

Jurand Skrzypek

Uniwersytet Jagielloński, Instytut Ekonomii, Finansów i Zarządzania

jurandskrzypek@gmail.com

**ANALIZA ENERGOCHŁONNOŚCI
I EMISYJNOŚCI SEKTORÓW POLSKIEJ
GOSPODARKI W LATACH 1996-2015**

Streszczenie: Praca ma na celu zidentyfikowanie podstawowych trendów zachodzących w obszarze wskaźników energochłonności i emisyjności sektorów gospodarki w latach 1996-2015. W badaniu wykorzystano metody znane z analizy input-output oraz metody statystyczne. Głównym źródłem danych statystycznych są *Gospodarka paliwowo-energetyczna*, *Tablica input-output w cenach stałych z roku 2010* oraz *Roczniki statystyczne przemysłu* publikowane przez GUS. Dane zostały zgromadzone w zunifikowanej bazie danych, w układzie 15 nośników energii na 32 sektory gospodarki (+ gospodarstwa domowe), łączącej dane sporządzone w układzie klasyfikacji PKD 2004 oraz PKD 2007. Przeprowadzone badanie wykazało na ogół malejący poziom wskaźników energochłonności i emisyjności sektorów polskiej gospodarki.

Słowa kluczowe: analiza input-output, modele energetyczne, energochłonność, emisyjność.

Klasyfikacja JEL: C67, Q4, Q5.

**ENERGY AND EMISSIONS INTENSITY ANALYSIS OF SECTORS
OF THE POLISH ECONOMY IN THE YEARS 1996-2015**

Abstract: The aim of the paper is to identify basic trends, which occurred in the area of energy intensity and emissions intensity ratios of sectors of the Polish economy in the years 1996-2015. In the research, input-output and statistical methods have been utilized. Main data sources include: *Energy statistics*, *Input-output tables in constant prices from the year 2010* and *Statistical yearbook of industry*, all pub-

lished by the Central Statistical Office (GUS). Data have been gathered in a unified database, in the layout of 15 energy sources by 32 sectors (+ households). A database connects the data, organized in a different classification of activities – PKD 2004 and PKD 2007. The conducted research found that the level of energy intensity and emissions intensity ratios of sectors of the Polish economy generally decreased.

Keywords: input-output analysis, energy intensity, emission intensity, energy models.

Wstęp

Problem określenia optymalnej ścieżki rozwoju krajowego systemu energetycznego – czy to opartego na czystych technologiach węglowych, czy na energii nuklearnej, czy zakładającej dynamiczny rozwój odnawialnych źródeł energii i wykorzystania gazu łupkowego – jest aktualnie szeroko dyskutowany w wielu kręgach¹: począwszy od środowiska akademickiego, poprzez Ministerstwo Energii (wcześniej swój wkład w dyskusję miało Ministerstwo Gospodarki, włączone w 2015 r. w struktury Ministerstwa Rozwoju), a kończąc na środowisku biznesu. Debatujący na ogół zgadzają się w jednej kwestii – polskiemu systemowi energetycznemu potrzebny jest długofalowy plan rozwoju, zapewniający stabilny wzrost gospodarczy polskiej gospodarki, a także ochronę środowiska naturalnego i odpowiednią jakość życia. Interdyscyplinarność takiego planu wiąże się jednak z koniecznością wypracowania odpowiednich narzędzi, wspomagających proces decyzyjny. Narzędzia te pozwalają na przewidywanie skutków realizacji programów rozwoju już na etapie projektowania dokumentów rządowych, by móc minimalizować ryzyko ich wdrożenia lub zaniechania, a także oswajać społeczeństwo z możliwymi przeobrażeniami społeczno-gospodarczymi, jakie mogą nastąpić. Do tego celu nadają się modele matematyczne, a w szczególności modele ekologiczno-energetyczne, uwzględniające powiązania systemu energetycznego z otoczeniem gospodarczym i środowiskiem naturalnym. Modele te operują zwykle na zharmonizowanych danych, łączących rachunki narodowe z rachunkami o zużyciu energii i powiązanej z nim emisji zanieczyszczeń do atmosfery.

¹ Przykładem niech będą: „Zintegrowany blok konferencji dotyczących niskoemisyjnej transformacji polskiej gospodarki jako klucza do określenia energy-mix”, zorganizowany jesienią 2016 r.; Konferencja „Rozwój gospodarki niskoemisyjnej” odbywająca się w styczniu 2016 r.; Konferencja „Okrągły stół energetyczny” – czerwiec 2017 r. czy „XIII Międzynarodowa Konferencja NEUF – New Energy User Friendly” – lipiec 2017 r.

Bardzo ważnymi kategoriami, będącymi efektem harmonizacji danych statystycznych, są parametry w postaci współczynnika energochłonności i współczynnika emisyjności. Parametry te opisują energetyczny i ekologiczny wymiar procesu produkcji dóbr i usług, a śledzenie ich trendów pozwala na określenie stanu faktycznego gospodarki, identyfikację sektorów najmniej i najbardziej energochłonnych oraz określenie potencjału dalszej redukcji emitowanych zanieczyszczeń i ilości zużywanych nośników energii w gospodarce.

W literaturze przedmiotu, badacze energochłonności i emisyjności sektorów gospodarki rzadko wykorzystują techniki znane z analizy input-output. Ich zaletą jest uzyskiwanie wysokiego stopnia szczegółowości (dezagregacji) wyników oraz możliwość dokonywania symulacji przyszłego zużycia nośników energii i poziomu emisji zanieczyszczeń na tym poziomie, natomiast ich największa wada to konieczność poniesienia dużych nakładów pracy przy budowie bazy danych. Do opisu energochłonności i emisyjności sektorów polskiej gospodarki wykorzystuje się zwykle gotowe wskaźniki, zaczerpnięte z krajowych raportów (por. *Efektywność wykorzystania energii*, 2016; *Krajowy Raport Inwentaryzacyjny*, 2016, 2017; *Zjawisko ucieczki emisji*, 2009) lub zagranicznych baz danych, takich jak Eurostat, Odyse-Mure, European Environment Agency czy International Energy Agency. Stopień szczegółowości tych analiz jest różny – od poziomu makroekonomicznego do sektorów gospodarki – dostrzec jednak można brak analiz energochłonności i emisyjności o wysokim stopniu dezagregacji sektorowej, łączących dane pochodzące z bilansów energetycznych z tablicami przepływów międzygałęziowych. Stąd potrzeba uzupełnienia tych braków w literaturze z wykorzystaniem zharmonizowanej bazy danych autora.

Celem pracy jest zatem zidentyfikowanie podstawowych trendów zachodzących w obszarze wskaźników energochłonności i emisyjności sektorów gospodarki w latach 1996-2015. W badaniu wykorzystano zharmonizowaną bazę danych statystycznych, łączącą różne źródła danych i zapewniającą spójność szeregów czasowych pomimo zmian klasyfikacyjnych. Praca składa się z trzech części. Część pierwsza obejmuje rozważania dotyczące współczynników energochłonności i emisyjności. W części drugiej opisano problem budowy zharmonizowanej bazy danych statystycznych. Ostatnia część zawiera wyniki przeprowadzonej analizy.

1. Metody pomiaru energochłonności i emisyjności

1.1. Pojęcie energochłonności i emisyjności

Istnieje szereg znaczeń pojęcia energochłonności w zależności od tego, czy rozpatrywana jest energochłonność budynków (zob. Żurawski, 2008; Michalak, 2009, s. 12-15, 83), energochłonność urządzeń (zob. Piskier, 2008), energochłonność procesu wytwarzania określonych dóbr i usług (zob. Krzysztofik i Łapczyńska-Kordon, 2008; Sadowska, 2015, s. 4-5), czy może, jak w niniejszym opracowaniu, rozważania dotyczą zagregowanej produkcji dóbr i usług, wytwarzanych przez sektory polskiej gospodarki. Na poziomie makro- i mezoekonomicznym (sektory gospodarki) energochłonność definiujemy jako nakłady nośników energii przypadające na jednostkę produkcji lub inaczej – jako relację zużycia nośników energii (nakład) do wytworzonej produkcji (efekt) (Plich i Skrzypek, 2016, s. 20; Kott, Kott i Szalbierz, 2012, s. 591; Zajac, 2011, s. 4058):

$$\text{energochłonność} = \frac{\text{nakłady nośników energii}}{\text{wielkość produkcji}}. \quad (1)$$

Formuła 1 jest bardzo ogólna i wymaga sprecyzowania tego, co mieści się w kategorii wielkości produkcji a co w kategorii nakładów nośników energii. W przypadku wielkości produkcji, analiza energochłonności na poziomie makroekonomicznym sprowadza się zwykle do mierzenia rozmiarów produkcji za pomocą PKB, zatem są one wyrażone w jednostkach pieniężnych (Patterson, 1996: s. 381-383; *Efektywność wykorzystania energii*, 2016; *World trends*, 2008). Taki sposób mierzenia wielkości produkcji jest zwykle podyktowany dostępnością danych, co w przypadku PKB nie stanowi problemu. Jeżeli zaś energochłonność będzie badana na poziomie sektorów gospodarki, za wielkość produkcji można obrać np. wartość dodaną generowaną przez określony sektor (*Raport dotyczący kluczowych*, 2008, s. 21-29; Blok, 2007, s. 184-185) lub jego produkcję globalną (Plich i Skrzypek, 2016), które również są wyrażane wartościowo.

Nakłady nośników energii łatwo wyrazić w zunifikowanej jednostce energii, takiej jak np. TJ, Mtoe lub BTU². Dane dotyczące zużycia poszczególnych nośników energii wyrażone w tej samej jednostce energii można łatwo odszukać w krajowych bilansach paliwowo-energetycznych (zob.

² Odpowiednio teradžul (10¹² J), megatona oleju ekwiwalentnego, British Thermal Unit (brytyjska jednostka ciepła).

Gospodarka paliwowo-energetyczna, 1997-2017). Niestety, problem sprawia określenie odpowiedniego rodzaju zużytej energii tak, by nie popełnić błędu podwójnego liczenia tego samego zużycia. Nośniki energii dzielimy na dwa rodzaje: nośniki energii pierwotnej (bezpośrednio pozyskanej z natury) oraz nośniki energii wtórnej (będące nośnikami energii pierwotnej przetworzonymi w procesie przemian energetycznych). Należy pamiętać, że w nośnikach energii wtórnej (np. energia elektryczna, gaz i ciepło) zawarta jest już energia nośników energii pierwotnej (np. węgiel, OZE). Z tego powodu, licząc wskaźnik energochłonności, należy postępować bardzo ostrożnie, sumując zużycie wszystkich nośników energii. Zazwyczaj omija się ten problem, sumując wyłącznie zużycie energii pierwotnej i tym samym obliczając energochłonność pierwotną. Rozważanie energochłonności związanej ze zużyciem zarówno nośników energii pierwotnej, jak i wtórnej zobowiązuje badacza do zaznajomienia się z rodzajami zużywanej energii, ujmowanymi w bilansach paliwowo-energetycznych, są to m.in. (*Zasady metodyczne sprawozdawczości*, 2006):

- zużycie na wsad przemian energetycznych;
- zużycie bezpośrednie.

Suma dwóch wyżej wymienionych rodzajów zużycia daje „zużycie energii ogółem”. Rozdzielenie zużycia nośników energii na wsad przemian energetycznych od zużycia na potrzeby produkcyjne, przy dodatkowym podziale sektorów gospodarki na energetyczne i nieenergetyczne, pozwala na analizę ich energochłonności przy udziale zarówno nośników energii pierwotnej, jak i wtórnej. Przy upraszczającym założeniu, że wszystkie sektory nieenergetyczne, używają energii wyłącznie na potrzeby produkcyjne (zużycie bezpośrednie) i są wyłącznie odbiorcami energii³, ich energochłonność można liczyć dla każdego rodzaju energii, nie popełniając błędu podwójnego liczenia tej samej energii, występującej pod różnymi postaciami. Z kolei dla sektorów energetycznych, gdzie zachodzą procesy przemian energetycznych, najważniejszą kategorią zużycia jest zużycie na wsad przemian energetycznych, przy czym ze wskaźnika energochłonności należy wyłączyć te nośniki energii wtórnej, które są wytwarzane w danym sektorze energetycznym. Dla przykładu dla sektora rafineryjno-koksowniczego

³ Zgodnie z obliczeniami autora na podstawie bazy danych w 2015 r. za przemiany energetyczne w polskiej gospodarce w około 96% odpowiadały sektory energetyczne. Do grona sektorów quasi-energetycznych można zaliczyć dodatkowo sektor metalurgiczny (2,5% udziału w przemianach energetycznych, głównie za sprawą wykorzystania ciepła z pieców hutniczych) oraz chemiczny (0,5% udziału w przemianach energetycznych, przede wszystkim w drodze wykorzystania węgla w reakcjach chemicznych).

można policzyć energochłonność na wsad przemian nośników energii pierwotnej, a także energochłonność na wsad przemian nośników energii wtórnej, które w tym sektorze nie są wytwarzane (energia elektryczna, gaz, ciepło). A zatem z analizy wykluczona zostanie energochłonność związana ze zużyciem paliw, gdyż ich energia jest już zawarta w pierwotnych nośnikach energii (np. w ropie naftowej). Do obliczonego w ten sposób wskaźnika energochłonności na wsad przemian sektora energetycznego można dodać energochłonność bezpośrednią zużycia nośników energii pierwotnej oraz wtórnej (niewytwarzanych w tym sektorze), nie popełniając wspomnianego wcześniej błędu. Jest ona zazwyczaj marginalna i obejmuje dodatkową działalność sektora energetycznego (np. produkcję smoły, wazelin czy parafin w sektorze rafineryjno-koksowniczym).

Nieodłącznym elementem związanym z wykorzystywaniem nośników energii jest emisja zanieczyszczeń do atmosfery. Zanieczyszczenia te mogą przyjmować postać tzw. gazów cieplarnianych (*greenhouse gases* – GHG). Wśród podstawowych gazów cieplarnianych wyróżnia się zwykle dwutlenek węgla (CO_2), metan (CH_4) oraz podtlenek azotu (N_2O) (Bebkiewicz i in., 2014, s. 5). Obok gazów cieplarnianych istnieją także prekursorzy gazów cieplarnianych, czyli substancje, które przyczyniają się do tworzenia samych gazów cieplarnianych (*Krajowa inwentaryzacja emisji*, 2010, s. 3). Do ich grona zalicza się przeważnie tlenki azotu (NO_x), tlenek węgla (CO) oraz dwutlenek siarki (SO_2). Należy jednak pamiętać, że emisja gazów cieplarnianych nie jest generowana wyłącznie w procesie spalania nośników energii. Dla przykładu w 2014 r. emisja CO_2 w Polsce w 91,8% powstała w wyniku zużycia nośników energii, tymczasem ten sam wskaźnik dla CH_4 i N_2O wyniósł odpowiednio 14,7% oraz 12,3% (*Krajowy Raport Inwentaryzacyjny*, 2016, s. 9-10). W przypadku CH_4 znaczna część jego emisji powstaje w wyniku hodowli zwierząt i składowania odpadów, a także w wyniku eksploatacji złóż podziemnych (tzw. emisja lotna z paliw). Z kolei głównym źródłem emisji N_2O do atmosfery jest działalność rolnicza, w tym działalność związana z nawożeniem gleb.

Rachunki emisyjności są możliwe w sytuacji, gdy wielkość każdego rodzaju emisji zanieczyszczeń jest wyrażona w tej samej jednostce emisji, takiej jak megagram (tona) ekwiwalentu CO_2 ⁴. Tak więc, emisyjność można

⁴ Tona ekwiwalentu CO_2 oznacza ilość gazów cieplarnianych, lub mieszaniny zawierającej takie gazy, wyrażoną jako iloczyn masy gazów cieplarnianych w tonach metrycznych i ich współczynnika ocieplenia globalnego. Z kolei współczynnik ocieplenia globalnego oznacza wskaźnik porównujący siłę oddziaływania gazu cieplarnianego na ocieplenie klimatu do siły oddziaływania dwutlenku CO_2 , obliczany na podstawie skutków oddziaływania jednego ki-

rozpatrywać w kontekście wagi zanieczyszczeń powietrza danego rodzaju wynikającej ze zużycia (spalania lub przetwarzania) jednostki poszczególnych nośników energii oraz, podobnie jak w przypadku energochłonności ukazanej wyżej, emisyjność można powiązać z wielkością danego rodzaju emisji (wyrażonej np. w ekwiwalencie CO₂), przypadającą na jednostkę produkcji (konkretnego sektora gospodarki czy gospodarki jako całości). W drugim rozumieniu parametr emisyjności wygląda następująco:

$$\text{emisyjność} = \frac{\text{wielkość emisji zanieczyszczeń danego rodzaju}}{\text{wielkość produkcji}}. \quad (2)$$

Jeżeli emisyjność jest powiązana z wielkością produkcji, to przeprowadzone analizy obejmują zwykle jedynie wysoce zagregowany poziom makroekonomiczny (Nodzyński, 2009, *Transformacja w kierunku*, 2011, s. 31-35) bądź wiąże wielkość emisji z produkcją konkretnego nośnika energii wtórnej, np. emisyjność energii eklektycznej czy emisyjność ciepła (*Wskaźniki emisyjności CO₂*, 2017). Należy nadmienić, że analizy emisyjności rzadziej koncentrują się na wysoce zdezagregowanym poziomie sektorów gospodarki, tak jak w niniejszym badaniu, a ich zaletą jest wysoki stopień szczegółowości prezentowanych danych.

Ilość zanieczyszczeń danego rodzaju może zostać przeliczona również na jednostkę zużytych nośników energii (w danym sektorze lub w gospodarce jako całości), tzn.:

$$\text{emisyjność} = \frac{\text{wielkość emisji zanieczyszczeń danego rodzaju}}{\text{ilość zużytych nośników energii}}. \quad (3)$$

Oba ujęcia emisyjności (2 i 3) różnią się mianownikiem, będącym miarą wytworzonego efektu. W analizach emisyjności można używać równolegle dwóch ujęć, niemniej jednak w niniejszym opracowaniu ograniczono się do jedynie podejścia (2), wyrażającego ekologiczny aspekt procesu produkcji.

1.2. Energochłonność w analizie input-output

Energochłonność w sektorach polskiej gospodarki można zbadać za pomocą tzw. bezpośrednich współczynników nakładów nośników energii (lub

lograma danego gazu na ocieplenie klimatu w ciągu 100 lat w porównaniu do oddziaływania jednego kilograma CO₂ (Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego, 2014, s. 17).

inaczej energochłonności produkcji globalnej) oraz pełnych współczynników nakładów nośników energii (lub krócej energochłonności produkcji finalnej). Energochłonność produkcji globalnej k -tego rodzaju, dla każdego j -tego sektora gospodarki wyznacza się za pomocą następującego wzoru (Plich i Skrzypek, 2016, s. 22):

$$e_{kjt} = \frac{z_{kjt}}{X_{jt}} \text{ dla } k = 1, \dots, K \text{ i } j = 1, \dots, n, \quad (4)$$

gdzie:

e_{kj} – bezpośredni współczynnik nakładów energii k -tego nośnika przez j -ty sektor,

z_{kj} – nakłady k -tego nośnika energii w j -tym sektorze,

X_j – produkcja globalna w j -tym sektorze,

t – subskrypt czasu,

K – liczba wyróżnionych nośników energii,

n – liczba wyróżnionych sektorów.

Zatem energochłonność produkcji globalnej oznacza ilość energii k -tego rodzaju, jaką należy dostarczyć do j -tego sektora, by móc zwiększyć jego produkcję globalną o jednostkę. Współczynnik energochłonności jest tu wyrażony w jednostce hybrydowej [TJ/mln zł]. Należy mieć na uwadze fakt, iż wielkości z_{kjt} dla sektorów nieenergetycznych obejmują wyłącznie zużycie bezpośrednie energii, natomiast dla dwóch sektorów energetycznych (sektora produkującego energię elektryczną, gaz i ciepło oraz sektora rafineryjno-koksowniczego) wielkości z_{kjt} oznaczają zużycie energii ogółem, z wyłączeniem tych nośników energii wtórnej, które są produkowane w rozważanym sektorze energetycznym. Takie działanie jest zgodne z zasadą niewliczania tej samej energii pod inną postacią do zużycia energii w sektorze, o czym była mowa w poprzednim podrozdziale.

Proste przekształcenie wzoru (4) pozwala na obliczenie poziomu zużytej energii k -tego rodzaju w j -tym sektorze, przy znanym współczynniku energochłonności i produkcji globalnej tegoż sektora, co można zapisać w postaci macierzowej jako:

$$z_t = E_t x_t, \quad (5)$$

gdzie:

$z = [Z_k]_{K \times 1}$ – wektor nakładów K nośników energii w gospodarce,

$E = [e_{kj}]_{K \times n}$ – macierz energochłonności produkcji globalnej,

$x = [X_j]_{n \times 1}$ – wektor sektorowych produkcji globalnych.

W ten sposób otrzymujemy model (5), w którym zmienne endogeniczne obecne w wektorze zużycia energii k -tego rodzaju są objaśniane przez zmienne egzogeniczne z wektora sektorowych produkcji globalnych. Elementy macierzy E są parametrami tego modelu. Egzogenizacja produkcji globalnej sektorów oznacza, w przypadku prognoz i symulacji dokonywanych przy użyciu modelu (5), centralne planowanie wielkości produkcji w sektorach. Wprowadzenie do rozważanego modelu formuły wynikającej z rozwiązania modelu Leontiefa pozwala na uzależnienie produkcji globalnej sektorów od popytu finalnego na ich produkty i usługi (Miller i Blair, 2009, s. 20):

$$x_t = (I - A_t)^{-1} y_t, \quad (6)$$

gdzie:

$A = [a_{ij}]_{n \times n}$ – macierz współczynników bezpośrednich nakładów materiałowych,

$y = [Y_i]_{n \times 1}$ – wektor produkcji finalnej,

I – macierz jednostkowa stopnia n .

Ostatecznie otrzymujemy model, w którym nakłady energii uzależnione są od produkcji finalnej oraz parametrów w postaci energochłonności produkcji globalnej i współczynników bezpośrednich nakładów materiałowych modelu:

$$z_t = [E_t(I - A_t)^{-1}] y_t. \quad (7)$$

Z punktu widzenia analizy energochłonności szczególną uwagę skupiają parametry modelu (7), będące elementami macierzy:

$$\tilde{E}_t = E_t(I - A_t)^{-1}, \quad (8)$$

gdzie:

$\tilde{E}_t = [\varepsilon_{kj}]_{K \times n}$ – macierz energochłonności produkcji finalnej.

Określa się je mianem pełnych współczynników nakładów nośników energii lub energochłonności produkcji finalnej. Pojedynczy element tej

macierzy ε_{kj} przedstawia zwiększenie wielkości nakładów k -tego nośnika energii w gospodarce, wynikającej ze wzrostu popytu finalnego na produkty i usługi j -tego sektora o jednostkę. Zatem elementy macierzy $\tilde{\mathbf{E}}_t$ wyrażają bezpośrednie i pośrednie efekty energetyczne wzrostu popytu finalnego na produkty j -tego sektora w całej gospodarce.

We wzorze (8) macierz bezpośrednich nakładów materiałowych $\mathbf{A}_t$ jest zmienna w czasie t . Macierz ta wyznaczana jest na podstawie tablic przepływów międzygałęziowych, które są jednak publikowane z niską częstotliwością (raz na 5 lat). Z tego powodu w praktyce wykorzystuje się stałą w czasie macierz $\mathbf{A}_0$ dla wybranego jednego okresu (roku bazowego). Niemniej jednak istnieją pewne metody matematyczne, ekonometryczne czy eksperckie, które pozwalają na uzmiennienie macierzy bezpośrednich nakładów materiałowych w czasie. Wymagają jednak one poświęcenia dużych nakładów pracy ze względu na wysoki stopień szczegółowości modelu (8).

Łączną energochłonność zarówno produkcji globalnej, jak i produkcji finalnej j -tego sektora można wyrazić, sumując odpowiednio kolumny macierzy $\mathbf{E}$ oraz $\tilde{\mathbf{E}}_t$:

$$e_{jt} = \sum_{k=1}^K e_{kjt}, \quad \varepsilon_{jt} = \sum_{k=1}^K \varepsilon_{kjt}. \quad (9)$$

Dokonana w ten sposób agregacja współczynników ułatwia wyrażenie sumarycznego efektu przyrostu odpowiednio produkcji globalnej i produkcji finalnej o jednostkę.

1.3. Emisyjność w analizie input-output

Każdemu nośnikowi energii można przypisać współczynnik emisyjności (polutogenności) p_{lk} , wyrażający ilość (wagę) emitowanych zanieczyszczeń l -tego rodzaju, powiązaną z użyciem jednostki energii k -tego rodzaju. Zatem znając wartość tego współczynnika oraz zużycie energii k -tego rodzaju w j -tym sektorze gospodarki, można wyznaczyć ilość emitowanych zanieczyszczeń l -tego rodzaju, generowaną przez j -ty sektor w drodze zużycia k -tego rodzaju energii:

$$u_{lkjt} = p_{lk} \cdot z_{kjt} \quad \text{dla } l = 1, \dots, L, \quad (10)$$

gdzie:

u_{lkjt} – emisja zanieczyszczeń l -tego rodzaju, wynikająca z użycia nośnika energii k -tego typu w sektorze j -tym w okresie t ,

p_{lk} – emisyjność l -tego rodzaju, wynikająca z użycia jednostki k -tego typu nośnika energii.

Pomijając subskrypt czasu i sumując wyrażenie (10) po j , otrzymamy emisję zanieczyszczeń l -tego rodzaju, wynikającą z użycia nośnika energii k -tego rodzaju w całej gospodarce. Natomiast suma wyrażenia (10) po k oznacza emisję zanieczyszczeń l -tego rodzaju, wynikającą z łącznego zużycia K nośników energii w j -tym sektorze.

Dzieląc otrzymaną emisję zanieczyszczeń l -tego rodzaju, wynikającą z użycia nośnika energii k -tego typu w j -tym sektorze (10) przez jego produkcję globalną, otrzymujemy następujący współczynnik emisyjności l -tego rodzaju:

$$g_{lkjt} = \frac{u_{lkjt}}{X_{jt}}. \quad (11)$$

Współczynnik ten można nazwać współczynnikiem emisyjności produkcji globalnej. Zauważmy, że suma wyrażenia (11) po k wyraża łączną ilość uwalnianych zanieczyszczeń powietrza l -tego rodzaju w j -tym sektorze w drodze zwiększenia jego produkcji globalnej o jednostkę (analogon 9). Zatem w tym przypadku można mówić o łącznej emisyjności produkcji globalnej j -tego sektora.

Wykonując analogiczne przekształcenia jak w punktach (5-6), otrzymujemy model, w którym emisje zanieczyszczeń do atmosfery są uzależnione od produkcji finalnej oraz parametrów w postaci emisyjności produkcji globalnej i współczynników bezpośrednich nakładów materiałowych modelu:

$$\forall l = 1, \dots, L \quad \mathbf{u}_{lt} = \left[\mathbf{G}_{lt} (\mathbf{I} - \mathbf{A}_t)^{-1} \right] \mathbf{y}_t. \quad (12)$$

gdzie:

$\mathbf{u}_l = [\mathbf{u}_{kl}]_{K \times 1}$ – wektor wielkości wygenerowanych emisji (dla każdego jej rodzaju $l = 1, \dots, L$), powiązanych ze zużyciem k -tego nośnika energii w całej gospodarce,

$\mathbf{G}_l = [g_{lkj}]_{K \times n}$ – macierz emisyjności produkcji globalnej (dla każdego rodzaju emisji zanieczyszczeń $l = 1, \dots, L$).

Z punktu widzenia analizy emisyjności ważną kategorię stanowią parametry modelu (12), będące elementami macierzy:

$$\tilde{\mathbf{G}}_{lt} = \mathbf{G}_{lt} (\mathbf{I} - \mathbf{A}_t)^{-1}, \quad (13)$$

gdzie:

$\tilde{\mathbf{G}}_{lt} = [\gamma_{lkj}]_{K \times n}$ – macierz emisyjności produkcji finalnej.

Elementy macierzy $\tilde{\mathbf{G}}_{lt}$ pokazują wzrost emisji zanieczyszczeń l -tego rodzaju, powiązany z użytkowaniem k -tego rodzaju nośnika energii w całej gospodarce, wywołany wzrostem zapotrzebowania na produkty j -tego sektora o jednostkę. Suma kolumn macierzy $\tilde{\mathbf{G}}_{lt}$ wyraża ilość uwalnianych zanieczyszczeń powietrza l -tego rodzaju w całej gospodarce, wynikającą z łącznego zużycia K nośników energii w j -tym sektorze, w drodze zwiększenia jego produkcji finalnej o jednostkę (co pozwala dostrzec analogię z 9). Zatem, w tym przypadku można tu mówić o łącznej emisyjności produkcji finalnej j -tego sektora.

Modele (7) i (12) opierają się na znajomości parametrów macierzy $\mathbf{A}_t$ (macierzy bezpośrednich nakładów materiałowych). Jak wspomniano wcześniej, macierz tę wyznacza się na podstawie tablic przepływów międzygałęziowych, które ze względu na bardzo wysoką pracochłonność opracowywane są z niską częstotliwością (zob. *Bilans przepływów międzygałęziowych*, 2014). Z tego względu bezpośrednie zastosowanie zmiennej w czasie macierzy $\mathbf{A}_t$ jest utrudnione. W związku z tym, stosując model Leontiefa, najczęściej wyznacza się współczynniki macierzy $\mathbf{A}$ dla jednego wybranego okresu podstawowego, co jest równoznaczne z przyjęciem założenia o ich stałości w czasie.

2. Problemy związane z konstrukcją bazy danych

Przeprowadzenie analizy energochłonności i emisyjności sektorów polskiej gospodarki wymaga integracji wielu różnych źródeł danych, w tym danych dotyczących zużycia poszczególnych nośników energii w sektorach gospodarki (*Gospodarka paliwowo-energetyczna*, 1997-2017), produkcji globalnej sektorów (*Rocznik statystyczny przemysłu*, 1997-2017; *Rocznik statystyczny Rzeczypospolitej*, 1997-2017), przepływów międzygałęziowych (*Bilans przepływów międzygałęziowych*, 2014) oraz współczynników polutogenności (*Wartości opałowe*, 2014). Dane dotyczące zużycia poszczególnych nośników energii wyrażone są w zunifikowanej jednostce energii (TJ) i wyszczególniają 36 różnych nośników energii. Produkcja globalna sektorów oraz dane z tablic przepływów międzygałęziowych ujmowane są w jednostce

pieniężnej (mln zł), zatem niezbędne było wyeliminowanie wpływu inflacji na te dane w drodze ich prezentacji w cenach stałych z 2010 r. Z kolei współczynniki polutogenności, pochodzące bezpośrednio ze źródła danych, ukazano za pomocą zunifikowanej jednostki kgCO_2/GJ , mówiącej o tym, ile kilogramów CO_2 zostaje wyemitowane w związku ze zużyciem 1 GJ energii. Na potrzeby badania doprowadzono ową jednostkę do postaci $\text{Gg CO}_2/\text{TJ}$.

Pomimo że wspomniane uprzednio pierwsze trzy źródła danych są publikowane przez jeden podmiot – Główny Urząd Statystyczny – prezentowane dane nie są spójne. Niespójność danych objawia się:

- różną klasyfikacją sektorową, która oznacza obecność różnych zestawów agregatów (grup, działów, sekcji w rozumieniu PKD) obecnych w tych źródłach, przy czym różnice te narastają coraz bardziej wraz ze wzrostem poziomu dezagregacji,
- przerwaniami ciągłości szeregów czasowych w 2008 r. wskutek zmiany sposobu agregowania danych przez GUS, gdzie w miejsce PKD 2004 wprowadzono klasyfikację PKD 2007, a także zastąpiono PKWiU (Polską Klasyfikację Wyrobów i Usług) 2004 klasyfikacją PKWiU 2008⁵.

Powyższe problemy zrodziły konieczność uzgodnienia optymalnej (z punktu widzenia badacza) liczby sektorów gospodarki, zapewniającej sprawne połączenie danych pochodzących z różnych źródeł, w drodze znalezienia odpowiedniego klucza powiązań między tymi danymi. Harmonizacja źródeł danych przebiegała zwykle poprzez dokonywanie ograniczonej agregacji w taki sposób, by nie zatracić wysokiego stopnia szczegółowości bazy danych. W ten sposób wyszczególniono 32 sektory gospodarki (+ gospodarstwa domowe). Optymalny dobór liczby analizowanych sektorów musiał również uwzględniać niespójność szeregów czasowych wewnątrz źródeł danych. W przypadku bilansów paliwowo-energetycznych znalezienie elementów wspólnych między klasyfikacjami PKD 2004 i 2007 było możliwe dzięki opublikowaniu danych w jednym i drugim układzie (*Gospodarka paliwowo-energetyczna*, 2010, s. 290-370) oraz dzięki opublikowaniu przez GUS specjalnego klucza powiązań klasyfikacji (*Klucz powiązań PKD*, b.d.). Z racji wydłużającego się, wraz z każdą coroczną aktualizacją bazy danych, szeregu czasowego w układzie PKD 2007 podjęto decyzję o dostosowaniu układu danych według starej klasyfikacji PKD 2004 do nowego układu danych⁶. Z bazą danych zharmonizowano również tablicę

⁵ Więcej na temat zmian klasyfikacyjnych w: (Bielak, Bieniek i Wojciechowska, 2009).

⁶ Warto nadmienić, że poprzednio realizowane badania w zakresie energochłonności gospodarki (Plich i Skrzypek, 2016) polegały na dostosowaniu danych w nowym układzie do starego układu. Zmieniająca się proporcja danych, sporządzonych według starego i no-

input-output z roku 2010, która jest sporządzona według nowego układu PKWiU 2008.

Baza danych obejmuje dane roczne za lata 1996-2015. A zatem dane w starym układzie za lata 1996-2008 połączono z danymi w nowym układzie za lata 2009-2015. Pierwszym krokiem w połączeniu danych była identyfikacja przesunięć różnych rodzajów działalności pomiędzy istniejącymi lub nowo utworzonymi działami, powstałymi wskutek zmiany klasyfikacji PKD. W ten sposób powstały wstępne przybliżenia zużycia nośników energii w klasyfikacji PKD 2007 otrzymane na podstawie danych dostępnych według klasyfikacji PKD 2004. Drugi krok obejmował porównanie względnych odchyleń wartości zużycia nośników energii w odpowiadających sobie agregatach pomiędzy danymi sporządzonymi w układzie PKD 2004 i danymi sporządzonymi w układzie PKD 2007. Działanie to było możliwe ze względu na to, iż GUS opublikował dane za rok 2008 w obu układach. Ustalono następujące kryterium: jeżeli wspomniane odchylenia były nie większe niż 15%, szereg czasowy danej pozycji za lata 1996-2008 według nowego układu PKD 2007 uzyskiwano na podstawie dynamiki zmian jej przybliżenia w układzie PKD 2004. W sytuacji, gdy odchylenia były większe niż 15%, szereg czasowy zużycia nośników energii danej pozycji za lata 1996-2008 według nowego układu otrzymywano w drodze, kolejno:

- 1) wyznaczenia prognoz współczynników energochłonności na podstawie danych pochodzących z nowej klasyfikacji, a następnie
- 2) obliczenia iloczynu wyznaczonych współczynników i produkcji globalnej przybliżenia tejże pozycji (por. (5)).

Efektom harmonizacji różnych źródeł danych, przy zapewnieniu ich ciągłości w obliczu zmian klasyfikacyjnych, jest zunifikowana baza danych, obejmująca 15 zagregowanych nośników energii oraz 32 sektory gospodarki (+ gospodarstwa domowe). Wcześniejsza wersja bazy (dostosowana do układu PKD 2004), nazywana bazą danych IMPEC⁷, była wielokrotnie wykorzystywana do różnorodnych badań nad polską gospodarką, takich jak zmiany strukturalne (Plich, 2007), skutki zmian cen energii (Boratyński, Plich i Przybyliński, 2010), wprowadzenie handlu zanieczyszczeniami (Plich, 2011), potencjalne wydobycie gazu łupkowego (Plich, 2013, 2015),

wego układu, skłoniła autora do poświęcenia dodatkowego nakładu czasu na unowocześnienie bazy danych i dostosowanie jej do aktualnie wykorzystywanego układu sprawozdawczości z zakresu zużycia nośników energii i produkcji globalnej sektorów gospodarki.

⁷ IMPEC (Integrated Model of Polish Economy) – Zintegrowany Model Polskiej Gospodarki. Model rozwijany w Katedrze Teorii i Analiz Systemów Ekonomicznych Uniwersytetu Łódzkiego.

trendy energochłonności sektorów polskiej gospodarki (Plich i Skrzypek, 2016), projekcje zużycia nośników energii pierwotnej do roku 2030 (Skrzypek, 2017).

3. Wyniki analizy

3.1. Energochłonność sektorów polskiej gospodarki

Łączną energochłonność produkcji globalnej (PG) i energochłonność produkcji finalnej (PF) sektorów polskiej gospodarki w okresach 1996, 2000, 2009 i 2015 oraz odpowiadające im średnioroczne tempo zmian przedstawia tablica 1.

Do grona najbardziej energochłonnych sektorów zaliczają się przede wszystkim sektory energetyczne: rafineryjno-koksowniczy (paliwowy) oraz sektor produkujący energię elektryczną, gaz i ciepło (zwany dalej sektorem elektrociepłowniczym). Zarówno po stronie energochłonności PG, jak i energochłonności PF sektory te zajmują 2 czołowe miejsca w powyższym zestawieniu, znacznie dystansując się od innych sektorów. Energochłonność PG i energochłonność PF (uwzględniająca pośrednie efekty energetyczne, związane ze wzrostem popytu finalnego na produkty danego sektora) w sektorze paliwowym w roku 2015 wynosiła odpowiednio 25,58 TJ/mln zł oraz 26,92 TJ/mln zł, natomiast w sektorze elektrociepłowniczym 20,97 TJ/mln zł i 23,09 TJ/mln zł. Ciekawe, że w badanym okresie nastąpiła zmiana na pozycji najbardziej energochłonnego sektora w Polsce – w 1996 r. był nim sektor elektrociepłowniczy, natomiast w 2015 r. – sektor paliwowy. Oznacza to, że w latach 1996-2015 energochłonność obu analizowanych rodzajów w sektorze elektrociepłowniczym na ogół malała (w tempie 1,8%/rok dla energochłonności PG i PF), natomiast w sektorze paliwowym na ogół rosła (średniorocznie 3% i 2,8% dla, odpowiednio, energochłonności PG i energochłonności PF – były to najwyższe odnotowane średnioroczne tempa zmian wśród sektorów polskiej gospodarki). Sytuacja ta jest spowodowana utrzymywaniem się trendu spadkowego produkcji globalnej przy na ogół rosnącym zużyciu nośników energii w sektorze paliwowym. Przyczyn tego zjawiska można doszukiwać się w zmianie struktury wytwarzanych paliw transportowych w tym sektorze (wzrost znaczenia LPG, oleju napędowego i paliw lotniczych), jak i również koniecznością zwiększenia ich jakości (m.in. presja na ograniczanie norm emisji). Warto nadmienić, że w sektorze paliwowym średnioroczne tempo zmian energochłonności

Tabela 1. Energochłonność sektorów gospodarki i jej średnioroczne tempo zmian w wybranych podokresach 1996-2015

Sektor *	Energochłonność PG (w TJ/mln zł)				średnie tempo zmian 1996-2000 (%)	średnie tempo zmian 2000-2009 (%)	średnie tempo zmian 2009-2015 (%)	średnie tempo zmian 1996-2015 (%)	Energochłonność PF (w TJ/mln zł)				średnie tempo zmian 1996-2000 (%)	średnie tempo zmian 2000-2009 (%)	średnie tempo zmian 2009-2015 (%)	średnie tempo zmian 1996-2015 (%)
	1996	2000	2009	2015					1996	2000	2009	2015				
RafinKoksow	14,61	14,66	18,26	25,58	0,1	1,3	4,1	3,0	15,93	15,78	19,41	26,92	-0,2	1,2	4,0	2,8
EnElGazCiep	29,57	24,25	21,53	20,97	-4,8	-1,8	0,0	-1,8	32,41	26,51	23,61	23,09	-4,9	-1,8	0,1	-1,8
Transport	7,19	5,33	5,88	4,92	-7,2	-0,7	-1,6	-2,0	10,93	8,62	9,50	9,31	-5,8	-0,4	0,2	-0,8
Chemiczny	9,40	6,83	4,16	3,50	-7,7	-4,7	-3,6	-5,1	13,87	10,40	7,34	6,70	-6,9	-3,5	-1,9	-3,8
GorPozost	2,33	2,01	1,38	2,64	-3,6	-2,3	8,6	0,7	5,56	4,64	3,92	5,44	-4,4	-1,5	4,4	-0,1
PozNiemetal	9,44	4,45	2,95	2,18	-17,1	-5,5	-3,4	-7,4	15,18	8,73	6,78	6,09	-12,9	-3,7	-1,0	-4,7
Papierniczy	5,66	3,43	2,32	1,90	-11,7	-4,8	-3,2	-5,6	9,61	6,43	4,98	4,47	-9,6	-3,4	-1,6	-3,9
Metalurgicz	5,45	4,45	2,16	1,89	-4,9	-6,6	-2,0	-5,4	11,66	9,64	6,90	7,06	-4,6	-3,5	0,3	-2,6
Rolnictwo	2,17	2,35	1,44	1,28	2,1	-4,9	-2,4	-2,7	5,46	5,13	3,81	3,76	-1,6	-3,3	-0,6	-1,9
GorWęgla	2,37	1,88	1,44	1,26	-5,7	-4,2	-1,0	-3,3	5,39	4,30	3,64	3,48	-5,5	-2,8	-0,1	-2,3
Drzewny	2,79	1,52	1,16	1,13	-14,0	-2,7	-0,8	-4,7	6,90	4,66	4,06	4,02	-9,3	-1,9	-0,1	-2,8
GD**	1,92	1,17	0,94	0,84	-11,5	-4,1	-1,8	-4,2	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
WodScieOdp	0,80	0,79	0,79	0,76	-0,3	-0,1	-0,7	-0,3	4,52	3,84	3,55	3,64	-4,0	-1,3	0,4	-1,1
Spozywczy	1,67	0,83	0,48	0,43	-16,1	-5,8	-2,3	-6,9	5,43	3,95	3,08	3,00	-7,7	-3,0	-0,5	-3,1
Napoje	0,93	0,50	0,38	0,37	-14,6	-3,1	0,4	-4,8	4,32	3,12	2,75	2,79	-7,8	-2,0	0,3	-2,3
GumTworSzt	1,22	0,59	0,32	0,30	-16,8	-7,2	-3,0	-7,1	4,78	3,27	2,59	2,51	-9,0	-3,1	-0,7	-3,3
Wlokienniczy	1,06	0,84	0,42	0,30	-5,8	-7,2	-9,0	-6,5	3,52	2,80	2,16	2,01	-5,6	-3,2	-1,9	-2,9
Mieblarski	1,32	0,72	0,18	0,26	-14,0	-13,3	-0,9	-8,2	4,39	2,99	2,14	2,20	-9,2	-3,8	-0,2	-3,6

cd. tabeli 1

Sektor*	Energochłonność PG (w TJ/mln zł)				Energochłonność PF (w TJ/mln zł)				średnie tempo zmian 1996-2015 (%)	średnie tempo zmian 1996-2000 (%)	średnie tempo zmian 2000-2009 (%)	średnie tempo zmian 2009-2015 (%)	średnie tempo zmian 1996-2015 (%)
	1996	2000	2009	2015	1996	2000	2009	2015					
Farmaceut	0,86	0,61	0,28	0,25	-8,1	-8,0	-2,9	-6,2	2,92	2,26	1,80	1,81	-2,9
MaszUrządZIn	1,99	0,85	0,30	0,23	-19,1	-11,5	-4,6	-10,8	4,92	3,08	2,18	2,10	-4,3
PozostProd	1,66	0,55	0,14	0,22	-24,2	-14,9	8,2	-10,1	5,38	3,35	2,67	2,87	-3,3
PozostUsługi	0,24	0,24	0,23	0,21	-0,5	-0,1	-1,6	-0,8	2,27	1,86	1,75	1,76	-1,2
Tytoniowy	0,31	0,23	0,36	0,20	-7,4	5,8	-5,4	-2,4	2,19	1,72	1,67	1,49	-0,8
SprzTransPoz	1,45	0,58	0,31	0,19	-20,5	-8,5	-9,5	-10,2	4,63	3,01	2,39	2,25	-10,2
WyrMetGot	1,35	0,63	0,21	0,16	-17,3	-10,7	-4,7	-10,7	4,66	3,17	2,29	2,21	-3,3
Budownictwo	0,40	0,15	0,29	0,16	-21,4	6,7	-5,9	-4,8	3,64	2,48	2,46	2,45	-3,7
UrządZElektr	2,21	0,85	0,18	0,14	-21,3	-15,6	-5,3	-13,5	4,96	2,92	1,90	1,84	-9,1
Poligraficzny	0,08	0,09	0,13	0,14	3,5	3,9	1,8	2,7	3,44	2,60	2,29	2,21	-12,4
Skorzany	0,82	0,37	0,21	0,13	-18,1	-6,6	-4,3	-9,1	3,36	2,31	1,87	1,76	-5,1
PojazdSam	1,10	0,27	0,13	0,11	-29,8	-9,3	-2,4	-11,6	3,55	2,03	1,64	1,59	-2,0
Odzieżowy	0,27	0,22	0,13	0,09	-4,9	-5,3	-8,2	-5,6	2,09	1,69	1,44	1,39	-3,2
KompElekOpt	0,56	0,25	0,04	0,07	-17,9	-17,0	-3,1	-10,4	2,17	1,46	1,07	1,10	-2,2
NaprawaKons	0,13	0,11	0,09	0,06	-2,3	-2,3	-4,6	-3,5	2,35	1,76	1,49	1,46	-3,8
Gospodarka	2,7	2,0	1,4	1,3	-8,0	-3,1	-0,2	-3,7	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	-7,0
													-2,3
													-0,2
													b.d.
													b.d.

* W niniejszym opracowaniu przez pojęcie „sektor” rozumiemy wydzieloną część gospodarki wytwarzającą dobra lub usługi o podobnym charakterze. Tak rozumie się to określenie w ramach analizy input-output (Miller i Blair, 2009, s. 10).

** W przypadku tej pozycji energochłonność mierzono jako stosunek zużycia nośników energii i konsumpcji indywidualnej.

Legenda: pogrubienie – 5 największych wartości w kolumnie, cieniowanie – 5 najmniejszych wartości w kolumnie, b.d. – brak danych.

PG w kolejnych trzech wybranych podokresach (1996-2000, 2000-2009, 2009-2015) rosło (z 0,1% w latach 1996-2000 do 4,1% w okresie 2009-2015), natomiast w sektorze elektrociepłowniczym obserwowano zmniejszenie tempa spadku energochłonności PG (z 4,8% w okresie 1996-2000 do 0% w latach 2009-2015).

Pozostałymi sektorami o zauważalnie wysokiej energochłonności PG i energochłonności PF w latach 1996-2015 są sektory: transportowy, chemiczny, górnictwo pozostałe, pozostały niemetalowy, papierniczy oraz metalurgiczny. W tych sektorach energochłonność PG w całym badanym okresie malała, poza sektorem górnictwa pozostałego (głównie ropy i gazu oraz metali i minerałów), gdzie tylko za sprawą wzrostu zużycia gazu dystrybucyjnego w r. 2015, średnioroczne tempo zmian w okresie 1996-2015 i 2009-2015 było dodatnie. Na ogół malała również energochłonność PF w analizowanych podokresach badawczych, przy czym tempa spadku energochłonności, z każdym kolejnym podokresem, stawały się coraz wolniejsze. Dodatkowo można zauważyć, że w sektorze pozostałym niemetalowym⁸ energochłonność PF malała w bardzo szybkim tempie w porównaniu z pozostałymi sektorami, wynosząc w okresie 1996-2015 4,7% rocznie.

Z drugiej strony do grupy najmniej energochłonnych sektorów w 2015 r., zarówno pod względem energochłonności PG, jak i energochłonności PF, włączamy sektory: produkcji pojazdów samochodowych, odzieżowy, komputerowo-elektroniczny oraz naprawy i konserwacji maszyn i urządzeń. W przypadku wspomnianych wyżej sektorów, w 2015 r. energochłonność PG nie przekracza 0,11 TJ/mln zł, natomiast energochłonność PF – 1,59 TJ/mln zł. Innymi niskoenergochłonnymi sektorami, o interesującej dynamice zmian energochłonności, są sektory: urządzeń elektrycznych oraz poligraficzny. Pierwszy z nich charakteryzuje się bardzo wysokim tempem spadku wskaźników energochłonności w okresach 1996-2000 oraz 2000-2009, co przełożyło się na najwyższe tempo spadku energochłonności PG i energochłonności PF w latach 1996-2015 wśród wszystkich analizowanych sektorów gospodarki. Z kolei sektor poligraficzny odnotowuje jedno z najwyższych tempo wzrostu energochłonności PG we wszystkich analizowanych podokresach, przy jednoczesnym spadku energochłonności PF. Sugeruje to osłabienie pośrednich efektów energetycznych wzrostu popytu finalnego na produkty tego sektora.

W tabeli 1 powyżej zawarto również dane dotyczące energochłonności PG gospodarstw domowych. Bezpośrednie zużycie nośników energii

⁸ Uwzględnia działalność polegającą m.in. na produkcji wyrobów szklanych, ceramicznych oraz cementu.

przypadające na jednostkę spożycia indywidualnego malało z poziomu 1,92 TJ/mln zł w 1996 r. do poziomu 0,84 TJ/mln zł w tempie 4,2% rocznie. A zatem w badanym okresie gospodarstwa domowe stały się mniej energochłonne, co należy uznać za pozytywny trend. Ów trend można dostrzec również w gospodarce jako całości.

Energochłonność PG w gospodarce zmalała z poziomu około 2,7 TJ/mln zł w 1996 r. do poziomu 1,3 TJ/mln zł w 2015 r., co dało efekt w postaci średniorocznego tempa spadku tego wskaźnika w wysokości 3,7%. Warto przy tym nadmienić, że energochłonność PG polskiej gospodarki malała najszybciej w latach 1996-2000 (w tempie 8% rocznie). W późniejszych podokresach tempo spadku energochłonności znacząco spowolniło (do 3,1% w okresie 2000-2009 oraz 0,2% w okresie 2009-2015). Początkowe, szybkie tempo spadku energochłonności gospodarki było związane ze zmianami strukturalnymi w polskiej gospodarce, spowodowanymi procesem transformacji gospodarczej. Zmieniała się wtedy struktura produkcji globalnej, gdzie energochłonne sektory, takie jak elektrociepłowniczy, paliwowy, metalurgiczny czy chemiczny, zmniejszały swoje udziały w produkcji ogółem na rzecz sektorów charakteryzujących się niską energochłonnością. Niewątpliwie wpływ na spadek energochłonności PG w gospodarce w okresie transformacji miały również zmiany technologiczne i organizacyjne, przede wszystkim w sektorach przetwórstwa przemysłowego. Napływ inwestycji zagranicznych, nowych technologii produkcji oraz presja konkurencyjna ze strony zagranicznych producentów mogły być czynnikami wymuszającymi przejście sektorów na technologie mniej energochłonne. Niemniej przesądzenie o powyższym problemie powinno stanowić przedmiot osobnego badania.

3.2. Emisyjność sektorów polskiej gospodarki

Dostępność danych statystycznych oraz stosunkowo niedawno rozpoczęta budowa bloku danych dotyczących emisji zanieczyszczeń GHG do atmosfery spowodowały, że w analizie emisyjności ograniczono się wyłącznie do CO₂. Należy tu jednak podkreślić, że udział CO₂ w całkowitej emisji krajowej w 2015 r. wynosił około 81% (*Krajowy Raport Inwentaryzacyjny*, 2017, s. 27), zatem analizą objęta jest zdecydowana większość emisji generowanych przez sektory polskiej gospodarki. Emisyjność PG i emisyjność PF sektorów w okresach 1996, 2000, 2009 i 2015 oraz tempa zmian tych wskaźników zgromadzono w tabeli 2.

Najbardziej emisyjnym sektorem w polskiej gospodarce jest naturalnie sektor elektrociepłowniczy. Niemniej jednak jego emisyjność PG i emisyj-

cd. tabeli 2

Sektor	Emisyjność PG (GgCO ₂ /mln zł)				średnie tempo zmian 1996-2000 (%)	średnie tempo zmian 2000-2009 (%)	średnie tempo zmian 2009-2015 (%)	średnie tempo zmian 1996-2015 (%)	Emisyjność PF (GgCO ₂ /mln zł)				średnie tempo zmian 1996-2000 (%)	średnie tempo zmian 2000-2009 (%)	średnie tempo zmian 2009-2015 (%)	średnie tempo zmian 1996-2015 (%)
	1996	2000	2009	2015					1996	2000	2009	2015				
Włókienniczy	0,041	0,033	0,016	0,009	-5,0	-7,7	-12,5	-7,7	0,213	0,165	0,123	0,105	-6,2	-3,6	-2,9	-3,7
GumTworSzt	0,072	0,030	0,011	0,008	-19,5	-11,6	-7,7	-10,8	0,304	0,196	0,140	0,124	-10,4	-4,3	-2,1	-4,6
Farmaceut	0,037	0,024	0,008	0,006	-10,0	-12,4	-4,7	-8,8	0,168	0,122	0,089	0,079	-7,6	-4,1	-1,6	-3,9
Tytoniowy	0,023	0,008	0,015	0,006	-23,3	4,9	-9,0	-6,8	0,144	0,099	0,087	0,071	-9,0	-2,2	-2,4	-3,7
MaszUrza- dzIn	0,121	0,041	0,008	0,006	-23,7	-17,3	-6,2	-14,8	0,313	0,180	0,116	0,102	-13,0	-5,4	-1,9	-5,7
Skorzany	0,057	0,020	0,010	0,006	-22,7	-7,8	-6,5	-11,5	0,223	0,140	0,106	0,090	-10,9	-3,7	-1,9	-4,6
SprzTransPoz	0,062	0,021	0,009	0,005	-23,2	-11,3	-8,5	-12,0	0,271	0,175	0,130	0,114	-10,3	-4,0	-2,0	-4,5
PozostUslugi	0,008	0,008	0,007	0,005	-0,1	-0,4	-4,4	-2,4	0,144	0,111	0,095	0,083	-6,4	-2,3	-1,5	-2,9
WyrMetGot	0,098	0,038	0,009	0,005	-21,4	-14,8	-7,7	-14,4	0,316	0,195	0,127	0,110	-11,4	-4,9	-2,0	-5,4
UrzadzElektr	0,078	0,027	0,005	0,003	-23,7	-17,1	-6,7	-15,2	0,252	0,150	0,100	0,088	-12,1	-4,9	-1,9	-5,4
Odzieżowy	0,015	0,012	0,006	0,003	-6,0	-7,0	-12,3	-7,5	0,138	0,106	0,084	0,073	-6,3	-3,1	-2,4	-3,3
Mieblarski	0,066	0,022	0,003	0,003	-23,9	-19,2	-4,9	-14,5	0,259	0,156	0,109	0,095	-11,9	-4,7	-2,1	-5,2
KompElekOpt	0,027	0,010	0,001	0,003	-21,9	-20,4	1,2	-11,1	0,128	0,082	0,059	0,054	-10,5	-4,2	-1,4	-4,4
Poligraficzny	0,002	0,003	0,003	0,003	0,4	2,5	0,1	0,6	0,210	0,149	0,118	0,105	-8,1	-3,3	-1,5	-3,6
NaprawaKons	0,004	0,004	0,003	0,002	-2,6	-1,9	-3,7	-2,8	0,146	0,102	0,079	0,070	-8,5	-3,3	-1,7	-3,8
PojazdSam	0,056	0,016	0,003	0,002	-26,8	-16,5	-5,5	-16,0	0,214	0,126	0,089	0,077	-12,5	-4,5	-1,7	-5,2
Gospodarka	0,228	0,153	0,111	0,092	-9,5	-4,1	-3,2	-4,7	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.

* W przypadku tej pozycji emisyjność mierzono jako stosunek zużycia nośników energii i konsumpcji indywidualnej.

Legenda: pogrubienie – 5 największych wartości w kolumnie, cieniowanie – 5 najmniejszych wartości w kolumnie, b.d. – brak danych.

ność PF w 2015 r. zauważalnie spadła w porównaniu z 1996 r. Wskaźniki emisyjności malały średniorocznie w tempie 2,7% w okresie 1996-2015, a zatem szybciej aniżeli wskaźniki energochłonności. Jest to wynikiem spadku znaczenia węgla w strukturze zużycia na wsad przemian energetycznych.

Pozostałe sektory gospodarki notują znacznie niższy poziom emisyjności CO₂ niż sektor elektrociepłowniczy. Mimo wszystko można wyróżnić jeszcze sektory o zauważalnie wysokiej emisyjności, a są to sektory: transportu, paliwowy, chemiczny i metalurgiczny. Do ich grona zaliczają się również sektory o wysokiej emisyjności PF, tj. sektor górnictwa pozostałego i sektor pozostały niemetalowy. Konfrontując dane z tablicy 1 z danymi z tablicy 2, zauważamy, że wymienione wyżej sektory notują jednocześnie wysoki poziom energochłonności. Zatem wysokiej energochłonności towarzyszy wysoka emisyjność. Warto także nadmienić, że w przypadku sektora paliwowego, który jest liderem pod względem wysokiej energochłonności PG, a pod względem emisyjności PG zajmuje dopiero trzecie miejsce, przemiany energetyczne ropy naftowej w paliwa transportowe i opałowe nie generują emisji. Natomiast wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła z węgla w sektorze elektrociepłowniczym wiąże się z uwolnieniem dużych ilości CO₂ do atmosfery, bo dochodzi tutaj do spalania nośników energii. Paliwa wytwarzane przez sektor paliwowy są spalane dopiero w sektorze transportu, stąd wysoka, druga pozycja transportu w rankingu najbardziej emisyjnych sektorów. W sektorze paliwowym współczynniki emisyjności, podobnie jak współczynniki energochłonności, w całym badanym okresie rosły w tempie 1,2%/rok i 0,5%/rok odpowiednio dla emisyjności PG i emisyjności PF. Kończąc rozważania na temat najbardziej emisyjnych sektorów, należy jeszcze odnotować bardzo wysokie tempo spadku emisyjności w sektorze pozostałym niemetalowym we wszystkich analizowanych podokresach.

Sektorami o najmniejszej emisyjności PG w 2015 r. były sektory: pojazdów samochodowych, naprawy i konserwacji maszyn i urządzeń, poligraficzny, komputerowo-elektroniczny oraz meblarski. Po uwzględnieniu dodatkowo emisyjności PF do ich grona należy dołączyć również sektor tytoniowy oraz odzieżowy. W sektorze poligraficznym, analogicznie do dynamiki zmian wskaźników energochłonności, nastąpił wzrost współczynnika emisyjności PG przy jednoczesnym spadku emisyjności PF. Wzrost emisyjności PG (w tempie 0,3% rocznie w okresie 1996-2015) był obserwowany również w sektorze wodno-ściekowym.

Gospodarstwa domowe, zużywające ilościowo coraz mniej nośników energii (szczególnie węgla, koksu i paliw opałowych), odnotowały spadek

współczynnika emisyjności w tempie 4,7%/rok w okresie 1996-2015. Największy spadek poziomu emisyjności nastąpił w okresie 1996-2000 i wynosił średniorocznie 15,4%. W ostatnim okresie (2009-2015) spadek ten wynosił już tylko 1,3%/rok.

Z kolei w gospodarce jako całości, podobnie jak w przypadku współczynnika energochłonności, nastąpił spadek emisyjności z poziomu około 0,23 GgCO₂/mln zł w 1996 r. do poziomu około 0,09 GgCO₂/mln zł w 2015 r., co oznaczało średnioroczne tempo spadku emisyjności PG równe 4,7% (podobnie jak u gospodarstw domowych). Wobec tego tempo spadku emisyjności gospodarki jest o 1 p.p. wyższe od tempa spadku energochłonności gospodarki. Można zatem powiedzieć, że w gospodarce następuje pozytywna zmiana w strukturze zużywanych nośników energii, gdyż przekłada się ona na szybszy spadek emisyjności niż energochłonności.

4. Podsumowanie

Przeprowadzona analiza energochłonności i emisyjności sektorów polskiej gospodarki pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

1. Energochłonność i emisyjność w sektorach polskiej gospodarki na ogół malała. Rzutuje to na ujemne tempo wzrostu energochłonności i emisyjności gospodarki jako całości. W gospodarce szybciej maleje współczynnik emisyjności PG aniżeli współczynnik energochłonności PG. Zjawisko spadku energochłonności i emisyjności gospodarki jest pozytywne, jednak z każdym kolejnym podokresem maleje ono w coraz wolniejszym tempie.

2. Do grona najbardziej energochłonnych i najbardziej emisyjnych sektorów polskiej gospodarki zaliczamy: sektory energetyczne (paliwowy i elektrociepłowniczy), transport, sektor chemiczny i metalurgiczny. Najmniej energochłonne i najmniej emisyjne są sektory: pojazdów samochodowych, naprawy i konserwacji maszyn i urządzeń, poligraficzny, komputerowo-elektroniczny oraz odzieżowy.

3. W okresie badania nastąpiła zmiana na pozycji lidera pod względem odnotowywanego poziomu energochłonności. Sektor elektrociepłowniczy ustąpił miejsca sektorowi paliwowemu. Sektor paliwowy, jako jeden z nielicznych sektorów, cechował się wzrostem energochłonności i emisyjności w badanym okresie. Nie jest to zjawisko pozytywne i jest przeciwne do ogólnie panującego trendu.

4. Zarówno energochłonność, jak i emisyjność PF jest większa od energochłonności i emisyjności PG, gdyż dodatkowo uwzględnia efekty po-

średnie wzrostu zapotrzebowania na produkty danego sektora o jednostkę. Jeżeli energochłonność/emisyjność PG rośnie, a energochłonność/emisyjność PF maleje, to dochodzi do osłabienia owych efektów.

5. Rezultaty niniejszego badania mogą mieć zastosowanie w polityce gospodarczej. Dla danego sektora lub grupy sektorów śledzenie zmian wartości współczynników energochłonności i emisyjności w czasie pozwala na określenie, w jakim stopniu zmieniały się one pod wpływem stosowania konkretnych narzędzi polityki gospodarczej (np. zmiana wysokości podatku od emisji zanieczyszczeń, kształtowanie pożądanej struktury zużycia energii). Co więcej, włączenie współczynników energochłonności i emisyjności do modelu input-output umożliwia przeprowadzenia symulacji dla określonych scenariuszy kształtowania się przyszłej polityki gospodarczej, a to z kolei daje możliwość wcześniejszego przewidywania skutków realizacji tej polityki w sektorach gospodarki.

Bibliografia

- Bebkiewicz, K., Dębski, B., Kanafa, M., Kargulewicz, I., Olecka, A., Rutkowski, J., ..., Żaczek, M. (2014). *Dezagregacja wskaźników ze strategii Europa 2020 na poziom NTS 2: opracowanie metodyki i oszacowanie emisji zanieczyszczeń do powietrza wybranych substancji (gazów cieplarnianych oraz ich prekursorów) na poziomie wojewódzkim*. Warszawa: Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy (IOŚ-PIB) oraz Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE).
- Bielak, R., Bieniek, M. i Wojciechowska, E. (2009). Polska Klasyfikacja Działalności 2007 – wdrażanie i konsekwencje zmian. *Wiadomości Statystyczne*, (6), 27-40.
- Bilans przepływów międzygałęziowych w bieżących cenach bazowych w 2010 r.* (2014). Warszawa: Główny Urząd Statystyczny (GUS).
- Blok, K. (2007). *Introduction to energy analysis*. New York: Routledge.
- Boratyński, J., Plich, M. i Przybyliński, M. (2010). Krótkookresowe efekty zmian cen energii w polskiej gospodarce. *Studia Prawno-Ekonomiczne*, (82), 217-240.
- Efektywność wykorzystania energii*. (2016). Warszawa: Główny Urząd Statystyczny (GUS).
- European Environment Agency: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps>
- Eurostat: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/data/main_tables
- Gospodarka paliwowo-energetyczna*. (1997-2017). Warszawa: Główny Urząd Statystyczny (GUS).

- International Energy Agency: http://www.iea.org/statistics/topics/CO2emissions/Klucz_powiazan_PKD_2007_a_PKD_2004. (b.d.). Pobrane z http://stat.gov.pl/Klasyfikacje/doc/pkd_07/pdf/5_pkd-klucz_2007-2004.pdf
- Kott, J., Kott, M. i Szalbierz, Z. (2012). Wskaźniki energochłonności w przemyśle. *Zarządzanie i Finanse*, 10(1), cz. 2, 585-593.
- Krajowa inwentaryzacja emisji i pochłaniania gazów cieplarnianych za rok 2008. (2010). KASHUE-KOBIZE, Raport na potrzeby Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu oraz Protokołu Kioto.
- Krajowy Raport Inwentaryzacyjny. Inwentaryzacja gazów cieplarnianych w Polsce. (2016, 2017). Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBIZE), Raport na potrzeby Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu oraz Protokołu Kioto.
- Krzysztofik, B. i Łapczyńska-Kordon B. (2008). Analiza energochłonności wybranych wyrobów piekarskich. *Inżynieria Rolnicza*, 1(99), 209-215.
- Michalak, P. (2009). *Badania efektywności energetycznej budynku użyteczności publicznej wykorzystującego odnawialne źródła energii*. (Praca doktorska). Kraków: Akademia Górniczo-Hutnicza. Pobrane z <https://docplayer.pl/18-235312-Akademia-gorniczo-hutnicza-im-stanislawa-staszica-w-krakowie-wydzial-inzynierii-mechanicznej-i-robotyki-rozprawa-doktorska.html>
- Miller, R. i Blair, P. (2009). *Input-output analysis. Foundations and extensions*. New York: Cambridge University Press.
- Nodzyński, R. (2009). Energochłonność i elektrochłonność gospodarki oraz emisyjność CO₂ w 27 państwach członkowskich UE na tle poziomu ekonomicznego tych państw oraz wymagań ograniczenia wzrostu zużycia energii i emisji CO₂. *Energetyka*, 11, 731-737.
- Odysse-Mure: <http://www.indicators.odyssee-mure.eu/energy-efficiency-database.html>
- Patterson, G. M. (1996). What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues. *Energy Policy*, 24(5), 377-390.
- Piskier, T. (2008) Analiza efektywności energetycznej proekologicznych sposobów ograniczania zachwaszczenia parzenicy jarej. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 54(4), 37-39.
- Plich, M. (2007). Modeling economic and social impacts of energy prices in the Polish economy. W: M. Plich i M. Przybyliński (red.), *Recent developments in INFORUM-type Modeling* (s. 53-68). Łódź: Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego.
- Plich, M. (2011). Sectoral impact of EU2020 targets on the Polish economy. W: T. Hasegawa i M. Ono (red.), *Interindustry based analysis of macroeconomic forecasting, institute for international trade and investment* (s. 42-61). Tokyo: Conningrath Consulting Economists.
- Plich, M. (2013). Determinants of modelling the impact of possible shale gas extraction in Poland. W: R. Bardazzi i L. Ghezzi (red.), *Macroeconomic modelling for policy analysis* (s. 245-270). Firenze: Firenze University Press.

- Plich, M. (2015). The impact of possible shale gas extraction on the Polish economy. W: D. S. Meade (red.), *In quest of the craft: Economic modeling for the 21st century* (s. 79-102). Firenze: Firenze University Press.
- Plich, M. i Skrzypek, J. (2016). Trendy energochłonności sektorów polskiej gospodarki w latach 1996-2012. *Wiadomości Statystyczne*, 7, 16-38.
- Raport dotyczący kluczowych polskich energochłonnych przemysłów, z identyfikacją ograniczeń we wdrażaniu efektywności energetycznej w zakładach oraz opracowaniem rozwiązań dla tych przemysłów.* (2008). Warszawa: Krajowa Agencja Poszanowania Energii (KAPE).
- Rocznik statystyczny przemysłu.* (1997-2017). Warszawa: Główny Urząd Statystyczny (GUS).
- Rocznik statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej.* (1997-2017). Warszawa: Główny Urząd Statystyczny (GUS).
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 517/2014 z dnia 16 kwietnia 2014 r. (Dz.U. UE L.2014.150.195) w sprawie fluorowanych gazów cieplarnianych i uchylenia rozporządzenia (WE) nr 842/2006.
- Sadowska, I. (2015). *Metody analizy energochłonności w przemyśle*. Politechnika Gdańska. (Autoreferat rozprawy doktorskiej). Pobrane z <http://eia.pg.edu.pl/documents/10623/30567653/Autoreferat%20%20Izabela%20Sadowska.pdf>.
- Skrzypek, J. (2017) Projections of primary energy use in Poland by 2030. W: D. Appenzeller (red.), *Matematyka i informatyka na usługach ekonomii* (s. 124-141). Poznań: Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu.
- Transformacja w kierunku gospodarki niskoemisyjnej w Polsce.* (2011). Waszyngton: Bank Światowy.
- Wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO₂ (WE) w roku 2012 do raportowania w ramach Wspólnotowego Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2015.* (2014). Warszawa: Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE).
- World trends in energy use and efficiency. Key insights from IEA Indicator Analysis.* (2008). Tokyo: International Energy Agency (IEA).
- Wskaźniki emisyjności CO₂, SO₂, NO_x, CO i TSP dla energii elektrycznej na podstawie informacji zawartych w Krajowej bazie o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji za 2015 rok.* (2017b). Warszawa: Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE).
- Zajac, P. (2011). Metoda obniżenia energochłonności pracy wózka widłowego. *Logistyka*, 6, 4057-4065.
- Zasady metodyczne sprawozdawczości statystycznej z zakresu gospodarki paliwami i energią oraz definicje stosowanych pojęć.* (2006). Warszawa: Główny Urząd Statystyczny (GUS).
- Zjawisko ucieczki emisji w sektorach energochłonnych w Polsce w kontekście zmian wprowadzanych w systemie EU ETS na lata 2013-2020.* (2009). Warszawa: Krajowy Administrator Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji (KASHUE).
- Żurawski, J. (2008). Energochłonność budynków mieszkalnych. *Izolacje*, 2, 26-29.