

310/2007

Raport Badawczy

RB/40/2007

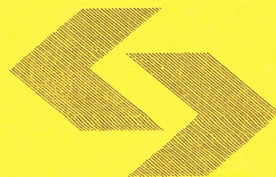
Research Report

**Modele zależności pomiędzy
wymaganym obniżeniem emisji
gazów cieplarnianych a zmianami
technologicznymi i postępem
technicznym**

J. Gadomski

**Instytut Badań Systemowych
Polska Akademia Nauk**

**Systems Research Institute
Polish Academy of Sciences**



POLSKA AKADEMIA NAUK

Instytut Badań Systemowych

ul. Newelska 6

01-447 Warszawa

tel.: (+48) (22) 3810100

fax: (+48) (22) 3810105

Kierownik Pracowni zgłaszający pracę:
prof. dr inż. Roman Kulikowski

Warszawa 2007

Modele zależności pomiędzy wymaganym obniżeniem emisji gazów cieplarnianych a zmianami technologicznymi i postępem technicznym

1. Wstęp

Negatywny wpływ, jaki na środowisko naturalne wywiera szeroko rozumiana działalność gospodarcza¹, oraz przekonanie, że gospodarka rynkowa nie jest w stanie samoczynnie rozwiązać narastających problemów zanieczyszczenia środowiska naturalnego są przesłankami działań mających na celu, jeśli nie zapobieganiu to niebezpiecznemu narastaniu tych negatywnych zjawisk. Dominuje przekonanie, że emisja tzw. gazów cieplarnianych będąca ubocznym skutkiem procesów produkcji jest w znaczącym stopniu przyczyną ocieplenia klimatu, które obok skutków ekologicznych grozi również negatywnymi następstwami gospodarczymi, szczególnie w rolnictwie. Działania te polegają głównie na zmianach reguł gry ekonomicznej.

Na poziomie makroekonomicznym dotychczas obowiązujące reguły uzupełniane są regułami dodatkowymi i ich parametrami wprowadzającymi do rachunku ekonomicznego podmiotów gospodarczych czynnik ekologiczny przez włączenie do rachunku kosztów degradacji środowiska naturalnego, będących uprzednio kosztami zewnętrznymi, nie wliczanymi do kosztów wytwarzania ponoszonymi przez producentów. Podstawowymi narzędziami oddziaływania makroekonomicznego na przedsiębiorstwa są podatki, zakazy, nakazy i limity/zezwolenia oraz związanie z nimi wielkości liczbowe. W konstruowaniu i wprowadzaniu tych narzędzi przyjmowana jest zasada, aby wprowadzane reguły zakłócały funkcjonowanie rynkowego mechanizmu regulacji w stopniu minimalnym.

Na szczeblu mikroekonomicznym (pojedynczych podmiotów gospodarczych) decyzje podejmowane na podstawie rozszerzonego rachunku ekonomicznego powinny być zgodne z oczekiwaniami regulatora makroekonomicznego². Uzyskane na podstawie rozszerzonego kryterium rozwiązania mikroekonomiczne są z punktu widzenia wcześniej stosowanego kryterium najczęściej rozwiązaniami nieoptymalnymi, co oznacza po prostu, że kosztują więcej. Przyrost tych kosztów jest tu ceną płaconą za niższe zanieczyszczenie.

¹ Szeroko rozumiana działalność gospodarcza obejmuje wytwarzanie dóbr i usług oraz konsumpcję, której wielkość i struktura mają wpływ na emisję zanieczyszczeń nie tylko przez wielkość i strukturę produkcji dóbr konsumpcyjnych ale również przez sam akt konsumpcji (transport indywidualny, ogrzewanie itp.).

² Realizacja powyższej wspomnianego postulatu zgodności nie zawsze jest możliwa. Wiąże się z niepełną zgodnością interesu makroekonomicznego (ogólnospolecznego) z interesem mikroekonomicznym, ale też z innymi czynnikami. Jak wykazano w Gadomski, Nahorski (2006), przeszkodą w wyborze czystszej technologii może być m.in. niedostatek środków finansowych, bądź występowanie zjawiska zbyt krótkiego horyzontu decyzyjnego, tzw. short-termism.

W przeprowadzanej analizie uwzględnione będą następujące elementy: limity, handel zezwoleniami na emisję zanieczyszczeń współokreślający dostępność środków na finansowanie inwestycji, postęp techniczny, technologie oraz struktura sektorowa produkcji.

Pod pojęciem technologii produkcji rozumiany jest dobór technicznych oraz organizacyjnych (społeczno-ekonomicznych) sposobów produkcji. Każda technologia jest opisana za pomocą zestawu parametrów liczbowych. Technologia jest tu kategorią jakościową, stąd trudno wyobrazić sobie ich kombinacje (tak np. w energetyce nie rozważa się takich hybryd, jak elektrownia nuklearno-wiatrowa), co nie wyklucza tego, że poszczególne jednostki działające na podstawie tej samej technologii różnią się wielkościami parametrów. Tak rozumiana technologia jest zgodna z używanym w ekonomicznej teorii produkcji pojęciem technologii; oznacza to, że określoną wielkość produkcji można uzyskać w ramach różnych technologii stosując różne kombinacje nakładów czynników produkcji. Podejście to pozwala, na przykład, na rozwiązanie zadania najtańszego sposobu uzyskania określonej wielkości produkcji zarówno przez odpowiedni dobór czynników produkcji i samej technologii wytwarzania.

Pod pojęciem postępu technicznego (PT, stosujemy tu utrwaloną nazwę dla zjawiska, dla którego bardziej adekwatną nazwą są zmiany techniczne), są zmiany podstawowych parametrów opisujących stosowane technologie. Nie wszystkie zmiany tych parametrów muszą mieć charakter korzystny (co poważnie uzasadnia stosowanie zamiennie bardziej neutralnej nazwy: zmiany techniczne). Bardzo ważną cechą PT jest to, że jego działanie jest stosunkowo dobrze rozpoznane ex post, natomiast trafność prognoz dotyczących przyszłych wartości parametrów stanowi istotny problem³.

Głównym narzędziem analizy będą modele, wśród nich modele makroekonomiczne i mikroekonomiczne. Ich wykorzystanie pozwala na analizę następstw różnych wariantów decyzji lub przebiegu zjawisk (np. zmian technicznych).

Ze względu na horyzont czasowy analizy rozważane będą modele średniokresowe makroekonomiczne i mikroekonomiczne oraz modele długookresowe makroekonomiczne i mikroekonomiczne. Zastosowane tu kryterium czasowe podziału modeli sprowadza się do uwzględnienia PT; w modelach długookresowych wpływ postępu technicznego jest uwzględniony, natomiast w modelach średniokresowych czynnik ten jest pomijany. Podział ten służy ułatwieniu analizy przez wyodrębnienie efektów działania PT i następstw wyboru

³ Jeszcze trudniejsze są prognozy technologiczne mające ze swojej istoty charakter jakościowy. Dobrym przykładem ilustrującym te trudności jest historia prognozowania wykorzystania reakcji syntezy jądowej w energetyce.

technologii. Za minimalną długość okresu analizy nazywanego średnim można średni czas zużycia kapitału.

Przyjmując dodatkowo założenie, że nierównowaga ekonomiczna ma charakter wyłącznie krótkookresowy, przyjęte ramy czasowe analizy uzasadniają pominięcie analizy tego zjawiska. W konsekwencji obowiązywać będzie założenie o pełnym wykorzystaniu zdolności produkcyjnych⁴ w gospodarce jako całości, jak i w poszczególnych jej częściach – sektorach. Ponadto obowiązywać będzie założenie, że siła robocza nie jest istotnym czynnikiem produkcji, którego ilość i dostępność nie mają w prowadzonych rozważaniach wpływu na kształtowanie się zdolności produkcyjnych.

Modele makroekonomiczne służą do opisywania kształtowania się podstawowych wielkości makroekonomicznych, takich jak: produkcja globalna, produkcja końcowa (finalna), inwestycje, konsumpcja oraz emisji zanieczyszczeń. Modele te są budowane na podstawie założenia, że podmioty mikroekonomiczne (przedsiębiorstwa, gospodarstwa domowe) podejmują racjonalne decyzje dążąc do maksymalizacji użyteczności ze względu na dane wielkości parametrów i w ramach istniejących ograniczeń: odpowiednio przedsiębiorstwa zysk, a gospodarstwa domowe konsumpcję. Na decyzje podejmowane przez podmioty mikroekonomiczne istotny wpływ ma stosowany przez nie horyzont decyzyjny: jego długość może być decydującym czynnikiem, np. przy wyborze technologii produkcji.

Makroekonomiczny cel działania można najogólniej określić jako zapewnienie wzrostu zrównoważonego (sustainable growth), tj. takiego, który jest możliwy do utrzymania w długim okresie i w realizacji którego nie dochodzi do wystąpienia znaczących dysproporcji. Należy mieć świadomość faktu, że w decyzjach makroekonomicznych istotną rolę odgrywają względy pozaekonomiczne, takie jak dążenie do zapewnienia: ciągłości/ niezawodności funkcjonowania oraz szeroko rozumianego bezpieczeństwa strategicznego. Realizacji tego celu służy stosowanie jako kryterium wielkości produktu finalnego (w przybliżeniu PKB) oraz narzucanych ograniczeń, takich jak: zakazy (np. stosowania niektórych technologii), nakazy (stosowanie niektórych procedur w utylizacji zanieczyszczeń) oraz limity (wielkości emisji, struktury technologicznej produkcji).

Modele mikroekonomiczne stanowią narzędzie opisujące problem decyzyjny oraz wspomagające podejmowanie decyzji mikroekonomicznych, takich jak, na przykład, decyzji wyboru technologii produkcji.

⁴ Lub, co równoważne, stały stopień niewykorzystania zdolności produkcyjnych.

Przyjęto następującą konwencję stosowanych oznaczeń: duże litery oznaczają zmienne, małe litery parametry, litery greckie symbol sektora (jeśli występuje). Indeksy dolne pisane alfabetem łacińskim oznaczają rok, a oznaczane alfabetem greckim symbol sektora. Indeksy górne umieszczone w nawiasach oznaczają numer technologii. Za jednostkę czasu przyjęto jeden rok.

Rozważany jest skończony zbiór n technologii numerowanych indeksami i : $i = 1, 2, \dots, n$. Każdą technologię charakteryzuje wektor T_i , $i = 1, 2, \dots, n$:

$$T_i = (q_i, a_i, d_i, e_i, q_i), \quad (1)$$

gdzie:

q_i – produktywność kapitału w i -tej technologii

d_i – stopa deprecjacji kapitału w i -tej technologii (a zarazem odwrotność średniego czasu trwania kapitału), $d > 0$;

a_i – stopa zużycia pośredniego w i -tej technologii

e_i – współczynnik jednostkowej emisji zanieczyszczeń w i -tej technologii.

Zależności pomiędzy rozwojem ekonomicznym a emisją zanieczyszczeń będą analizowane przy pomocy modeli. Pierwszym omawianym modelem będzie jednosektorowy Model 1, opisujący gospodarkę bez PT oraz bez aktywnych ograniczeń emisji zanieczyszczeń. Jego celem jest pokazanie funkcjonowania gospodarki, której wzrost nie ulega zahamowaniu przez bariery emisji zanieczyszczeń. Drugim z prezentowanych modeli będzie jednosektorowy Model 2, który opisuje gospodarkę bez PT, ale z barierą emisji zanieczyszczeń. Model 3 jest jednosektorowym modelem gospodarki bez PT, w której pojawia się bariera emisji zanieczyszczeń i w której przedsiębiorstwa dokonują wyboru pomiędzy dwoma technologiami: starszą tańszą, lecz brudniejszą, oraz czystsza, lecz droższą. W Modelu 3 uwzględnione zostały mechanizmy wspomagające proces wymiany technologii oparte na ustaleniach Protokółów z Kyoto. Serię modeli makroekonomicznych kończy dwusektorowy Model 4, w którym wyróżnione zostały dwa sektory: sektor produkujący materiały i surowce (tzw. dobra pośrednie) oraz sektor wytwarzający dobra inwestycyjne i konsumpcyjne. Ostatnim prezentowanym modelem jest mikroekonomiczny Model 5 przedstawiający problem wyboru technologii w skali mikroekonomicznej.

2. MODEL 1 (jeden sektor⁵, jedna technologia, brak PT, bez ograniczeń emisji)

Model ten służy do opisu średniookresowego rozwoju gospodarki, w którym: technologia produkcji jest ustalona oraz nie występują bariery wzrostu gospodarczego. Gospodarka jest niezadłużona oraz nie ma aktywów zagranicznych, bilans handlowy znajduje się w równowadze, co oznacza, że w każdym roku import równa się eksportowi.

Wielkość produkcji globalnej Q określa jednoczynnikowa liniowa funkcja produkcji Harroda – Domara (za Allen R. G. D. (1975.)), której argumentem jest wielkość kapitału (środków trwałych):

$$Q_t = q K_t, \quad (2)$$

Gdzie przez K_t oznaczona została wielkość zasobu kapitału na początku roku t (lub pod koniec roku $t-1$).

W Modelu 1 emisja zanieczyszczeń E powstaje wyłącznie jako efekt uboczny procesu produkcji i jest proporcjonalna do wielkości produkcji globalnej:

$$E_t = e Q_t. \quad (3)$$

Przy założeniu, że zużycie własne wynosi $a Q_t$, produkt finalny (do podziału) Y_t wynosi:

$$Y_t = (1-a) Q_t. \quad (4)$$

Produkt finalny Y_t jest dzielony na konsumpcję C i inwestycje I :

$$Y_t = C_t + I_t. \quad (5)$$

Uzyskane z podziału produktu finalnego inwestycje powiększają zasób kapitału:

$$K_{t+1} = K_t + I_t - d K_t = (1-d) K_t + I_t, \quad (6)$$

zmniejszane przez jego zużycie, z założenia równe w roku t jego deprecjacji $d K_t$.

Opis Modelu 1 zawiera, poza zależnościami (1) – (6) ponadto dwa ograniczenia nierównościowe, a mianowicie:

$$C_t \geq c_{\min} Y_t, \quad (7)$$

które oznacza, że stopa konsumpcji nie może spaść poniżej pewnej wartości minimalnej c_{\min} , $0 < c_{\min} < 1$, oraz:

$$I_t \geq I_{\min}, \quad (8)$$

gdzie $I_{\min} = d K_t$, które mówi, że inwestycje nie powinny być niższe od wielkości deprecjacji, ponieważ powodowałyby to spadek wielkości kapitału, a co za tym idzie również produkcji.

Warunki (5), (7) i (8) przedstawiają odpowiednio: dylemat wyboru pomiędzy wielkościami konsumpcji dzisiejszej a konsumpcji przyszłej, warunek społeczno-politycznej

⁵ W związku z czym indeks oznaczający numer sektora jest zbyteczny.

realizowalności manewru zmiany technologii oraz warunków przeciwdziałający zbyt głębokim spadkom inwestycji.

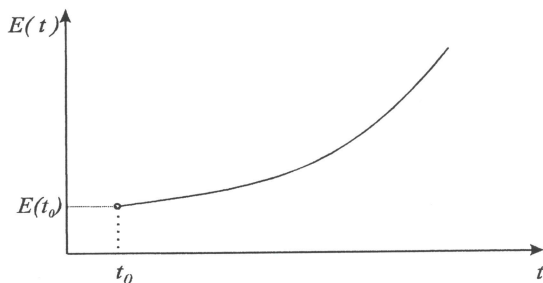
Problem decyzyjny polega w przypadku Modelu 1 na maksymalizacji zdyskontowanej sumy produktu S (gdzie ρ jest współczynnikiem dyskonta):

$$S = \sum_{t=t_0}^{\infty} (1+\rho)^{-(t-t_0)} Y_t \quad (9)$$

ze względu na wielkości inwestycji I_t w latach $t = t_0, t_0+1, \dots$; przy zadanej wartości początkowej K_{t_0} oraz spełnieniu ograniczeń (1) – (8).

Jeżeli ograniczenia (5), (7) i (8) są niesprzeczne oraz $I_{min} > d K_t$, wtedy następuje wzrost gospodarczy, w którym wielkości produkcji i emisji (oraz pozostałych zmiennych: tj. Y, K, I, C) rosną. Wzrost emisji przedstawiono na rys. 1.

Przejdziemy obecnie do zbadania następstw ustanowienia limitu emisji w gospodarce, której rozwój jest opisany za pomocą Modelu 1.



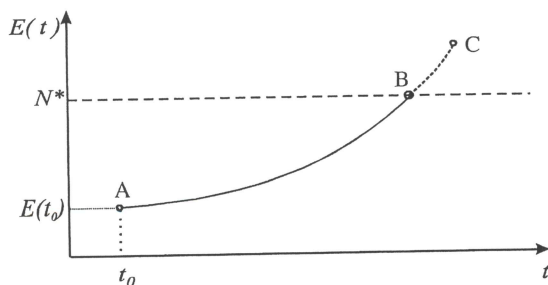
rys. 1. Proporcjonalny do produkcji wzrost emisji przy braku ograniczeń na emisję. Model 1.

3. MODEL 2 (jeden sektor, jedna technologia, brak PT, limit emisji)

Równania (1) – (9) z Modelu 1 pozostają w mocy, model zostaje rozszerzony o zależność:

$$E \leq N^* \quad (10)$$

Ewolucję emisji zanieczyszczeń w Modelu 2 przedstawiono na rys. 2.



rys. 2. Ewolucja emisji zanieczyszczeń w Modelu 2.

Od chwili t_0 , kiedy zostaje wprowadzony limit emisji na poziomie N^* , gospodarka kontynuuje wzrost od punktu A do punktu B, w którym emisja osiąga wysokość limitu, przez co dalszy wzrost staje się niemożliwy (punkt C jest nieosiągalny przy stosowaniu danej technologii). W konsekwencji gospodarka osiąga stan ustalony, w którym wielkości produkcji globalnej Q , kapitału K , produktu do podziału Y , inwestycji I i konsumpcji C są odpowiednio określone przez wysokość limitu N^* .

$$Q(N^*) = N^* / e, \quad (11)$$

$$K(N^*) = Q / q = N^* / (q e), \quad (12)$$

$$Y(N^*) = (1 - a) Q = (1 - a) N^* / e, \quad (13)$$

$$I(N^*) = d K = d N^* / (q e), \quad (14)$$

$$C(N^*) = Y - I = (1 - a - d/q) N^* / e. \quad (15)$$

Z powyższych zależności wynika, że w przypadku gospodarki bez PT oraz dysponującej jedną technologią ustanowienie limitu emisji prowadzi do zerowego wzrostu gospodarczego. Pokonanie tej bariery jest możliwe na dwa podstawowe sposoby: przez PT lub przez zmianę technologii produkcji.

Pierwszy z wymienionych sposobów jest możliwy dzięki procesom uczenia się, zarówno spontanicznego uczenia się pracowników, jak i w następstwie zaangażowania środków w nakłady na finansowanie prac B+R. Pokonywanie bariery wzrostu gospodarczego za pomocą PT nie będzie dalej analizowane.

Problem wyboru technologii produkcji pozwalającej na pokonanie bariery wzrostu gospodarczego jest uwzględniony w Modelu 3.

4. MODEL 3 (jeden sektor, dwie technologie, brak PT, limit emisji, mechanizm handlu pozwoleniami)

Gospodarka może znaleźć się w stanie ustalonym stosując jedną z dwóch dostępnych technologii: Podstawowym warunkiem zmiany dotychczasowej, brudniejszej Technologii 1 na nowszą, czystsza Technologię 2, charakteryzującą się jednak niższą produktywnością kapitału (wyższą kapitałochłonnością) jest to, aby w stanie ustalonym:

$$Y^{(1)}(N^*) < Y^{(2)}(N^*), \quad (16)$$

gdzie:

$Y^{(1)}(N^*)$ – wielkość produktu finalnego w stanie ustalonym określonym przez limit emisji N^* przy stosowaniu Technologii 1

$Y^{(2)}(N^*)$ – wielkość produktu finalnego w stanie ustalonym określonym przez limit emisji N^* przy stosowaniu Technologii 2.

Jak wynika z zależności (13), warunek (16) jest spełniony dla wszystkich technologii, których parametry spełniają następującą nierówność:

$$\frac{e^{(2)}}{e^{(1)}} < \frac{1 - a^{(2)}}{1 - a^{(1)}}. \quad (17)$$

W tym miejscu celowe jest zwrócenie uwagi na problem kryterium. Spełnienie warunku (16) nakazuje dokonanie zmiany z Technologii 1 na Technologię 2, jeśli kryterium wyboru jest konwencjonalnie stosowana maksymalizacja produktu finalnego. Jednak spełnienie warunku (16) nie musi oznaczać, że spełniony jest również następujący warunek:

$$C^{(1)}(N^*) < C^{(2)}(N^*). \quad (18)$$

Wynika z tego wnioszek, że maksymalizacja konsumpcji, będąca ostatecznym celem działalności gospodarczej niekoniecznie jest realizowalna przez stosowanie produktu finalnego jako bezpośredniego kryterium działania.

Brak środków na finansowanie wymiany technologii może spowodować, że jednoczesne spełnienie zależności (5), (7) i (8) okaże się niemożliwe. Dla pokonania tej bariery kraje-sygnatariusze Protokółów z Kyoto opracowały reguły handlu pozwoleniami na emisję tj. niewykorzystanymi limitami między krajami, których emisje nie wyczerpały swoich limitów oraz krajami, których emisja przekroczyła przyznane limity emisji. Stawia to w korzystnej sytuacji te kraje (wśród nich Polska), które w warunkach początkowych są sprzedawcami niewykorzystanych zezwoleń na emisję, co umożliwi skierowanie uzyskanych ze sprzedaży zezwoleń środków na inwestycje i/ lub konsumpcję.

Model uwzględniający współistnienie dwóch technologii oraz handel niewykorzystanymi zezwoleniami został zbudowany w następujący sposób. Wykorzystany został Model 1

zdekomponowany tak, aby opisywał wytwarzanie za pomocą dwóch rodzajów kapitału reprezentujących dwie technologie.

Wielkość produkcji globalnej Q jest sumą produkcji uzyskanych ze stosowania Technologii 1 i Technologii 2:

$$Q_t = Q^{(1)}_t + Q^{(2)}_t \quad (19)$$

gdzie:

$$Q^{(1)}_t = q^{(1)} K^{(1)}_t, \quad (20)$$

$$Q^{(2)}_t = q^{(2)} K^{(2)}_t. \quad (21)$$

gdzie $K^{(1)}_t$ i $K^{(2)}_t$ oznacza wielkości kapitału odpowiednio w Technologii 1 i Technologii 2.

W Modelu 3 emisja E powstaje jako suma emisji towarzyszącej wykorzystaniu Technologii 1 i Technologii 2:

$$E_t = e^{(1)} Q^{(1)}_t + e^{(2)} Q^{(2)}_t \quad (22)$$

Produkt finalny (do podziału) Y_t uzyskiwany jest z produkcji wykorzystującej dwie technologie oraz z importu netto M_t :

$$Y_t = (1-d^{(1)}) Q^{(1)}_t + (1-d^{(2)}) Q^{(2)}_t + M_t \quad (23)$$

Import netto M_t powiększa zasób długu netto (lub pomniejsza aktywa zagraniczne netto) D_t :

$$D_{t+1} = D_t + M_t + P(N^* - E_t), \quad (24)$$

gdzie P_t oznacza cenę⁶ pozwolenia na emisję jednostki w roku a iloczyn $P(N^* - E_t)$ wartość sprzedaży niewykorzystanych pozwoleń. Dopuszczenie przejściowego niezbilansowania handlu zagranicznego i wystąpienia długu zagranicznego/ dodatnich aktywów zagranicznych netto pozwala na rozłożenie w czasie manewru zmiany technologii produkcji.

Podobnie jak w Modelu 1 produkt finalny Y_t , równanie (5) jest dzielony na konsumpcję C i inwestycje I :

$$Y_t = C_t + I_t$$

Uzyskane z podziału produktu finalnego środki inwestycyjne I_t dzielone są na inwestycje $I^{(1)}_t$ w Technologię 1, $I_t = I^{(1)}_t + I^{(2)}_t$:

$$K^{(1)}_{t+1} = (1-d^{(1)}) K^{(1)}_t + I^{(1)}_t, \quad (24)$$

oraz inwestycje $I^{(2)}_t$ w Technologię 2:

$$K^{(2)}_{t+1} = (1-d^{(2)}) K^{(2)}_t + I^{(2)}_t. \quad (25)$$

Podobnie jak w Modelu 1 utrzymane są warunki (7) i (8):

$$C_t \geq c_{\min} Y_t,$$

⁶ Z uwagi na to, że modelowany jest mały kraj, przyjęto założenie, że wielkość produkcji i emisji wytwarzanych przez ten kraj ma pomijalny wpływ na kształtowanie się cen tych pozwoleń.

$$I_t \geq I_{\min},$$

a ponadto wprowadzone jest ograniczenie:

$$-g Y_t \leq |D_t| \leq g Y_t \quad (26)$$

niedopuszczające, analogicznie do tzw. kryteriów z Maastricht, do nadmiernych zagrożeń dla makroekonomicznej stabilności gospodarki.

Analogicznie jak w Modelu 1 problem decyzyjny polega na maksymalizacji zdyskontowanej sumy produktu S (gdzie ρ jest współczynnikiem dyskonta):

$$S = \sum_{t=t_0}^{\infty} (1+\rho)^{-(t-t_0)} Y_t$$

ze względu na wielkości inwestycji I_t w latach $t = t_0, t_0+1, \dots$; oraz ich strukturę technologiczną, przy zadanej wartości początkowej K_{t_0} oraz spełnieniu ograniczeń (19)–(26).

W eksperymentach symulacyjnych celowe okazało się uwzględnienie dwóch dodatkowych zależności, a mianowicie zerowego długu/ wielkości aktywów zagranicznych netto oraz zrównoważenie handlu zagranicznego po z góry założonej liczbie lat. Celem tych dodatkowych zależności jest ograniczenie okresu, w którym powinna nastąpić zmiana technologii.

Spełnienie relacji (16) nie jest warunkiem wystarczającym zmiany technologii. Jak pokazała omówiona w Gadomski, Nahorski (2005, 2006) analiza eksperymentów symulacyjnych na Modelu 3, na zmianę technologii produkcji istotny wpływ mają następujące czynniki: długość horyzontu decyzyjnego oraz dostępność⁷ środków (niezbędnych do sfinansowania inwestycji charakteryzujących się wyższą kapitałochłonnością).

Przy zbyt krótkim horyzoncie decyzyjnym, w relacji do średniej długości trwania kapitału, zbyt niskie ceny zezwoleń na emisję nie pozwalają na pokonanie bariery jednoczesnego spełnienia ograniczeń (5), (7) i (8), zmiana technologii nie następuje.

Modele 1 – 3 pozwoliły na przeprowadzenie podstawowej analizy wpływu ustanowienia limitu emisji na gospodarkę, w której podział produktu pomiędzy konsumpcję i inwestycje jest ograniczony jedynie przez zależności zapewniającej stabilność społeczno - polityczną. Jednak w rzeczywistych systemach ekonomicznych związki między wytwarzaniem a emisją zanieczyszczeń jest bardzo złożony, zwłaszcza gdy wiadomo, że różnym formom aktywności gospodarczej odpowiada różna intensywność emisji zanieczyszczeń. Próba rozwiązania tego

⁷ Na dostępność tych środków istotny wpływ wywiera poziom ceny zezwoleń.

problemu jest zbudowanie modelu wielosektorowego. Prezentowany poniżej model dwusektorowy ma na celu pokazanie tego problemu w sposób bardziej szczegółowy.

5. MODEL 4 (dwa sektory, brak wyboru technologii, brak PT, brak limitu emisji)

Model przedstawia gospodarkę podzieloną na dwa sektory: sektor α i sektor β . Sektor α wytwarza dobra pośrednie (tzw. dobra zaopatrzeniowe, czyli materiały, surowce, komponenty, itp.) a sektor β dobra inwestycyjne oraz dobra konsumpcyjne. Modelowana gospodarka znajduje się w równowadze; popyt zgłaszany przez oba sektory odpowiednio materiały i surowce są równe podaży sektora α , a popyt zgłaszany przez oba sektory na dobra konsumpcyjne i inwestycyjne jest równy podaży sektora β . W żadnym z sektorów nie występuje nadwyżka / niedobór zdolności produkcyjnych.

Podstawowe zależności przedstawiają się w sposób następujący.

Produkcja globalna sektora α

$$Q_{\alpha t} = q_{\alpha} K_{\alpha t}, \quad (27)$$

Produkcja globalna sektora β

$$Q_{\beta t} = q_{\beta} K_{\beta t}. \quad (28)$$

Produkt finalny w sektorze α

$$Y_{\alpha t} = (1 - a_{\alpha}) Q_{\alpha t}. \quad (29)$$

Produkt finalny w sektorze β

$$Y_{\beta t} = (1 - a_{\beta}) Q_{\beta t}, \quad (30)$$

Produkt finalny $Y_{\alpha t}$ w sektorze α jest dzielony na konsumpcję i inwestycje:

$$Y_{\alpha t} = I_{\alpha t} + C_{\alpha t}, \quad (31)$$

i analogicznie w sektorze β :

$$Y_{\beta t} = I_{\beta t} + C_{\beta t}. \quad (32)$$

Kapitał w sektorach α i β jest kształtowany przez nowe inwestycje oraz przez deprecjację kapitału:

$$K_{\alpha t+1} = K_{\alpha t} (1 - d_{\alpha}) + I_{\alpha t}, \quad (33)$$

$$K_{\beta t+1} = K_{\beta t} (1 - d_{\beta}) + I_{\beta t}, \quad (34)$$

Z założenia o równowadze pomiędzy sektorami wynika, że:

$$Q_{\alpha t} = a_{\alpha} Q_{\alpha t} + a_{\beta} Q_{\beta t} \quad (35)$$

oraz

$$Q_{\beta t} = (1 - a_{\alpha}) Q_{\alpha t} + (1 - a_{\beta}) Q_{\beta t} \quad (36)$$

$$= Y_{\alpha t} + Y_{\beta t} = C_{\alpha t} + C_{\beta t} + I_{\alpha t} + I_{\beta t}$$

Warunkiem zachowania równowagi jest zachowanie proporcji. Z równania (31) wynika związek pomiędzy wielkościami produkcji w obu sektorach:

$$\frac{Q_{\alpha t}}{Q_{\beta t}} = \frac{a_{\beta}}{1-a_{\alpha}}, \quad (37)$$

a uwzględniając równanie (27) i (28) również związek pomiędzy wielkościami kapitału w obu sektorach:

$$\frac{K_{\alpha t}}{K_{\beta t}} = \frac{q_{\beta}}{q_{\alpha}} \frac{a_{\beta}}{1-a_{\alpha}} \quad (38)$$

Z równań (37) i (38) wynika, że proporcje wielkości produkcji bądź wielkości kapitału zależą od parametrów q i a w obu tych sektorach. Z zależności (27) i (28) oraz (38) i (39) wynika, że podczas wzrostu równowaga między sektorami zostanie zachowana, jeśli wielkości kapitału w tych sektorach ulegać będą tym samym względnym zmianom:

$$\frac{K_{\alpha t+1} - K_{\alpha t}}{K_{\alpha t}} = \frac{K_{\beta t+1} - K_{\beta t}}{K_{\beta t}}. \quad (39)$$

Na podstawie zależności (33) i (34) mamy:

$$\frac{K_{\alpha t+1} - K_{\alpha t}}{K_{\alpha t}} = \frac{I_{\alpha t}}{K_{\alpha t}} - d_{\alpha} \quad (40)$$

i

$$\frac{K_{\beta t+1} - K_{\beta t}}{K_{\beta t}} = \frac{I_{\beta t}}{K_{\beta t}} - d_{\beta}. \quad (41)$$

Należy zwrócić uwagę, że z wymiany pomiędzy sektorami wynika, że produkt finalny w sektorze α jest uzyskiwany ze sprzedaży sektorowi β surowców:

$$Y_{\alpha t} = I_{\alpha t} + C_{\alpha t} = a_{\beta} Q_{\beta t}. \quad (42)$$

Podobnie jak w wyżej przedstawionych modelach celowy jest postulat, aby konsumpcja w danym sektorze nie spadała poniżej jakiejś niezerowej części produktu finalnego (patrz zależność (7)):

$$C_{\alpha t} \geq c_{\alpha \min} Y_{\alpha t}, \quad (43)$$

$$C_{\beta t} \geq c_{\beta \min} Y_{\beta t}, \quad (44)$$

oraz, aby inwestycje nie spadły poniżej reprodukcji prostej (patrz zależność (8)):

$$I_{\alpha t} \geq I_{\alpha \min} = d_{\alpha} K_{\alpha t}, \quad (45)$$

i

$$I_{\beta t} \geq I_{\beta \min} = d_{\beta} K_{\beta t} . \quad (46)$$

Ostatnią zależnością jest wielkość emisji, która jest określona – podobnie ja wyżej przedstawionych modelach - przez emisję towarzyszącą produkcji sektorów α i β :

$$E_t = e_a Q_{at} + e_b Q_{bt} \quad (47)$$

Analiza przedstawionego wyżej modelu prowadzi do wniosku, że – podobnie jak to miało miejsce w przypadku Modelu 2 – pojawienie się limitu emisji w sposób nieunikniony prowadzi do zatrzymania wzrostu produkcji i osiągnięcia stanu ustalonego, którego poziom jest określony przez wysokość limitu emisji.

Konstrukcja Modelu 4 pozwala na wprowadzanie modyfikacji mających na celu analizę funkcjonowania gospodarki, w której zmianie ulega technologia produkcji tylko w jednym z sektorów. Jest to istotne, ponieważ emisja zanieczyszczeń gazowych koncentruje się głównie w przy produkcji energii i surowców. Modyfikacje te można wprowadzać analogicznie do tych, które wprowadzane były do kolejnych modeli jednosektorowych.

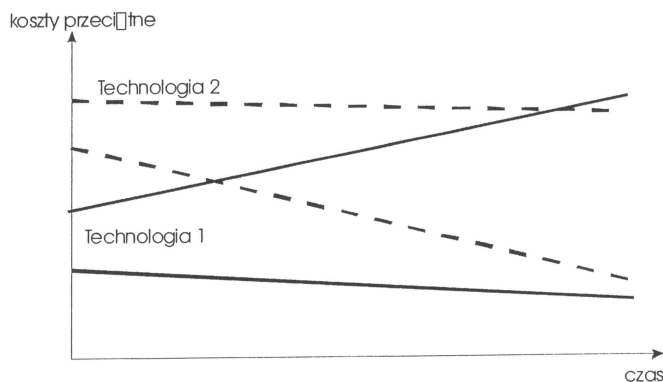
6. MODEL 5 (mikroekonomiczny).

Celem tego modelu jest opis problemu wyboru jednej z n technologii produkcji w skali mikroekonomicznej. Każdą technologię charakteryzują: wartość nakładów inwestycyjnych zdyskontowanych na okres początkowy $K^{(i)}$, $i = 1, \dots, n$; okres funkcjonowania $T^{(i)}$, roczne koszty eksploatacji $X_{\tau}^{(i)}$, $\tau = 1, \dots, T^{(i)}$, koszty likwidacji $L^{(i)}$. Zadanie wyboru polega na wyborze technologii, dla której ustalona roczna wielkość produkcji Q^* wytwarzana będzie po najniższych kosztach przeciętnych $KP^{(i)}$:

$$KP^{(i)} = \frac{K^{(i)} + \sum_{\tau=1}^{T^{(i)}} X_{\tau}^{(i)} (1 + \rho)^{-\tau} + L^{(i)}}{T^{(i)} Q^*}, \quad i = 1, \dots, n; \quad (48)$$

Wadą konwencjonalnie stosowanej formuły (48) jest to, że w niedostatecznym stopniu uwzględnia narastający w funkcji czasu stopień niepewności. Wszystkie elementy biorące udział w rachunku kosztu przeciętnego opierają się na prognozach kształtowania się przyszłych cen elementów wchodzących w skład powyższej formuły. Na rzeczywiste wartości tych cen wpływ mają czynniki sprzyjające ich spadkowi, takie jak: wzrost wiedzy, postęp techniczny, pojawienie się nowych konkurencyjnych technologii; jak również czynniki powodujące wzrost tych cen: narastająca rywalizacja o dostęp do wyczerpujących się zasobów, wzrost kosztów pozyskiwania coraz niekorzystniej położonych zasobów, zmiana relacji cen czynników produkcji. Trudnym do przecenienia, ale i do oszacowania jest niesprzyjający obiektywizmowi czynnik interesów partykularnych.

Trudność w dokonaniu wyboru przedstawiono schematycznie na rys. 3.



rys. 3. Ewolucja kosztów przeciętnych dla dwóch technologii. Problem wyboru.

Przedstawione na rys. 3 linie ciągłe stanowią granice przedziału wartości kosztu przeciętnego w prognozowanym okresie w technologii 1, a linie przerywane granice przedziału wartości kosztu przeciętnego w technologii 2. O ile w chwili początkowej technologia 1 ma nad technologią 2 bezwzględną przewagę, to wraz z upływem czasu przewaga ta staje się względna, a w okresie końcowym technologie te stają się równorzędne. Zatem o ile w chwili początkowej wybór jest jednoznaczny, to w okresie końcowym wybór jest nierozstrzygnięty. Z uwag tych wynikają pewne wnioski o charakterze praktycznym. Nawet bezwzględna przewaga technologii może nie być wystarczającą przesłanką zaniechania badań nad technologiami alternatywnymi.

Bibliografia:

- Allen R. G. D. (1975): *Ekonomia matematyczna*, PWN, Warszawa.
- Gadomski J., Nahorski Z.: (2006)
- Gadomski J., Nahorski Z.: (2005)

