

**Zbigniew Dokurno**

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu

## **ENERGETYCZNE UWARUNKOWANIA ENDOGENICZNEGO WZROSTU GOSPODARCZEGO**

### **1. Wstęp**

Współczesna ekonomia opiera się na kilku równoważnych paradygmatach, wyznaczających kierunki jej rozwoju. Jednym z nich jest paradygmat zrównoważonego rozwoju, który po włączeniu szeroko pojętego kapitału przyrodniczego przybrał postać rozwoju zrównoważonego ekologicznie. Z tak sformułowanego paradygmatu wynika wiele imperatywów, zarówno klasycznych w postaci: wzrostu gospodarczego, dobrobytu itp., jak i heterodoksyjnych przybierających postać: sprawiedliwości międzypokoleniowej, zachowania środowiska dla przyszłych pokoleń, dobrobytu uwzględniającego czas wolny, rozwój instytucji, wolności obywatelskich itp. Jednym z kluczowych czynników warunkujących wzrastanie na ścieżce rozwoju zrównoważonego ekologicznie są odpowiednie co do ilości i dostępności zasoby energii, stanowiące jednocześnie warunek konieczny do spełnienia większości imperatywów. Tym samym energia staje się ważnym obszarem badawczym współczesnej ekonomii. W niniejszym artykule autor podejmuje próbę przedstawienia energii jako fizycznego czynnika produkcji za pomocą neoklasycznej funkcji produkcji wpisanej w autorski model endogenicznego wzrostu gospodarczego uwarunkowanego energetycznie. W rezultacie ukazuje związki między zrównoważonym wzrostem gospodarczym a wzrostem energii w procesie gospodarowania. Dokonując rozróżnienia na energię pośrednią (produkcyjną) i finalną (konsumpcyjną), pokazuje możliwości wzrostu gospodarczego opartego na produkcji energii, jako dobra nadwyżkowego. Tym samym próbuje dowieść, iż to, co jest barierą w jednej gospodarce (energochłonnej), w innej (energooszczędnej) może stanowić istotne źródło wartości dodanej. Dodatkowo, podejmując problem tzw. zielonej energii, stara się wykazać, iż ten rodzaj energii w pewnych okolicznościach może istotnie ograniczać dynamikę wzrostu gospodarczego. W rezultacie

poszczególne pytania i problemy prowadzą autora do pytania zasadniczego: czy w konkretnych okolicznościach gospodarczych istniejące zasoby energii są w stanie efektywnie zapewnić stan równowagi dynamicznej danej gospodarki? Pozytywna odpowiedź na takie pytanie stwarza realną szansę na rozwój zrównoważony ekologicznie.

## 2. Energia jako fizyczny i ekonomiczny czynnik produkcji

Klasyczny podział czynników produkcji wyodrębnia: ziemię, pracę oraz kapitał jako zasadnicze składniki procesu gospodarowania. W obrębie poszczególnych kategorii dokonuje się dalszych podziałów w zależności od stopnia identyfikacji poszczególnych subkategorii w procesie tworzenia wartości dodanej. W odniesieniu do ziemi podział ten obejmuje: ziemię *sensu stricto* oraz kapitał przyrodniczy *sensu largo*. W przypadku pracy klasyfikacja tego czynnika produkcji zawiera: pracę fizyczną wykorzystywaną do produkcji dóbr finalnych, pracę zaangażowaną do produkcji dóbr pośrednich (technologii) oraz pracę wykorzystywaną w tworzeniu kapitału ludzkiego. Jedną z najbardziej esencjonalnych definicji kapitału ludzkiego określa go jako zdolność do tworzenia i wykorzystywania dóbr pośrednich [4]. Z kolei stratyfikacja kapitału obejmuje: klasyczny kapitał fizyczny (maszyny, urządzenia, nieruchomości, technologie itp.), kapitał ludzki, a ostatnio także kapitał społeczny. W skrócie istota kapitału społecznego zawiera się w zdolności do współpracy generującej powszechną korzyść zewnętrzną<sup>1</sup>.

Analiza kapitału przyrodniczego w szerokim znaczeniu wyodrębnia [3] następujące czynniki: surowce, bioróżnorodność zasobów fauny i flory, zdolności asymilacyjne ekosystemów, walory klimatyczne, wartości niematerialne w postaci piękna krajobrazu. W obrębie kapitału przyrodniczego pojawia się także miejsce dla energii jako czynnika produkcji. **Energia** w sensie fizycznym oznacza **aktualną lub potencjalną zdolność do wykonywania pracy** [2]. Stanowi tym samym spoiwo gospodarczej alokacji pozostałych czynników produkcji w procesie tworzenia wartości dodanej. W analizie energii kluczowe znaczenie odgrywa pojęcie entropii oraz entalpii. **Entropia** w odniesieniu do energii określa zdolność do pozyskania odpowiednio użytecznej gospodarczo formy energii. Im wyższy poziom entropii danych zasobów energii, tym trudniejsze, a przez to mniej opłacalne ekonomicznie, staje się jej pozyskanie. Z kolei **entalpia** oznacza pewną złożoną funkcję zdefiniowaną jako [1, s. 101]:

$$H = U + pV, \quad (1)$$

---

<sup>1</sup> Kapitał społeczny definiuje się także jako stopień zorganizowania społeczeństwa, charakteryzowany przez sieć organizacji, zbiór norm oraz zaufanie, które służą współpracy, wzajemnym korzyściom oraz tworzą potencjał do rozwiązywania problemów społecznych i ekonomicznych [9]. W innym ujęciu kapitał społeczny to zdolność społeczeństwa do koordynowania podmiotów społecznych w ramach projektu wspólnego, oparta na kulturze dobra wspólnego [4, s. 189-201].

gdzie:  $U$  – energia wewnętrzna,

$p$  – ciśnienie,

$V$  – objętość.

Dla infinytezymalnej zmiany stanu otrzymuje się:

$$dH = dU + pdV + Vdp. \quad (2)$$

Pierwsza zasada termodynamiki sformułowana dla infinytezymalnej zmiany stanu wyraża się w następującej postaci:

$$\delta Q = dU + dW. \quad (3)$$

Zależność (3) oznacza, iż ilość ciepła  $\delta Q$  dostarczona do układu jest wykorzystywana na przyrost energii wewnętrznej  $dU$  oraz wykonanie pracy  $dW$ . W przypadku quasi-statycznego procesu odwracalnego, dla którego jedyną formą pracy jest powiększanie objętości, otrzymujemy:

$$dW = pdV. \quad (4)$$

W rezultacie zależność (3) przybierze postać:

$$\delta Q = dU + pdV. \quad (5)$$

Wstawiając (5) do (2), otrzymujemy istotną formułę opisującą przyrost entalpii:

$$dH = \delta Q + Vdp. \quad (6)$$

Jeśli w danym procesie mamy do czynienia ze stałą objętością  $V$ , to wówczas na podstawie (5) otrzymujemy wzrost energii wewnętrznej danego układu wskutek przyrostu ciepła  $\delta Q$  dodanego do niego. W przypadku znacznie częstszych procesów izobarycznych ( $dp = 0$ ) przyrost ciepła<sup>2</sup>  $\delta Q$  w układzie spowoduje odpowiadający mu przyrost entalpii (6). Zjawisko to zachodzi także podczas reakcji chemicznych oraz przemian fazowych (parowania, kondensacji, topnienia itp.). Tym samym możemy przyjąć **entalpię jako miernik zakumulowanej wartości energetycznej**. Przykładem są wartości opałowe paliw kopalnych, opisujące zmianę entalpii na kg, a tym samym wartość uwolnionej energii ( $-\Delta H$ ).

Dopełnieniem pojęć entropii oraz entalpii w analizie energii jako fizycznego czynnika produkcji jest pojęcie **egzergii**. Jest ona rozumiana jako maksymalna zdolność materii do wykonania pracy w danym otoczeniu. Tym samym egzergia charakteryzuje zdolność do uwalniania energii. W praktyce pojęcie to związane jest ze sprawnością procesów fizycznych, np. spalania. Formalnie egzergię można przedstawić w postaci następującego równania:

---

<sup>2</sup> Należy podkreślić, iż entalpia  $H$  jest funkcją dobrze zdefiniowaną, podczas gdy ciepła  $Q$  nie można zdefiniować. Stąd też ciepło dodane  $\delta Q$  nie ma postaci różniczki zupełnej, a dodana entalpia  $dH$  postać takiej różniczki przybiera.

$$B = W + T_0 (\Delta S)_{UA}, \quad (7)$$

gdzie:  $W$  – praca,

$T_0$  – temperatura atmosfery,

$\Delta S_{UA}$  – zmiana entropii w relacji układ–atmosfera.

Jak widać, zależność (7) opisująca egzergię  $B$  wyraża ją jako: maksymalną do uzyskania pracę, zachodzącą na dowolnej drodze i prowadzącą do określonego stanu końcowego, który pozostaje w stanie równowagi termodynamicznej z atmosferą [1, s. 110-112].

Podsumowując przedstawiony szkic fizycznej natury energii, z perspektywy ekonomicznej należy podkreślić, iż zasoby energii o wysokim poziomie entropii oraz niskim poziomie entalpii, a także odznaczające się niską egzergią implikują wysokie koszty pozyskania energii, a tym samym osłabiają dynamikę wzrostu gospodarczego.

### 3. Energia jako element endogenicznego wzrostu gospodarczego

Wyjaśnienie fizycznej natury energii pozwala lepiej zrozumieć jej rolę jako czynnika produkcji oraz zmiennej ekonomicznej w procesie tworzenia wartości dodanej. Proces ten w sformalizowanym ujęciu matematycznym można modelować za pomocą neoklasycznej funkcji produkcji typu Cobba–Douglasa. Autorska propozycja opiera się na modelu endogenicznego wzrostu gospodarczego P.M. Romera [6; 7]. Modyfikacja wprowadzona przez autora artykułu polega na wprowadzeniu do modelu Romera energii jako czynnika produkcji, traktowanego endogenicznie. Tym samym w ramach analizy dynamicznej modelu można wyznaczyć stopę wzrostu wszystkich zmiennych endogenicznych, odpowiadającą stopie wzrostu gospodarczego na ścieżce zrównoważonego wzrostu. W rezultacie, mając wyznaczoną stopę wzrostu energii odpowiednią do dynamiki wzrostu gospodarczego, jesteśmy w stanie odpowiedzieć na pytanie: czy w warunkach ograniczonej dostępności do danych zasobów energii jesteśmy w stanie poruszać się po ścieżce zrównoważonego wzrostu? Dodatkowo, nakładając na to ograniczenia ekologiczne, możemy uzyskać odpowiedź na pytanie o możliwości poruszania się po ścieżce wzrostu zrównoważonego ekologicznie. Prezentowany model przybiera następującą postać.

1. W gospodarce istnieje skończony, stały w czasie, zasób kapitału ludzkiego  $H$ , który dzieli się na kapitał ludzki zaangażowany w działalność produkcyjną  $H_Y$  oraz działalność naukowo-techniczną  $H_A$ . Zatem:

$$H = H_Y + H_A. \quad (8)$$

2. Zasób wiedzy naukowo-technicznej  $A$  zmienia się w czasie według następującego równania różniczkowego:

$$A'(t) = \hat{\sigma} H_A A, \quad (9)$$

gdzie:  $\hat{\sigma} > 0$  – współczynnik efektywności nakładów kapitału ludzkiego w sferze naukowo-technicznej (im wyższa wartość współczynnika  $\hat{\sigma}$ , tym wyższa stopa wzrostu wiedzy naukowo-technicznej  $g_A = \frac{A'(t)}{A(t)}$ , odpowiadająca temu samemu nakładowi kapitału ludzkiego  $H_A$  w sferze naukowo-technicznej).

3. Strumień produkcji  $Y$  opisuje następująca, rozszerzona funkcja produkcji typu Cobba–Douglasa:

$$Y = \left( \sum_{l=1}^n \left( \int_0^{\infty} [E_{(k,l)}]^{\chi} dE \right) \right) H_Y^{\beta} L^{\alpha} \int_0^A [x(i)]^{1-\alpha-\beta-\chi} di, \quad (10)$$

gdzie:  $x(i)$  –  $t$  nakład  $i$ -tego dobra kapitałowego ( $i \in [0, A]$ ), co oznacza, że ilość dóbr kapitałowych w gospodarce (czyli  $i$ ) zależy od istniejącego w niej zasobu wiedzy naukowo-technicznej  $A$ ,

$\alpha, \beta, \chi(1 - \alpha - \beta - \chi) \in (0, 1)$  – elastyczności  $Y$  względem  $L, H_Y, E_{k,l}$  oraz  $x(i)$ ,

$E_{(k,l)}$  – nakład energii wynikający z eksploatacji zasobów energetycznych o określonym poziomie entalpii ( $k$ ) oraz egzergii ( $l$ );  $k \in [0, H_{\max}]$ ,  $l \in [0, B_{\max}]$ ,

$n$  – liczba różnych źródeł zasobów energii wykorzystywanych w danym okresie w wytwarzaniu produktu  $Y$ .

Przedstawiona funkcja produkcji różni się od typowych funkcji produkcji założeniem o stopniu, w jakim poszczególne dobra kapitałowe są substytutami w procesie produkcji. W tradycyjnym ujęciu funkcji produkcji łączny kapitał  $K$  jest *implicit* definiowany jako wielkość proporcjonalna do sumy poszczególnych dóbr kapitałowych, które są doskonałymi substytutami. Z kolei w przedstawionej funkcji produkcji (1.10) poszczególne dobra kapitałowe  $x(i)$ , wchodzące w skład zagregowanego kapitału  $K$ , mogą charakteryzować się różnymi produktywnościami krańcowymi, a zatem nie są doskonałymi substytutami w tworzeniu produktu  $Y$ , co doskonale oddaje wprowadzenie całki oznaczonej w obszarze  $[0, A]$ . W podobny sposób należy rozumieć interpretację energii jako czynnika produkcji. W konkretnej gospodarce, w danej chwili korzysta się z zasobów różnych źródeł energii o określonej efektywności wyrażonej fizycznymi kategoriami entalpii oraz egzergii. Stąd też dogodnie jest przedstawić całkowity strumień energii w postaci sumy całek z różnych źródeł energii.

4. W gospodarce przyjmuje się stały zasób pracy w czasie, wynoszący  $L > 0$ . Zatem stopa wzrostu zasobu siły roboczej  $n = 0 = \text{constans}$ .

5. Celem działania gospodarki jest maksymalizacja sumy zdyskontowanej użyteczności konsumpcji w postaci:

$$\int_0^{\infty} \frac{[C(t)]^{1-\gamma} - 1}{1-\gamma} e^{-\rho t} dt \quad (11)$$

gdzie:  $C(t)$  – zagregowana konsumpcja w gospodarce,  
 $\gamma \in (0;1)$  – odwrotność stopy międzyokresowej substytucji konsumpcji,  
opisująca względną awersję do ryzyka danego podmiotu,  
 $\rho \geq 0$  – stopa dyskontowa typowego podmiotu w gospodarce.

6. Problem znalezienia równowagi w tak opisaney gospodarce sprowadza się do maksymalizacji całki (1.11), w warunkach ograniczeń opisanych następującym układem równań różniczkowych determinujących przyrosty zasobów: wiedzy naukowo-technicznej  $A$ , kapitału  $K$  oraz energii  $E$ :

$$A'(t) = \hat{\sigma} H_A A,$$

$$K'(t) = Y - C = \left( \sum_1^n \left( \int_0^{\infty} [E_{(k,l)}]^{\chi} dE \right) H_Y^{\beta} L^{\alpha} \int_0^A [x(i)]^{1-\alpha-\beta-\chi} di - C \right), \quad (12)$$

$$E'(t) = \sum_1^n \left( \int_0^{\infty} [A'_E(t) E'_{(k,l)}(t)] dt \right). \quad (13)$$

Zależność (13) pokazuje, iż możliwości wzrostu potencjału energetycznego wynikają z postępu technologicznego w dziedzinie energetyki, wyrażonego w postaci zmiennej  $A'_E$  oraz dodatkowo zależą od tempa eksploatacji dotychczasowych źródeł zasobów energii ( $E'_{(k,l)}$ ). Tym samym model potwierdza endogeniczny charakter energii jako czynnika produkcji.

7. W modelu problem optymalizacji rozwiązuje się, poszukując rozwiązania spełniającego warunki wzrostu zrównoważonego. Wzrostem zrównoważonym określa się zjawisko długookresowej równowagi spełniające warunek równości stóp wzrostu wszystkich zmiennych. W rozpatrywanym modelu warunek ten przybiera następującą postać:

$$g = \frac{Y'(t)}{Y(t)} = \frac{E'(t)}{E(t)} = \frac{K'(t)}{K(t)} = \frac{C'(t)}{C(t)} = \frac{A'(t)}{A(t)} = \hat{\sigma} H_A. \quad (14)$$

8. W świetle równania (14) widać, iż stopa wzrostu tak wymodelowanej gospodarki będzie zależała od zasobu kapitału ludzkiego kierowanego do sfery naukowo-technicznej  $H_A$  oraz od wartości współczynnika efektywności nakładów kapitału ludzkiego w sferze naukowo-technicznej  $\hat{\sigma}$ . W takiej gospodarce kluczowe znaczenie ma kapitał ludzki, zatrudniony w sektorze badawczo-rozwojowym. O wzroście gospodarczym decyduje jego potencjał zarówno ilościowy, jak i jako-

ściowy. Skutkiem pracy sektora B + R jest wiedza, także ta technologiczna (A). Wyzwała ona przełomy technologiczne, m.in. w sektorze energii, oraz umożliwia odkrywanie nowych źródeł wzrostu, które w przypadku sektora energetycznego przybierają postać nowych źródeł zasobów energii.

#### **4. Energia jako dobro produkcyjne i konsumpcyjne**

Spełnienie warunku wzrostu równomiernego (14) może implikować dynamikę produkcji energii na poziomie przekraczającym możliwości produkcyjne danej gospodarki w tym zakresie. Zatem do zachowania dynamicznej równowagi w gospodarce niezbędne staje się zbilansowanie niedoboru energii, w postaci jej importu. To z kolei oznacza, iż w przypadku niektórych gospodarek pojawiają się możliwości eksportowe, stymulujące wzrost gospodarczy oparty na produkcji energii jako dobra finalnego. Energia jako atrakcyjny ekonomicznie zasób wartości dodanej może generować istotny finansowo strumień wartości w procesie tworzenia zagregowanego produktu. Ekonomiczna atrakcyjność wyznaczona jest przez fizyczne parametry źródeł energii, pozostające w związku z postępowaniem naukowo-technicznym w tej dziedzinie. Współcześnie w dobie zagrożenia wzrostu gospodarczego wielu państw deficytem energetycznym warto rozważać możliwości intensyfikacji prac w sektorze B + R ukierunkowanych na efektywną eksploatację zasobów energii. W procesie tworzenia wartości dodanej należy wyraźnie oddzielić energię finalną (konsumpcyjną) od energii pośredniej (produkcyjnej). Ta ostatnia jest zużywana w tym procesie, przyczyniając się do wzrostu negatywnego zjawiska w postaci energochłonności gospodarki. Jednocześnie ogranicza potencjał handlowy związany z energią finalną. Stąd też w ramach wzrostu ekologicznie zrównoważonego formułuje się postulat energooszczędności, kładąc nacisk na odnawialne źródła energii.

#### **5. „Zielona” energia jako próba równoważenia ekonomii z ekologią**

Współczesna ekonomia opiera się na kilku równoważnych paradygmatach, wyznaczających kierunki jej rozwoju. Jednym z nich jest paradygmat zrównoważonego rozwoju, który po włączeniu szeroko pojętego kapitału przyrodniczego przybrał postać rozwoju zrównoważonego ekologicznie. W odniesieniu do energii jako czynnika produkcji postulat rozwoju zrównoważonego ekologicznie wskazuje na konieczność pozyskiwania jej z odnawialnych źródeł oraz kieruje w stronę zasobów energetycznych generujących niski poziom entropii, w trakcie uwalniania energii. W rezultacie, oprócz klasycznych źródeł energii, mamy do czynienia ze źródłami alternatywnymi. Pełna klasyfikacja źródeł energii pierwotnej wygląda następująco [4, s. 25-62]:

1. Kopalne paliwa organiczne (węglowodorowe):
  - a) węgiel,
  - b) ropa,

- c) gaz ziemny,
  - d) łupki<sup>3</sup> i piaski bitumiczne<sup>4</sup>.
2. Odnawialne źródła energii:
- a) biomasa,
  - b) hydroenergia,
  - c) energia wiatru,
  - d) energia maredynamiczna (pływów oraz fal morskich),
  - e) energia maretermiczna,
  - f) energia promieniowania słonecznego (baterie termiczne, ogniwa fotowoltaiczne).
3. Ziemskie źródła energii jądrowej:
- a) energia geotermalna,
  - b) rozszczepienie jąder atomowych,
  - c) jądrowa fuzja wysokotemperaturowa.

Wymienione bogactwo źródeł energii pozwala spokojnie patrzeć w przyszłość naszej cywilizacji, o ile zostaną opanowane ekonomicznie opłacalne technologie pozyskiwania energii z tych źródeł. Nadużywany często mechanizm publicznego subsydiowania rozwoju niektórych technologii produkcji energii, osłabia rynkowy mechanizm alokacji dostępnych zasobów wspierający tworzenie najwyższej wartości dodanej w gospodarce. Przykładem może być subsydiowanie produkcji biopaliw w sposób istotny osłabiające rynek produkcji żywności. Także nieprzemysłany, subsydiowany rozwój energetyki wiatrowej stwarza rozliczne koszty zewnętrzne – zarówno rynkowe, jak i pieniężne. Również działania w sektorze produkcji biomasy (produkcja słomy, wierzby energetycznej, egzotycznych roślin energetycznych itp.) stwarzają wymierne niekorzyści zewnętrzne w postaci: naruszenia istniejącej równowagi ekologicznej w obrębie plantacji, istotnego obniżenia lustra wód gruntowych (erozja gleby) oraz wysokich kosztów ekologicznych i ekonomicznych transportu (np. lekkiej słomy). Dotowanie tego typu działalności w sposób istotny może utrzymywać nieefektywne technologie w procesie gospodarowania, przyczyniając się do spadku dobrobytu mierzonego poziomem konsumpcji, osłabianej rosnącymi podatkami zasilającymi wspomniane subsydia. Tym samym może ulec osłabieniu dynamika wzrostu gospodarczego. Państwo, które nie tworzy dóbr publicznych, ale

---

<sup>3</sup> Łupki bitumiczne są łupkami ilastymi zawierającymi ziarna kerosenu. W wyniku destylacji w temperaturze 500 °C otrzymuje się z nich olej skalny o własnościach zbliżonych do ropy naftowej. Jeśli dany zasób łupków zawiera w przeliczeniu na tonę powyżej 40 litrów możliwych do uzyskania węglowodorów, to stwarza perspektywę ekonomicznie opłacalnej eksploatacji. W skali światowej wartość energetyczna łupków przewyższa kilkakrotnie rozpoznane zasoby ropy naftowej. Czołowi producenci oleju skalnego to: Rosja (40 mln ton rocznie) i Chiny (6 mln ton rocznie). Światowe zasoby oleju skalnego w łupkach bitumicznych ocenia się na ok. 400-500 gigaton [4, s. 32].

<sup>4</sup> Piaski bitumiczne tak jak łupki zawierają węglowodory w postaci ziaren kerogenu. Globalne zasoby oleju skalnego uzyskiwanego z tych piasków szacuje się na ok. 400-700 gigaton [4, s. 32].



jedynie dokonuje pewnych transferów w sektory o wątpliwej wartości dodanej, w istocie marnotrawi publiczne środki, które wskutek efektu wypychania mogłyby zasilić rynek prywatnych inwestycji. Ekologia jako nośna społecznie idea tworzy wyrafinowany parasol ochronny do tego typu nieprzemyślanych i często nieefektywnych działań. Jedyne wyczerpująca analiza kosztów i korzyści uwzględniająca internalizację efektów zewnętrznych jest w stanie dostarczyć pełnej odpowiedzi na temat sensu konkretnych inwestycji, w szczególności tzw. inwestycji proekologicznych.

## 6. Podsumowanie

Czy w konkretnych okolicznościach gospodarczych istniejące zasoby energii są w stanie efektywnie zapewnić stan równowagi dynamicznej danej gospodarki? Pytanie to podsumowuje refleksję przedstawioną w artykule. Pozytywna odpowiedź na tak sformułowane pytanie zależy od dynamiki wzrostu sektora energetycznego, uzależnionej od postępu technologicznego oraz od ekonomicznych możliwości intensyfikacji eksploatacji dotychczasowych źródeł energii opisanych fizycznymi parametrami w postaci entalpii i egzergii. Ponadto należy podkreślić, iż stan równowagi dynamicznej jest wyznaczony przez pozostałe zmienne endogeniczne. Jeśli poziom ich rozwoju w danej gospodarce będzie poniżej poziomu rozwoju sektora energetycznego, równowaga dynamiczna nie powinna być zagrożona. W takich okolicznościach sektor energetyczny jako dominujący w tworzeniu wartości dodanej może swoimi nadwyżkami istotnie wpływać na poziom eksportu. Problem utrzymania stanu równowagi dynamicznej w gospodarce może się pojawić, kiedy struktura technologiczna sektora energetycznego nie stworzy potencjału do utrzymania tempa wzrostu gospodarczego. Dodatkowo w sytuacji nałożenia restrykcyjnych ograniczeń ekologicznych może się okazać, iż potencjał fizyczny do produkcji energii wprawdzie istnieje, jednak potencjał ekonomiczny uległ osłabieniu wskutek rosnącego parytetu „zielonej” energii. Tym samym pozyskiwanie kosztownych nośników „zielonej” energii może osłabić dynamikę wzrostu gospodarczego, wskutek utraty rentowności przez niektóre gałęzie gospodarki.

## Literatura

- [1] Boeker E., Rienk van Grondelle, *Environmental Physics*, John Wiley & Sons, New York 1999 [wyd. pol.: *Fizyka środowiska*, PWN, Warszawa 2002].
- [2] Feynman R.P., Leighton R.B., Sands M., *The Feynman Lectures on Physics*, vol. 1-6, California Institute of Technology, 1966 [wyd. pol.: *Feynmana wykłady z fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2004].
- [3] Fiedor B., Czaja S., Graczyk A., Jakubczyk Z., *Podstawy ekonomii środowiska i zasobów naturalnych*, C.H. Beck, Warszawa 2002.

- [4] Hrynkiewicz A., *Energia –wyzwanie XXI wieku*, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2002.
- [5] Jones C.I., *R&D based models of economic growth*, „Journal of Political Economy” 1995, vol. 103, no. 4, s. 759-784.
- [6] Romer P.M., *Endogenous technological change*, „Journal of Political Economy”, October 1990, s. 71-102.
- [7] Romer P.M., *Increasing returns and long-run growth*, „Journal of Political Economy”, October 1986, s. 1002-1037.
- [8] Siriani C., Friedland L., *Social Capital and Civic Innovation: Learning and Capacity Building From the 1960s to the 1990s*, Washington 1995.

## **ENERGY ASPECTS OF ENDOGENOUS ECONOMIC GROWTH**

### **Summary**

The paper presents energy as a physical production factor using neoclassical production function in the original model of endogenous economic growth with energy as an endogenous factor. Therefore, the paper presents a correlation between steady-state economic growth and the energy growth in the economy. The division of energy into two categories: production energy and consumption energy, leads to the possibility of economic growth based on final energy production. So the energy can be the source of added value in the energy-saving economy. The paper also presents different aspects of green energy problems.