



Joanna HERCZAKOWSKA\*

## **Analiza systemowa rynku surowców energetycznych w Polsce z wykorzystaniem tablic przepływów międzygałęziowych**

Streszczenie: Jednym z podstawowych warunków rozwoju gospodarczego jest zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego, którego newralgicznym aspektem jest dostęp do surowców energetycznych. W Polsce dominującym w zaspokajaniu potrzeb energetycznych surowcem od wielu lat jest węgiel, jednak problemem jest silne uzależnienie od dostaw ropy naftowej i gazu ziemnego z jednego źródła. W tej sytuacji za kluczowy uznano wymiar surowcowo-produktowy bezpieczeństwa energetycznego, uwzględniający zarówno różnorodność, jak i ilość i ceny surowców energetycznych niezbędnych do właściwego funkcjonowania i rozwoju gospodarki. Do badania przedmiotowego problemu w ujęciu systemowym wykorzystano tablice przepływów międzygałęziowych publikowane przez Główny Urząd Statystyczny. Przeprowadzona analiza przepływów międzygałęziowych w gospodarce polskiej, zwana również analizą *input-output*, pozwoliła na określenie powiązań rynku surowców energetycznych z różnymi sektorami gospodarki oraz dokonanie symulacji struktury energetycznej kraju za pomocą zbudowanego modelu cen, uwzględniającego zarówno wpływ cen importowanych surowców energetycznych na ceny krajowe, jak również możliwość ich substytucji.

Słowa kluczowe: analiza input-output, analiza przepływów międzygałęziowych, analiza systemowa, bezpieczeństwo energetyczne, modelowanie matematyczne, system paliwowo-energetyczny, polityka energetyczna

## **A systemic analysis of Polish energy market based on input-output analysis**

Abstract: One of the basic conditions for the economic development is energy security, which is determined by the access to energy resources. In Poland, for many years coal has a crucial and strategic position in meeting energy needs, but one of general issues is a strong dependence on natural gas and crude oil imports from one source. In this situation, it was considered the key dimension of energy security, reflecting both the diversity, quantity and prices of energy resources, necessary for the proper functioning and development of the economy. To research the issue in a systemic way input-output tables, published by Central Statistical Office of Poland, were used. The input-output analysis of the Polish economy allowed to determine the relations between energy

\* Dr inż., Wydział Górnictwa i Geologii, Politechnika Śląska, Gliwice; e-mail: j.herczakowska@polsl.pl

market and different sectors of the economy and then make the simulation of the energy structure with developed price model, taking into account the impact of imported fuels price changes on domestic prices as well as the possibility of its substitution.

Keywords: input-output analysis, system analysis, energy security, mathematical modelling, energy sector, energy policy

## Wprowadzenie

System paliwowo-energetyczny jest niezwykle istotnym elementem ogólnie pojętej gospodarki narodowej, a zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego jednym z priorytetów każdego państwa. Mnogość powiązań i relacji z innymi gałęziami gospodarki sprawia, że należy go rozpatrywać w sposób kompleksowy, a modyfikacji dokonywać ze szczególną roztropnością, biorąc pod uwagę wszelkie możliwe implikacje takiej decyzji, a więc m.in. wpływ na istniejącą infrastrukturę energetyczną – sieci wytwórcze i transportowe surowców i energii, systemy zatrudnienia, normy środowiskowe czy bilans handlu zagranicznego.

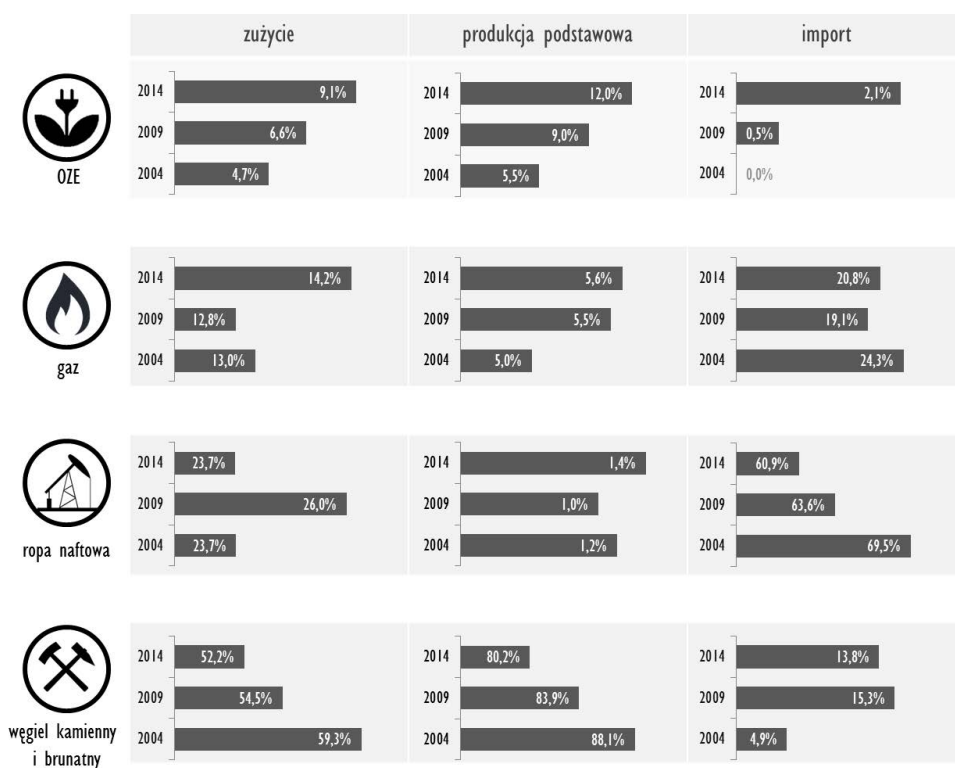
Główne kierunki rozwoju polskiego systemu paliwowo-energetycznego zostały określone m.in. w Polityce energetycznej Polski do 2030 roku (Polityka... 2009), niemniej jednak perspektywy jego rozwoju są również przedmiotem licznych publikacji naukowych (m.in. Kudelko 2015; Scenariusze... 2007; Węgiel dla polskiej energetyki... 2013). W zależności od zakresu i celu prowadzonych badań, w prognozowaniu rozwoju systemów paliwowo-energetycznych wyróżnia się trzy grupy modeli (Jankowski 1997; Szczerbowski 2014): modele systemów energetycznych, skupione głównie na rynku energii, modele energetyczno-ekonomiczne, badające powiązania rynku energii z gospodarką oraz zintegrowane modele energetyczno-ekonomiczno-środowiskowe, uwzględniające aspekty związane z ekologią.

Przedstawione w niniejszej pracy modele, należące do grupy modeli energetyczno-ekonomicznych i bazujące na metodologii *input-output* posłużyły do analizy zależności pomiędzy rynkiem paliwowo-energetycznym i gospodarką. W odróżnieniu od dotychczasowych badań (m.in. Boratyński i in. 2010; Przybyliński 2012; Rusak 2008), przeprowadzone symulacje rynku paliwowo-energetycznego bazują na najnowszych dostępnych danych (Bilans przepływów międzygałęziowych... 2014) i pozwalają na określenie wrażliwości rynku na zmiany cen nośników energetycznych.

## 2. Struktura energetyczna Polski w latach 2004–2014

Wieloletnia dominacja węgla na polskim rynku surowców energetycznych pod względem dostępności, zasobów i ceny spowodowała, że polski system energetyczny został oparty na węglu. To węglowi zawdzięczamy status jednego z pięciu najmniej uzależnionych od importu energii krajów w Unii Europejskiej. Niemniej jednak sam węgiel nie jest w stanie zaspokoić potrzeb energetycznych Polski, a brak istotnych zasobów złóż ropy naftowej i gazu ziemnego powoduje konieczność importu tych surowców.

Analiza struktury energetycznej Polski na przestrzeni lat 2004–2014 (rys. 1) wskazuje na spadek udziału węgla kamiennego i brunatnego, zarówno w zużyciu, jak i wydobyciu, na rzecz zwiększającej się pozycji odnawialnych źródeł energii (OZE). Udział gazu ziemnego



Rys. 1. Struktura wytwarzania, zużycia i importu energii w Polsce w latach 2004–2014

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Eurostat

Fig. 1. Primary energy production, gross inland energy consumption and energy imports in Poland in years 2004–2014

oraz ropy naftowej w zużyciu energii w Polsce kształtuje się na relatywnie stałym poziomie. Warto zauważyć znaczące zmiany w imporcie – wzrost udziału importu węgla kamiennego i brunatnego oraz zmniejszający się udział importu ropy naftowej.

Z pewnością struktura zużycia energii w Polsce jest inna niż wysokorozwiniętych państw członkowskich Unii Europejskiej, głównie ze względu na dominujący udział węgla oraz brak energetyki jądrowej, jednak na przestrzeni ostatniej dekady widać zmiany, będące efektem działań, mających na celu zrównoważenie bilansu energetycznego. Nie ulega wątpliwości, że węgiel w dalszym ciągu będzie zajmował kluczową pozycję w polskim systemie energetycznym. Nie ulega wątpliwości również, że istnieje konieczność racjonalnego gospodarowania złożami przy jednoczesnym odpowiednim wsparciu technologii zwiększających efektywność górnictwa wobec coraz bardziej rygorystycznych wymagań środowiskowych. To właśnie „zapewnienie stabilnych dostaw paliw i energii na poziomie gwarantującym zaspokojenie potrzeb krajowych i po akceptowanych przez gospodarkę i społeczeństwo cenach, przy założeniu optymalnego wykorzystania krajowych zasobów surowców energetycznych oraz poprzez dywersyfikację źródeł i kierunków dostaw ropy naftowej, paliw ciekłych i gazowych” (Polityka... 2009) jest jednym z głównych celów Polityki energetycznej

Polski do 2030 roku. Zatem w świetle konieczności importu gazu i ropy naftowej, istotne znaczenie ma analiza cen surowców energetycznych oraz bieżące monitorowanie sytuacji na rynkach paliw i energii.

## 2. Analiza rynku surowców energetycznych z wykorzystaniem tablic przepływów międzygałęziowych

Analiza związków i symulacja wrażliwości na zmiany popytowo-podażowe jest możliwa dzięki tablicom przepływów międzygałęziowych, które opisują powiązania surowcowo-materiałowe w gospodarce i są publikowane przez Główny Urząd Statystyczny. Tablice nakładów i wyników, nazywane tablicami *input-output* pokazują wartość lub wielkość transakcji, pogrupowanych zgodnie z rodzajem produktów lub gałęzi których dotyczą, dokonanych w danym układzie gospodarczym w danym czasie (Przybyliński 2012). Pierwsze takie zestawienie, zwane Tablicą ekonomiczną, zostało opracowane przez Francois Quesneya, natomiast obecnie używana jest forma autorstwa Wassily'ego Leontiefa, który w latach trzydziestych ubiegłego wieku skonstruował tablicę przepływów międzygałęziowych dla gospodarki Stanów Zjednoczonych za rok 1919 i 1929 (Gruszczyński i in. red. 2009).

Główny Urząd Statystyczny publikuje tablice przepływów międzygałęziowych dla Polski stosunkowo od niedawna, cyklicznie co pięć lat – najnowsze dane, dotyczące 2010 roku zostały opublikowane w drugiej połowie 2014 roku, a więc z pewnym opóźnieniem, niemniej jednak tak spójne zestawienie danych może posłużyć budowie różnorodnych modeli symulacyjnych. Tablice mogą przedstawiać gospodarkę w układzie zamkniętym i otwartym – dzięki wyodrębnieniu danych dotyczących eksportu i importu możliwe jest rozszerzenie zakresu analizy o ocenę handlu zagranicznego poprzez uwzględnienie tych zasobów.

Podstawę metodologiczną analizy wpływu zmian na rynku surowców energetycznych na pozostałe gałęzie gospodarki stanowiła macierz przepływów międzygałęziowych oraz model Leontiefa. W tym celu wykorzystano dane z bilansu przepływów międzygałęziowych dla roku 2005 i 2010, zaprezentowane w tablicach z wydzieleniem importu oraz tablicach importu, dających pełny obraz przepływów charakteryzujących polską gospodarkę. W tablicach publikowanych przez Główny Urząd Statystyczny polska gospodarka została podzielona na 55 gałęzi (Bilans...2009) i 77 gałęzi (Bilans...2014), ale biorąc pod uwagę tematykę badanego zagadnienia dokonano agregacji danych do dziesięciu gałęzi, tj.:

- Produkty rolnictwa i łowiectwa, gospodarki leśnej, rybactwa i łowiectwa,
- Węgiel kamienny i brunatny, torf,
- Ropa naftowa i gaz ziemny, rudy metali, surowce górnictwa pozostałe,
- Przemysł lekki,
- Przemysł chemiczny,
- Przemysł metalurgiczny,
- Przemysł elektromaszynowy i wysokiej technologii,
- Energia elektryczna, gaz, para wodna i gorąca woda,
- Budownictwo oraz pobór, oczyszczanie i rozprowadzanie wody,
- Działalność usługowa.

Ostatecznie otrzymano następujące macierze:

- Bilans przepływów międzygałęziowych dla produkcji krajowej,
- Bilans przepływów międzygałęziowych dla importu,
- Bilans przepływów międzygałęziowych bez wydzielenia importu.

Duże rozmiary macierzy nie pozwalają na prezentację ich w treści pracy, dlatego ograniczono się do wskazania najważniejszych etapów budowy modelu i omówienia otrzymanych wyników.

W celu budowy modelu wyznaczono macierze współczynników kosztów ( $\mathbf{A}$  i  $\mathbf{A}^K$ ) oraz macierz współczynników bezpośredniej importochłonności ( $\mathbf{A}^M$ ). Współczynniki kosztów  $\alpha_{ij}$ , zapisane w macierzy  $\mathbf{A}$  oznaczają udział całkowitych kosztów pośrednich  $i$ -tego rodzaju, zarówno krajowych ( $\alpha_{ij}^K$ ), jak i importowanych ( $\alpha_{ij}^M$ ) w podaży krajowych i importowanych produktów  $j$ -tej gałęzi, co powoduje, że interpretacja modelu w postaci bez wydzielenia importu może powodować wątpliwości z ekonomicznego punktu widzenia ze względu na przypisanie kosztów ponoszonych w kraju, jednocześnie produkcji krajowej i importowi (Przybyliński 2012). Dlatego też przy wyznaczaniu powyższej macierzy  $\mathbf{A}$  uwzględniono fakt, że koszty podane w liczniku służą wytworzeniu wyłącznie produkcji krajowej, a nie produktów importowanych:

$$\alpha_{ij} = \frac{x_{ij}}{X_j^K} \quad (1)$$

gdzie:

- $\alpha_{ij}$  – współczynnik kosztów,
- $x_{ij}$  – przepływ z gałęzi  $i$ -tej do  $j$ -tej, czyli wartość produkcji wytworzonej w gałęzi  $i$ -tej, a zużytej w gałęzi  $j$ -tej,
- $X_j^K$  – produkcja globalna gałęzi  $j$ -tej.

Suma elementów tworzących  $j$ -ą kolumnę jest równa współczynnikowi materiałochłonności tej gałęzi. Jednocześnie współczynniki kosztów stanowią podstawę matematycznego modelu opisującego zależność produktu globalnego i końcowego:

$$(\mathbf{I} - \mathbf{A})\mathbf{x} = \mathbf{y}$$

gdzie:

- $\mathbf{x} = [X_i]$  –  $n$ -wymiarowy kolumnowy wektor produkcji globalnej,
- $\mathbf{y} = [Y_i]$  –  $n$ -wymiarowy kolumnowy wektor produkcji końcowej,
- $\mathbf{L} = \mathbf{I} - \mathbf{A}$  – macierz stopnia  $n$ , gdzie  $\mathbf{A}$  oznacza macierz struktury kosztów, a  $\mathbf{I}$  – macierz jednostkową stopnia  $n$ .  
Macierz  $\mathbf{L}$  nazywana jest macierzą Leontiefa.

Z kolei parametry  $\alpha_{ij}$  odwrotnej macierzy Leontiefa tj.  $\mathbf{L} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$  wyrażają wielkość produkcji globalnej  $i$ -tej gałęzi potrzebną do zaspokojenia jednostkowego popytu finalnego na produkty  $j$ -tej gałęzi. Elementy tej macierzy nazywane są współczynnikami pełnej produktochłonności, a sumy jej kolumn mnożnikami produkcji lub mnożnikami *input-output*.

Dla badanego układu wyznaczone współczynniki materiałochłonności, importochłonności oraz mnożniki produkcji przedstawiono w tabeli 1. Największą materiałochłonnością charakteryzują się gałęzie związane z przemysłem, a w dalszej kolejności budownictwo i wytwarzanie energii elektrycznej. Wartości interesujących nas gałęzi związanych z górnictwem surowców energetycznych są w porównaniu z pozostałymi dość małe. Porównując wskaźniki materiałochłonności dla roku 2005 i 2010 można zauważyć zmiany w dwóch gałęziach przemysłu, tj. obniżenie wskaźnika dla gałęzi „Energia elektryczna, gaz, para wodna i gorąca woda” oraz wzrost materiałochłonności w gałęzi „Ropa naftowa i gaz ziemny, rudy metali, surowce górnictwa pozostałe”. Wielkość importu określają wyznaczone współczynniki importochłonności produkcji w Polsce, które są sumą elementów  $j$ -tej gałęzi macierzy  $A^M$ . W latach 2005–2010 można zauważyć wyraźną tendencję wzrostową wskaźnika importochłonności, szczególnie w przypadku dóbr, w dużo mniejszym stopniu w zakresie usług. Największy wzrost wskaźnika importochłonności można zaobserwować w grupach: „Węgiel kamienny i brunatny; torf” oraz „Ropa naftowa i gaz ziemny, rudy metali, surowce górnictwa pozostałe”. Najwyższym współczynnikiem importochłonności charakteryzuje się przemysł chemiczny, ze względu na fakt, że zaliczono do niego kategorię „Koks i produkty rafinacji ropy naftowej”, której działalność wymaga importu ropy naftowej z zagranicy. W latach 2005–2010 możemy zauważyć wzrost wartości mnożnika dla grupy „Ropa naftowa i gaz ziemny, rudy metali, surowce górnictwa pozostałe”, w pozostałych gałęziach przemysłu mnożniki utrzymują się na podobnym poziomie, jak pięć lat wcześniej. Interpretacja mnożników produkcji jest następująca: jeżeli popyt finalny na produkty  $j$ -tego rodzaju wzrośnie o jednostkę, to produkcja w całym układzie gospodarczym wzrośnie o wartość  $\alpha_{ij}$ .

TABELA 1. Współczynniki opisujące produkcję i import poszczególnych gałęzi

TABLE 1. Product and imports input coefficients

| Gałąź przemysłu              | Współczynnik materiałochłonności |      | Współczynnik importochłonności |       | Mnożniki produkcji |       |
|------------------------------|----------------------------------|------|--------------------------------|-------|--------------------|-------|
|                              | 2005                             | 2010 | 2005                           | 2010  | 2005               | 2010  |
| 1. Produkty rolnictwa...     | 0,52                             | 0,54 | 4,1%                           | 6,1%  | 2,235              | 2,295 |
| 2. Węgiel kam. i brun. ...   | 0,34                             | 0,34 | 2,7%                           | 4,9%  | 1,811              | 1,820 |
| 3. Ropa naftowa i gaz...     | 0,38                             | 0,49 | 3,1%                           | 9,4%  | 1,849              | 2,117 |
| 4. Przemysł lekki            | 0,75                             | 0,74 | 15,2%                          | 16,6% | 2,778              | 2,770 |
| 5. Przemysł chemiczny        | 0,75                             | 0,75 | 34,1%                          | 37,5% | 2,694              | 2,758 |
| 6. Przemysł metalurgiczny    | 0,70                             | 0,73 | 22,1%                          | 23,4% | 2,749              | 2,895 |
| 7. Przemysł elektromasz. ... | 0,75                             | 0,77 | 33,2%                          | 30,8% | 2,942              | 3,072 |
| 8. En. elektryczna, gaz ...  | 0,63                             | 0,56 | 11,6%                          | 13,3% | 2,292              | 2,204 |
| 9. Budownictwo...            | 0,62                             | 0,62 | 9,0%                           | 8,3%  | 2,524              | 2,542 |
| 10. Działalność usługowa     | 0,40                             | 0,41 | 4,3%                           | 6,0%  | 1,874              | 1,896 |

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS.

### 3. Symulacja wrażliwości gospodarki na zmiany cen importowanych surowców energetycznych

Na podstawie tablic przepływów międzygałęziowych możliwa jest również analiza cen na podstawie modelu, pozwalającego na symulacje wrażliwości cen w badanym układzie pod wpływem zmian cen produktów importowanych (Miller i Blair 2009). Punktem wyjścia do stworzenia takiego modelu cen jest równanie kosztów:

$$\hat{\mathbf{x}}\mathbf{A}^T\mathbf{i} + \mathbf{d} = \mathbf{x} \quad (3)$$

gdzie:

- $\mathbf{x}$  – wektor produkcji globalnych
- $\mathbf{i}$  – wektor o wymiarach  $n \times 1$  zawierający jedynki,
- $\hat{\mathbf{x}}$  – macierz diagonalna powstała z wektora  $\mathbf{x}$ ,
- $\mathbf{A}^T$  – transponowana macierz współczynników kosztów,
- $\mathbf{d}$  – wartość dodana produkcji,

przekształcone dalej do postaci:

$$\mathbf{A}^T\mathbf{i} + \mathbf{v} = \mathbf{i} \quad (4)$$

gdzie:

- $\mathbf{v} = \hat{\mathbf{x}}^{-1}\mathbf{d}$  – oznacza wektor jednostkowy wartości dodanej, tj. wartość dodaną na jednostkę produkcji.

Zakładając, że ceny wszystkich produktów równe są jeden, równanie cen można zapisać w postaci:

$$\mathbf{A}^T\mathbf{p} + \mathbf{v} = \mathbf{p} \quad (5)$$

a po zredukowaniu:

$$\mathbf{p} = (\mathbf{I} - \mathbf{A}^T)^{-1}\mathbf{v} \quad (6)$$

gdzie  $\mathbf{p}$  jest wektorem cen.

Powyższa postać modelu cen pokazuje, że zmiana ceny w zamkniętej gospodarce jest wynikiem zmiany jednostkowych wartości dodanych, których skala zależy od współczynników kosztów. W rzeczywistości analizy oparte na modelu zamkniętym miałyby jedynie charakter teoretyczny, ponieważ nie uwzględniają wymiany zagranicznej, co w dzisiejszej otwartej gospodarce jest praktycznie niemożliwe. W związku z tym powyższe równanie należy zmodyfikować, uwzględniając udział produktów importowanych, ostatecznie otrzymując równanie cen dla gospodarki otwartej postaci:

$$\mathbf{p}^K = \prod^M \mathbf{p}^M + (\mathbf{L}^K)^T \mathbf{v} \quad (7)$$

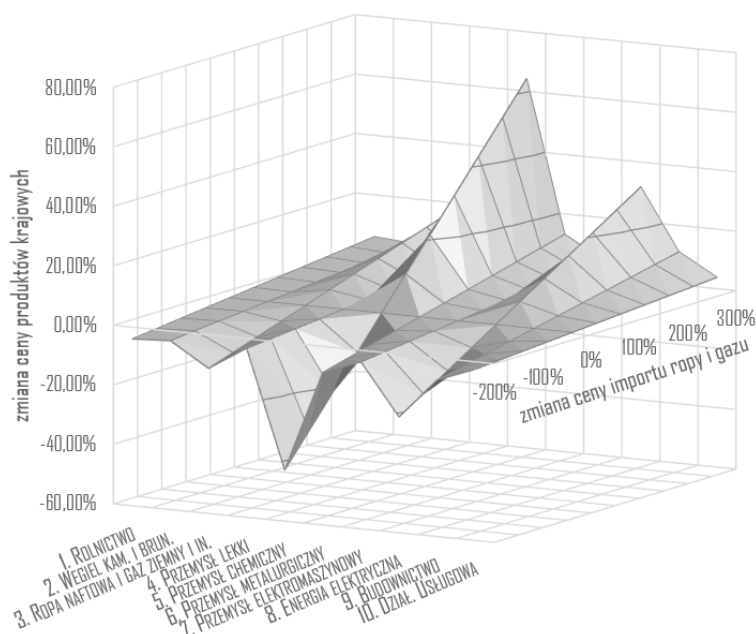
gdzie:

- |  |   |
|--|---|
| $\mathbf{p}^K$   | – wektor cen krajowych,   |
| $\mathbf{p}^M$   | – wektor cen importu,   |
| $\Pi^M \mathbf{p}^M + (\mathbf{L}^K)^T \mathbf{v}$               | – macierz mnożników wyrażających zmiany cen krajowych pod wpływem zmian cen importu,  |
| $\Pi^M = (\mathbf{L}^K)^T \cdot (\mathbf{A}^M)^T = [\pi_{ij}^M]$ | – macierz wyrażająca wielkość zmiany ceny krajowej $i$ -tej gałęzi pod wpływem zmiany ceny importowanych produktów $j$ -tej gałęzi o jeden. |

Mnożniki te mają charakter krótkookresowy i nie uwzględniają zmian po stronie popytu/podaży, a skala oddziaływania cen importu na ceny krajowe jest wynikiem importochłonności poszczególnych gałęzi oraz wzajemnych powiązań surowcowo-produktowych pomiędzy nimi. Dlatego, aby uzyskać prawidłowo interpretowalny mnożnik zaleca się (Przybyliński 2012) uwzględnienie struktury produkcji globalnej w postaci wektora  $\mathbf{x}^K$ , otrzymując ważony wielkością produkcji mnożnik cen krajowych  $\pi^M$ :

$$\pi^M = (\Pi^M)^T \mathbf{x}^K \quad (8)$$

Taka postać pozwala na symulację, o ile wzrost cen danej grupy produktów importowanych spowoduje wzrost cen krajowych.



Rys. 2. Wrażliwość cen sektorów produkcji krajowej na zmianę cen importowanej ropy naftowej i gazu ziemnego  
Źródło: opracowanie własne

Fig. 2. The price sensitivity in each sector toward changes in imported crude oil and natural gas prices



W przypadku Polski kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa energetycznego mają ceny ropy naftowej i gazu ziemnego, które z powodu niewielkich zasobów złóż jesteśmy zmuszeni importować. Dlatego też w przeprowadzonej symulacji skupiono się na reakcji gospodarki na zmiany cen importu ropy naftowej i gazu ziemnego. Jak pokazano na rysunku 2 najbardziej wrażliwe na zmiany cen importu ropy naftowej, gazu i in. są sektory gospodarki związane z przemysłem chemicznym, ze względu na znaczny udział ropy naftowej w produkcji tej gałęzi, a także wytwarzanie energii elektrycznej i ciepłej.

#### 4. Symulacja wrażliwości gospodarki na zmiany cen oraz ilości importowanych surowców energetycznych

Wielkość udziału importu w produkcji krajowej stanowi parametr wpływający na zmianę cen produktów krajowych, dlatego też model cen uzupełniono o możliwość uwzględnienia zmiany relacji importu do produkcji krajowej pod wpływem zmian cen importu do cen krajowych. Zmiana wielkości importu jest możliwa w przypadku substytucji dóbr importowanych dobrami krajowymi, a taka symulacja jest szczególnie istotna przy modyfikacji struktury energetycznej kraju.

Wyznaczając udział  $s_{ij}$  nakładów importowanych  $a_{ij}^M$  w jednostkowych nakładach materiałowych (całkowitych kosztach pośrednich  $i$ -tego rodzaju, zarówno krajowych  $a_{ij}^K$ , jak i importowanych  $a_{ij}^M$ ):

$$s_{ij} = \frac{a_{ij}^M}{a_{ij}^M + a_{ij}^K} \quad (9)$$

oraz pierwotny udziału importu w podaży ogółem dla  $i$ -tej grupy produktowej:

$$S_i = \frac{m}{x^K + m} \quad (10)$$

a następnie uwzględniając go w równaniu cen:

$$(\mathbf{A}^K)^T \hat{\mathbf{S}}^K \mathbf{p}^K + (\mathbf{A}^M)^T \hat{\mathbf{S}}^M \mathbf{p}^M + \mathbf{v} = \mathbf{p}^K \quad (11)$$

otrzymujemy ostateczną postać modelu:

$$(\mathbf{I} - (\mathbf{A}^K)^T \hat{\mathbf{S}}^K \mathbf{p}^K)^{-1} + ((\mathbf{A}^M)^T \hat{\mathbf{S}}^M \mathbf{p}^M + \mathbf{v}) = \mathbf{p}^K \quad (12)$$

gdzie:

$\hat{\mathbf{S}}^K$  – macierz diagonalna o elementach  $\frac{1 - S_i^*}{1 - S_i}$ ,

$\hat{\mathbf{S}}^M$  – macierz diagonalna o elementach  $\frac{S_i^*}{S_i}$ ,

- $S_i^*$  – udział importu w podaży dla  $i$ -tej grupy produktowej po uwzględnieniu substytucji,  
 $S_i$  – pierwotny udział importu w podaży dla  $i$ -tej grupy produktowej.

TABELA 2. Udział importu w podaży dla  $i$ -tej grupy produktowej

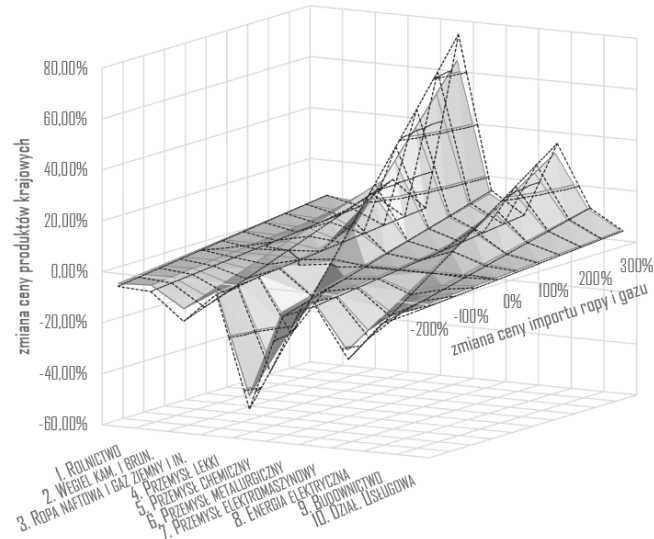
TABLE 2. Share of imports in each product group

| Nazwa gałęzi  | $S_i$ 2005 | $S_i$ 2010 |
|---|------------|------------|
| Produkty rolnictwa i łowiectwa, gospodarki leśnej i rybactwa        | 8,7%       | 12,2%      |
| Węgiel kamienny i brunatny; torf                                    | 3,4%       | 18,5%      |
| Ropa naftowa i gaz ziemny, rudy metali, surowce górnictwa pozostałe | 78,8%      | 79,1%      |
| Przemysł lekki  | 18,3%      | 22,8%      |
| Przemysł chemiczny  | 35,6%      | 34,3%      |
| Przemysł metalurgiczny  | 30,9%      | 32,2%      |
| Przemysł elektromaszynowy i wysokiej technologii                    | 43,6%      | 43,1%      |
| Energia elektryczna, gaz, para wodna i gorąca woda                  | 0,5%       | 1,1%       |
| Budownictwo oraz pobór, oczyszczanie i rozprowadzanie wody          | 1,2%       | 1,4%       |
| Działalność usługowa  | 2,6%       | 3,8%       |

Źródło: opracowanie własne.

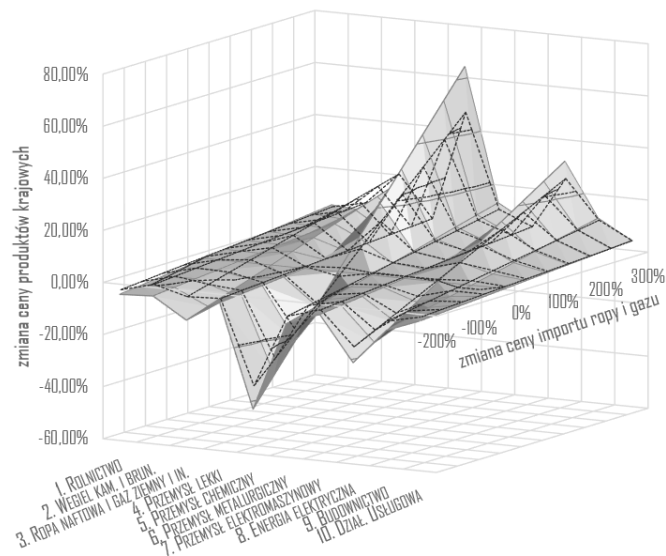
Jak przedstawiono w tabeli 2, największy udział produktów importowanych stanowią ropa naftowa, gaz ziemny i inne – tylko 21% tych surowców wydobywanych jest w kraju. Jednocześnie to właśnie na zmiany cen tych surowców jest najbardziej wrażliwa polska gospodarka. Poniżej przedstawiono wyniki symulacji wrażliwości badanych gałęzi na zmiany cen importu ropy naftowej i gazu ziemnego w dwóch scenariuszach: zwiększeniu importu tych surowców do 90% (rys. 3) oraz obniżeniu importu do 60% (rys. 4). Linią przerywaną oznaczono zmianę w stosunku do stanu pierwotnego.

Pełny obraz badanego zjawiska oraz siłę efektu substytucji jesteśmy w stanie określić porównując wyniki symulacji z mnożnikami cen. Zwiększenie udziału importu gazu ziemnego i ropy naftowej z 79% do 90% przy jednoczesnym wzroście ich cen na rynkach międzynarodowych, najbardziej wpłynęłoby na przemysł chemiczny oraz ceny energii elektrycznej i ciepłej – ceny produktów tych gałęzi wzrosłyby odpowiednio o 50 i 24% przy wzroście cen o 200%. Dla porównania, taki sam wzrost cen importowanej ropy naftowej i gazu ziemnego, zakładający udział importu na poziomie 60%, spowodowałby wzrost cen produktów przemysłu chemicznego o 30%, a energii elektrycznej i ciepłej o 16%. Oczywiście na dzień dzisiejszy, osiągnięcie stanu tak znaczącej substytucji ropy i gazu jest praktycznie niemożliwe, jednak mając na uwadze obecną sytuację geopolityczną, należy rozważyć rozwój technologii pozyskiwania energii z pozabilansowych zasobów węgla oraz poszukiwać nowych źródeł energii.



Rys. 3. Model cen z efektem substytucji – symulacja wpływu zmian cen importu ropy naftowej i gazu ziemnego na ceny produkcji krajowej przy zwiększeniu importu tych surowców do 90%  
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

Fig. 3. Price model with substitution effect – simulation of crude oil and natural gas price changes towards increasing share of imports to 90%



Rys. 4. Model cen z efektem substytucji – symulacja wpływu zmian cen importu ropy naftowej i gazu ziemnego na ceny produkcji krajowej przy zmniejszeniu importu tych surowców do 60%  
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS

Fig. 4. Price model with substitution effect – simulation of crude oil and natural gas price changes towards decreasing share of imports to 60%

## Podsumowanie

Przedstawione w niniejszym artykule badania i opracowane modele stanowią narzędzie służące tworzeniu wielokryterialnych symulacji, studiów i analiz, dotyczących systemu energetycznego i polityki energetycznej, a także pozwalają na zaplanowanie kierunków rozwoju systemu paliwowo-energetycznego oraz ocenę wpływu planowanych zmian na pozostałe gałęzie gospodarki. Dziś, gdy pojawia się tak wiele pytań o przyszłość górnictwa i jego rolę w zaspokajaniu potrzeb energetycznych, tego typu analizy, biorące pod uwagę całokształt systemu gospodarczego i wszelkie implikacje wynikające z modyfikacji systemu paliwowo-energetycznego są niezwykle istotne i przydatne. Ceny i dostępność surowców energetycznych determinują strukturę energetyczną kraju, co wobec niestabilnej sytuacji na świecie i możliwości zakłócenia dostaw powoduje konieczność i obowiązek bieżącego monitorowania rynku paliwowo-energetycznego oraz wdrażania zmian, mających na celu zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego, które dziś w głównej mierze gwarantowane jest przez węgiel. Należy jednocześnie mieć na uwadze, że dalsze wydobycie i wykorzystanie węgla jest uzależnione od efektywności ekonomicznej funkcjonowania kopalń oraz ograniczenia szkodliwego wpływu działalności górniczej na środowisko, dlatego należy dążyć do intensyfikacji prac badawczo-rozwojowych nad czystymi technologiami węglowymi oraz racjonalnie gospodarować złożem.

## Literatura

- Bilans przepływów międzygałęziowych w bieżących cenach bazowych w 2005 r.*, Główny Urząd Statystyczny, 2009.
- Bilans przepływów międzygałęziowych w bieżących cenach bazowych w 2010 r.*, Główny Urząd Statystyczny, 2014.
- Boratyński i in. 2010 – Boratyński, J., Pilch, M. i Przybyliński, M. 2010. Krótkookresowe efekty zmian cen energii w polskiej gospodarce. *Studia Prawno-Ekonomiczne* t. LXXXII.
- Czaplicka-Kolarz, K. red. 2007. *Scenariusze rozwoju technologicznego kompleksu paliwowo-energetycznego dla zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego kraju*, GIG.
- Dane statystyczne wykorzystane do badań zostały pobrane ze stron internetowych: Eurostat. [Online] Dostępne w: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu> [Dostęp: 10.07.2016], Główny Urząd Statystyczny [Online] Dostępne w: [www.stat.gov.pl](http://www.stat.gov.pl) [Dostęp: 10.07.2016].
- Ekonometria i badania operacyjne*, pod red. Gruszczyński M., Kuszewski T., Podgórska M., Warszawa: WN PWN, 2009.
- Gawlik, L. red. 2013. *Węgiel dla polskiej energetyki w perspektywie 2050 roku – analizy scenariuszowe*. Kraków: Wyd. IGSMiE PAN.
- Jankowski, B. 1997. *Modelowanie rozwoju krajowego systemu energetycznego z uwzględnieniem wymagań stabilizacji redukcji emisji dwutlenku węgla w Polsce*. Warszawa: IPPT PAN.
- Kudelko, M. 2015. Czynniki determinujące rozwój krajowego sektora energetycznego – analiza wrażliwości. *Zarządzanie i Finanse, Journal of Management and Finance* vol. 13, No. 3/1.
- Miller, R.E. i Blair, P.D. 2009. *Input-Output Analysis. Foundations and Extensions*, Cambridge University Press.
- Plich, M. 2002. *Budowa i zastosowanie wielosektorowych modeli ekonomiczno-ekologicznych*. Łódź: Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego.
- Polityka energetyczna Polski do 2030 roku*, 2009.
- Przybyliński, M. 2012. *Metody i tablice przepływów międzygałęziowych w analizach handlu zagranicznego*. Łódź: Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego.
- Rusak, H. 2008. Model macierzowy zrównoważonej energetyki lokalnej uwzględniający niepewność danych wejściowych. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 11, z. 1.
- Szczerbowski, R. 2014. Modelowanie systemów energetycznych. *Electrical Engineering, Poznan University of Technology Academic Journals* Nr 78.