektywności kosztowej. Rachunek ekonomiczny oparty na maksymalizacji dobrobytu społecznego umożliwi uwzględnienie po-

mijanych do tej pory w badaniach kosztów zewnętrznych, których wysokość w decydujący sposób wpływa strukturę wytwarzania energii elektrycznej i ciepła.

4. Analiza wyników

Wybór kryterium decyzyjnego określa nie tylko odmienne podejście badawcze do problematyki efektywności funkcjonowania krajowego systemu energetycznego, ale także przesądza o typie zastosowanego wariantu obliczeniowego. W tabeli 1 przedstawiono najważniejsze cechy charakteryzujące rozpatrywane warianty i scenariusze obliczeniowe.

TABELA 1. Charakterystyka wariantów i scenariuszy obliczeniowych

TABLE 1. Characteristics of the model scenarios

Cecha	Wariant 1	Wariant 2		
		scenariusz 1	scenariusz 2	scenariusz 3
Typ modelu*	liniowy	nieliniowy	nieliniowy	nieliniowy
Kryterium optymalizacji	minimalizacja kosztów funkcjonowania systemu	maksymalizacja nadwyżki konsumentów i producentów	maksymalizacja nadwyżki konsumentów i producentów — koszty zewnętrzne	maksymalizacja nadwyżki konsumentów i producentów — koszty zewnętrzne
Popyt	określony	wyliczany	wyliczany	wyliczany
Emisja	limitowana	wyliczana	wyliczana	wyliczana
Koszty zewnętrzne	brak	brak	uwzględnione częściowo (tylko SO ₂ , NO _x , i pyły)	uwzględnione w pełnym zakresie (SO ₂ , NO _x , CO ₂ i pyły)

* Należy przez to rozumieć rodzaj zadania matematycznego — model liniowy lub nieliniowy.

Źródło: opracowanie własne

W wariantcie pierwszym, gdzie funkcją celu jest minimalizacja kosztów funkcjonowania systemu energetycznego, popyt na energię elektryczną i ciepło jest zdeterminowany. Rozwiązaniem modelu jest optymalna struktura produkcji energii w poszczególnych technologiach produkcyjnych. Tak zdefiniowane kryterium decyzyjne przesądza o kierunku rozwoju krajowego systemu energetycznego w wąskim znaczeniu kategorii kosztów bezpośrednich, obejmujących koszty produkcji technologii energetycznych i ochronnych w długim horyzoncie czasowym. Funkcja celu nie zawiera składnika kosztów zewnętrznych, choć ich wartość jest wyliczana. Emisja zanieczyszczeń gazowych jest limitowana zgodnie z przy-

jętymi przepisami emisyjnymi, opartymi na polskich — zgodnych z unijnymi — normach emisyjnych.

W drugim wariancie obliczeniowym popyt na energię elektryczną i ciepło nie jest zdeterminowany. Wariant ten ma trzy scenariusze, różniące się postacią funkcji celu. W pierwszym scenariuszu funkcją celu jest maksymalizacja dobrobytu prywatnego (czyli sumy nadwyżki konsumentów i producentów), bez uwzględnienia kosztów zewnętrznych. Jest to więc niejako wariant weryfikujący wyniki otrzymane w wariancie pierwszym. Możliwe i celowe jest tutaj porównanie struktury wytwarzania i całkowitego poziomu popytu na energię elektryczną i ciepło oraz innych zmiennych wynikowych, jak np. poziomu emisji zanieczyszczeń. W scenariuszu drugim i trzecim koszty zewnętrzne są uwzględnione, a kryterium różnicującym te scenariusze jest ich zakres. W scenariuszu drugim uwzględniono jedynie częściowy zakres kosztów zewnętrznych, powodowanych emisją zanieczyszczeń gazowych w systemie energetycznym. Pominięto w nim koszty zewnętrzne związane z emisją CO₂, jako że ten element kosztów budzi najwięcej kontrowersji ze względu na niepewność i odroczone w czasie negatywne skutki emisji gazów cieplarnianych. Scenariusz trzeci zawiera pełny zakres kosztów zewnętrznych.

Wyniki obliczeń dla wymienionych scenariuszy umożliwiają weryfikację dotychczasowych prognoz popytu na energię, wyznaczają optymalny zakres produkcji, a tym samym emisji zanieczyszczeń, pozwalają na określenie bezpośrednich i pośrednich kosztów produkcji energii. Określają także optymalną strukturę produkcji energii, wskazującą na możliwość efektywnego wprowadzenia dotychczas niewykorzystywanych alternatywnych źródeł produkcji energii (np. energii odnawialnej czy technologii gazowych).

Szczegółowa analiza wyników wykracza poza ramy niniejszego artykułu⁶. W tym miejscu warto jedynie wspomnieć, iż w wariancie pierwszym — stanowiącym punkt odniesienia do obecnie prowadzonych prac w zakresie planowania rozwoju krajowego sektora energetycznego — w strukturze produkcji dominują paliwa stałe, przewidywany jest jednak wzrost zużycia gazu i źródeł odnawialnych. Procesy te mogą być także przyspieszone na skutek wprowadzenia bardziej restrykcyjnych wymagań emisyjnych i kurczących się krajowych zasobów węgla kamiennego. Przewidywany jest spadek produkcji w energetyce przemysłowej i wzrost znaczenia lokalnych wytwórców energii. Natomiast w wariancie 2, w scenariuszu opartym na kryterium maksymalizacji dobrobytu społecznego, struktura produkcji energii zdecydowanie się zmienia na rzecz większego wykorzystania technologii gazowych i energii odnawialnej, których rola w bilansie energetycznym rośnie prawie dwukrotnie w porównaniu z wariantem 1. Uwzględnienie kosztów zewnętrznych w decyzjach produkcyjnych powoduje, że prognozowany jest także poważny wzrost cen energii elektrycznej i ciepła, co poważnie wpływa na ograniczenie popytu.

⁶ Szczegółowe wyniki badań modelowych można znaleźć w pracy Kudełko (2003). Dla każdego wariantu obliczeniowego scharakteryzowano przyszłą strukturę produkcji energii elektrycznej i ciepła w Polsce w zależności od rodzaju wykorzystywanego paliwa energetycznego i typu technologii produkcyjnych, poziom popytu na energię, wielkość emisji zanieczyszczeń gazowych, jednostkowe koszty produkcji oraz poziom inwestycji technologicznych i ochronnych w energetyce.

W tabeli 2 przedstawiono najważniejsze wyniki pracy, opisujące badane kategorie ekonomiczne, czyli nadwyżkę konsumentów i producentów, tj. dobrobyt prywatny, poziom bezpośrednich kosztów produkcji oraz kosztów zewnętrznych powodowanych przez energetykę. Dobrobyt prywatny, skorygowany o poziom kosztów zewnętrznych, określa dobrobyt społeczny. Prezentowane wyniki są wielkościami zdyskontowanymi z lat 2002—2020 na początkowy rok analizy.

TABELA 2. Wyniki modelu równowagi cząstkowej [mln zł]

TABLE 2. The results of the model

Wyszczególnienie	Warianty obliczeniowe			
	wariant 1	wariant 2		
		scenariusz 1	scenariusz 2	scenariusz 3
Zdyskontowana nadwyżka konsumentów	—	547 337	477 976	442 142
Zdyskontowana nadwyżka producentów	—	108 658	120 688	133 676
Zdyskontowane koszty bezpośrednie	358 520	311 078	318 224	325 171
Zdyskontowane koszty zewnętrzne, w tym:	265 113	285 481	138 803	114 282
SO ₂	97 031	114 985	44 337	36 648
NO _x	33 039	33 674	14 786	12 158
CO ₂	62 793	64 141	53 831	48 186
Pył	72 250	72 682	25 849	17 290
Dobrobyt prywatny	—	655 995	598 664	575 818
Dobrobyt społeczny	—	375 396	464 743	466 418

Źródło: obliczenia własne

W analizie porównawczej punktem odniesienia jest scenariusz 1, którego funkcja celu nie zawiera składnika kosztów zewnętrznych. Nie uwzględnienie, z różnych względów, kosztów zewnętrznych w decyzjach produkcyjnych przedsiębiorstw oznacza, że przedsiębiorstwa opierają swoje decyzje produkcyjne jedynie na kosztach prywatnych. Wysoki poziom produkcji nie przekłada się, jak by się mogło wydawać, na osiągnięcie najlepszej z możliwych sytuacji ekonomicznej, gdyż nadwyżka producentów (prywatne zyski producentów energii) jest tutaj najniższa wśród wszystkich rozpatrywanych scenariuszy i wynosi niecałe 109 mld zł. Natomiast w tym scenariuszu sytuacja konsumentów jest najlepsza z możliwych, a szacowana nadwyżka osiąga wartość około 547 mld zł. W rezultacie wartość dobrobytu prywatnego jest dla tego przypadku największa i wynosi niecałe 656 mld zł.

Strategia rozwoju energetyki, oparta na maksymalizacji dobrobytu prywatnego, jest jednak ze społecznego punktu widzenia niepożądana, gdyż wysoki poziom produkcji oraz jej niekorzystna struktura powodują największy wśród rozpatrywanych scenariuszy poziom kosztów zewnętrznych, szacowanych na około 285 mld zł. W efekcie poziom dobrobytu

społecznego, właściwej miary określającej rozwój sektora energetycznego, wynosi około 375 mld zł i jest najmniejszy wśród rozpatrywanych scenariuszy.

Internalizacja kosztów zewnętrznych znacząco zwiększa poziom osiąganego dobrobytu społecznego. Co więcej, im jest pełniejsza, tym wzrost dobrobytu społecznego jest większy. Ilustrują to wyniki obliczeń dla scenariuszy 2 i 3, gdzie radykalnie zmniejsza się wysokość ponoszonych przez społeczeństwo kosztów zewnętrznych. Spadek ten wynosi odpowiednio 51% i 60%, przy czym w największym stopniu przyczynia się do tego redukcja emisji SO₂, pyłów i NO_x. Zmniejszenie produkcji energii elektrycznej i ciepła, będące jedną z przyczyn tak znaczącej obniżki kosztów zewnętrznych, powoduje jednak niekorzystny efekt w postaci redukcji dobrobytu prywatnego. W porównaniu ze scenariuszem 1 spada on w scenariuszu 2 o około 9%, a w scenariuszu 3 o 12%. Obserwowana jest zależność, że im mniejsza produkcja (scenariusz 3), tym większe zyski przedsiębiorstw i gorsze położenie konsumentów. W całościowym rachunku w obu przypadkach dobrobyt społeczny zwiększa się o około 19% w porównaniu ze scenariuszem 1. Z ekonomicznego punktu widzenia pełna internalizacja kosztów zewnętrznych w cenach energii jest zatem całkowicie uzasadniona.

Podsumowanie

Postulowana na gruncie teorii ekonomii interwencja państwa w niektórych obszarach gospodarowania jest uważana jako skuteczny czynnik poprawy nieefektywności rynkowych. Stworzony i rozwijany system instrumentów prawnych i ekonomicznych tworzy podstawę dla realizacji postulatu oparcia ceny wytwarzanych produktów na pełnym koszcie społecznym ich wytworzenia. Zadanie to napotyka jednak na poważne trudności z uwagi na skutki tej interwencji. Po pierwsze, interwencja powinna uwzględniać specyfikę rynku. Dla różnych typów rynku, zazwyczaj w warunkach braku pełnej informacji o jego funkcjonowaniu, zakres postulowanej interwencji jest inny, a typ stosowanego instrumentu może być odmienny. Po drugie, założenie że decyzje ekonomiczne podejmowane są wyłącznie na bazie jasno sformułowanych preferencji jedynie w nielicznych przypadkach jest prawdziwe. Powoduje to dużą niepewność co do konieczności i zakresu interwencji państwowej, gdyż nie daje ona gwarancji osiągnięcia najlepszego z możliwych rozwiązań. W rezultacie niezbędny jest kompromis polegający na przyjęciu mniej ambitnych celów niż maksymalizacja dobrobytu społecznego. Oznacza to w praktyce wprowadzenie rozwiązania „drugiego po najlepszym”, które pozwoliłoby przynajmniej na osiągnięcie kryterium efektywności kosztowej. Rozwiązanie to zazwyczaj jest prawnie i politycznie akceptowalne oraz nie powoduje niekorzystnych skutków dystrybucyjnych.

Poważną przeszkodą w prowadzeniu polityki cenowej opartej na pełnym koszcie społecznym są także trudności w prawidłowej wycenie kosztów i korzyści takiej interwencji. Rachunek ten jest wciąż przedmiotem ostrych sporów dotyczących właściwej kategoryzacji i waloryzacji tych pojęć. Ponadto, w analizach często pomijane są niektóre składniki kosztów

ekonomicznych, jak np. koszty pośrednie, a cały wysiłek badawczy skupia się na szacunku kosztów bezpośrednich. Częściowym usprawiedliwieniem tego jest fakt, iż przeprowadzenie pełnego rachunku kosztów ekonomicznych wymaga zastosowania odpowiedniego aparatu matematycznego, nie zawsze dostatecznie rozwiniętego lub dostępnego. W rezultacie publikowane wyniki badań często różnią się zakresem proponowanej interwencji.

Przedstawione w niniejszym artykule wyniki wyboru dwóch odmiennych wariantów rozwoju krajowego sektora energetycznego uwzględniają jedynie mikroekonomiczne, czyli odczuwane na pojedynczym rynku energii, skutki prowadzenia określonej polityki środowiskowej. W modelu nie są szacowane skutki pośrednie, pojawiające się na pozostałych rynkach produktów i usług. Rachunek tego typu wymagałby iteracyjnej współpracy prezentowanego modelu z modelem równowagi ogólnej. Umożliwiłoby to określenie skutków ekonomicznych dla całej gospodarki, a na bazie zagregowanych wskaźników makroekonomicznych (np. poziomu PKB) możliwy byłby całościowy rachunek kosztów ekonomicznych, generowanych na skutek zmian zachodzących w sektorze energetycznym.

Należy podkreślić, że przedstawione wyniki badań udowadniają, że zmiana obecnego kierunku rozwoju krajowego systemu energetycznego może być ze społecznego punktu widzenia korzystna. Szansą na to wydaje się być wymóg dostosowania się przez nasz kraj do nowych dyrektyw środowiskowych Unii Europejskiej. Przepisy te postulują m.in. wzrost znaczenia źródeł odnawialnych w bilansie energetycznym kraju oraz wprowadzają bardzo surowe limity emisyjne dla producentów energii. Należy podkreślić, że regulacje te, wzbudzające tak wiele kontrowersji wśród zobligowanych do ich wypełnienia przedsiębiorstw, mają swoje uzasadnienie w rachunku ekonomicznym. Ich spełnienie wymaga z reguły wydatkowania poważnych środków finansowych na inwestycje środowiskowe, co może pogorszyć konkurencyjność krajowego sektora energetycznego. Należy jednak przyjąć, że w dłuższej perspektywie społeczeństwo zyska na tych rozwiązaniach.

Literatura

- ACCOCELLA N., 2002 — *Zasady polityki gospodarczej*. PWN, Warszawa.
- BAŁANDYNOWICZ H. W. i in., 1987 — *Szacunek skumulowanej wartości ekonomicznej strat środowiskowych związanych z pozyskaniem surowców mineralnych*. KON-POL, Spółdzielnia Pracy Doradców Gospodarczych, Warszawa.
- BATES R., COFAŁA J., TOMAN M., 1994 — *Alternative Policies for the Control of Air Pollution in Poland*. World Bank Environment Paper nr 7, Washington.
- BEAVER R., 1993 — *Structural Comparison of the Models in EMF 12*. Energy Policy, vol. 21, no. 3, Elsevier Science, Amsterdam.
- BECKER N., BARON M., SHECHTER M., 1993 — *Economic Instruments for Emission Abatement Under Appreciable Technological Indivisibilities*. Environmental and Resource Economics, vol. 3, no. 3, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht.
- BERGER C., HAURIE A., 1987 — *Modelling long range energy technology choices: the MARKAL approach*. Technical Paper, GERAD, Montreal.

- BURNIAUX J. M., MARTIN J. P., NICOLETTI G., 1992 — GREEN — a multi sector, multi region dynamic general equilibrium model for quantifying the costs of curbing CO₂. Working Paper no. 104, OECD Department of Economics and Statistics, Paris.
- BURTRAW D., 1998 — Cost Savings, Market Performance, and Economic Benefits of the U.S. Acid Rain Program, Discussion Paper 98-28-REV, Resources for the Future, Washington.
- COASE R.H., 1960 — The Problem of Social Cost. *The Journal of Law and Economics*, vol. III, London.
- FAMIELEC J., 1999 — Straty i korzyści ekologiczne w gospodarce narodowej. PWN, Warszawa-Kraków.
- FINON D., 1974 — Optimization model for the French energy sector. *Energy Policy*, vol. 2, Elsevier Science, Oxford.
- FREEMAN A.M., 1996 — Estimating the environmental costs of electricity: An overview and review of the issues. *Resource & Energy Economics*, vol. 18, no. 4, Elsevier Science, Amsterdam.
- HAZILLA M., KOPP R.J., 1990 — Social Costs of Environmental Quality Regulations: A General Equilibrium Analysis. *Journal of Political Economy*, vol. 98, no. 4, The University of Chicago Press, Chicago.
- JANKOWSKI B., 1997 — Modelowanie rozwoju krajowego systemu energetycznego z uwzględnieniem wymagań stabilizacji redukcji emisji dwutlenku węgla w Polsce. IPPT PAN, Warszawa.
- JORGENSEN D.W., WILCOXEN P.J., 1990 — Global change, energy prices and US economic growth. Paper prepared for the Energy Price Hearing, US Department of Energy, Washington.
- KOPP R., KRUPNIK A., TOMAN M., 1997 — Cost-Benefit Analysis and Regulatory Reform: An Assessment of the Science and the Art., Discussion Paper 97-19, Resources for the Future, Washington.
- KUDELKO M., 2003 — Efektywna alokacja zasobów w krajowym systemie energetycznym. *Studia, Rozprawy, Monografie nr 121*, Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków.
- LAIDLER D., ESTRIN S., 1991 — Wstęp do mikroekonomii. Gebethner i Ska, Warszawa.
- MANNE A.S., RICHELIS R.G., 1990 — Global CO₂ emissions reductions — the impact of rising energy costs. *The Energy Journal*, vol. 12, IAEE Publications, Ohio.
- MORITA T., KAINUMA M., HARASAWA H., 1996 — A guide to the AIM/ENDUSE Model — technology selection program with linear programming. AIM Interim Paper, National Institute For Environmental Studies, Tsukuba, Japan.
- PEARCE D., TURNER K., 1990 — *Economics of Natural Resources and the Environment*. Harvester Wheatsheaw, London.
- PEARCE D., WARFORD J., 1993 — *World Without End*, Oxford University Press, New York.
- PESZKO G., 1993 — Kontrowersje wokół kosztów zewnętrznych powodowanych przez zanieczyszczenie środowiska, Europejskie Stowarzyszenie Ekonomistów Środowiska i Zasobów Naturalnych — Oddział Polski, Biblioteka Ekonomia i Środowisko, nr 14, Kraków.
- PIGOU A., 1920 — *The Economics of Welfare*. Macmillan, London.
- RASKIN P., 1986 — LEAP: a description of the long-range energy alternatives planning system. The Beijer Institute, Sweden.
- ROWE R., LANG C., CHESTNUT L., 1996 — Critical Factors in Computing Externalities for Electricity Resources. *Resource and Energy Economics*, no. 18, Washington.
- SAMUELSON P., NORDHAUS W., 2000 — *Ekonomia*. PWN, Warszawa.
- SAMUELSON W., MARKS S., 1998 — *Ekonomia menedżerska*. PWE, Warszawa.
- SIEBERT H., 1995 — *Economics of the Environment*. Springer, Germany.
- SFULBER D., 1985 — Effluent Regulation and Long-Run Optimality. *Journal of Environmental Economics and Management*, no. 12, Elsevier Science, Amsterdam.

- Straty gospodarcze spowodowane zanieczyszczeniem środowiska naturalnego w Polsce w warunkach transformacji gospodarczej — część pierwsza. Praca pod red. Prof. dr hab. J. Famielec, Akademia Ekonomiczna w Krakowie, Kraków 2001.
- SYMONOWICZ A., 1988 — Straty z tytułu degradacji środowiska. Ich charakterystyka i próby szacunku. W: Ekonomiczne i socjologiczne problemy ochrony środowiska. Praca zbiorowa pod redakcją A. Ginsberta-Geberta, Ossolineum, Wrocław.
- WOJTYNA A., 1990 — Nowoczesne państwo kapitalistyczne a gospodarka. Teoria i praktyka, PWN, Warszawa.
- WOŚ A., 1995 — Ekonomika odnawialnych zasobów naturalnych. PWN, Warszawa.

Mariusz KUDEŁKO

Effective allocation of resources in presence of external costs — the partial equilibrium model of the Polish energy sector

Abstract

The economic theory suggests that external costs can serious influence the level of social welfare. A typical example where such negative effects exist is energy sector, which produces large amounts of emissions. As recent works demonstrate the welfare economics is a fundamental framework that enable to invent and implement efficient tools and solutions to maintain the sustainable development. Inclusion of external costs in the decision-making process seems to be a crucial point to achieve a social optimum.

On the basis of the partial equilibrium model a development of domestic energy sector was analyzed. The results considered in the light of the two main criteria that formulate the condition of effective allocation of resources. The first criterion assumes the cost-effective allocation, which means a cost minimization principle to achieve a specific environmental objective – the desired emissions level. The second criterion is based on maximization of social welfare that is defined as a sum of producers' and consumers' surplus. It was showed that the type of criterion used in the calculations has a significant influence on the results. It was proved that traditional approach, based on minimization of production costs, does not give socially optimal solution. Only a full internalization of external costs in the price decisions of energy producers can bring a social welfare improvement.

KEY WORDS: model, external costs, effective