

30/2003

Raport Badawczy

RB/87/2003

Research Report

**Produkcja a emisja gazów.
Propozycja rozwiązań
modelowych**

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) 8373578

fax: (+48) (22) 8372772

Kierownik Pracowni zgłaszający pracę:
Prof. dr hab. inż. Zbigniew Nahorski

Warszawa 2003

Produkcja a emisja gazów. Propozycja rozwiązań modelowych

Jan Gadomski

jan.gadomski@ibspan.waw.pl

Instytut Badań Systemowych PAN, ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa,

Wstęp

Problemy związków pomiędzy działalnością człowieka (ekonomiczną, konsumpcyjną) a wywieranym przez nią wpływem na środowisko dostrzeżono wcześniej, lecz świadomość konieczności zapanowania nad tymi procesami przyszła stosunkowo późno. Przełomowy charakter miał Raport rzymski (Meadows et al. (1970)), wskazujący na wpływ malejącej dostępności zasobów (ze względu na ich wyczerpywanie) na rozwój gospodarczy świata. Opracowanie to, mające charakter prognozy ostrzegawczej, dało przekonujące argumenty na rzecz zwracania większej uwagi następstwom wyczerpywania się zasobów naturalnych. Inny nurt badań koncentrował się na wpływie zdegradowanego środowiska naturalnego na warunki życia. Ich badania poruszyły opinię publiczną i przyczyniły się do podjęcia działań zmierzających nie tylko do ograniczenia emisji zanieczyszczeń (np. spalin samochodowych), ale również do zwiększenia wydatków na likwidację zaistniałych szkód (rekultywacja obszarów zniszczonych i/lub zanieczyszczonych; np. oczyszczalnie ścieków, utylizacja odpadów, rekultywacja gleb itp.). Do prac krajowych zaliczanych do tego nurtu zaliczyć można m.in. Plich (),

Dostrzeżenie związku pomiędzy aktywnością gospodarczą a zmianami ekologicznymi było przesłanką poszukiwania takich mechanizmów oddziaływania na procesy gospodarcze, które z jednej strony w małym stopniu zakłócałyby funkcjonowanie rynkowego systemu produkcji, z drugiej zaś wymuszały na podmiotach gospodarczych pożądane, z punktu widzenia organu regulacyjnego, dostosowania zarówno w zakresie emisji, zależnej od bezwzględnej wielkości produkcji, jak i wyboru stosowanej technologii wytwarzania. Podstawy teoretyczne takich mechanizmów zaproponowano w pracach (())(). Znalazły one m.in. zastosowanie w zawartym w 2000r. porozumieniu z Kyoto, w którym rządy 9 państw¹ podjęły decyzję o zasadach ograniczenia emisji gazów cieplarnianych (głównie CO₂). Porozumienie to przewiduje handel zezwoleniami na emisje zanieczyszczeń, polegający na tym, że kraje posiadające niewykorzystane zezwolenia na zanieczyszczenia mogą je odsprzedawać krajom mającym ich niedostateczną ilość (ze względu na skalę produkcji)..

¹ Tzw grupa G8 oraz Rosja.

Celem niniejszej pracy jest analiza związku między produkcją a emisją CO₂. Narzędziem tej analizy jest zaproponowany w tej pracy długookresowy model gospodarki i emisji zanieczyszczeń. Proponowane ujęcie należy rozumieć w następujący sposób: w horyzoncie analizy zmiennymi modelu, oprócz nakładów siły roboczej i kapitału, są zmieniające się pod wpływem postępu technicznego oraz zmian technologicznych wielkości jednostkowe: emisji na jednostkę produkcji, kapitałochłonności, przeciętnej wydajności pracy, energochłonności, i inne. Jeśli chodzi o relację kapitał-siła robocza, zakłada się, że jest ona w każdym okresie optymalna (krańcowe produktywności czynników są równe ich cenom), tzn., że w kolejnych okresach gospodarka znajduje się w równowadze wewnętrznej.

Gospodarka w pełni wykorzystuje zdolności produkcyjne, jeśli nie natrafia na ograniczenie związane z ilością pozwoleń na emisję zanieczyszczeń. Niewykorzystane limity emisji są sprzedawane.

Sytuacja, gdy pełne wykorzystanie zdolności produkcyjnych gospodarki może doprowadzić do przekroczenia limitu emisji, jest bardziej złożona. Wyróżnić można, jak się wydaje, następujące strategie postępowania: bierna, modernizacyjna i zmiany technologicznej.

Strategia bierna² sprowadza się do płacenia za emisję ponad przyznany limit. Utrzymanie założonej wielkości produkcji wiąże się z koniecznością wykupu dodatkowych limitów, co oznacza zmianę bilansu płatniczego: wzrost zadłużenia a następnie spłaty i obsługa tego zadłużenia, lub deprecjację waluty krajowej w celu uzyskania odpowiedniego przyrostu eksportu i ograniczenia importu. Bez względu na sposób finansowania wykupu dodatkowych limitów, oba wymienione rozwiązania zakłócają równowagę zewnętrzną.

Strategia modernizacyjna polega na ponoszeniu dodatkowych nakładów na inwestycje modernizacyjne, zmniejszające emisyjność istniejącego kapitału. Dodatkowe środki na inwestycje modernizacyjne mogą być uzyskane ze źródeł krajowych przez ograniczenie konsumpcji i/lub przez kredyt zagraniczny / deprecjację waluty krajowej.

Strategia zmiany technologicznej polega na zastępowaniu kapitału starej generacji kapitałem nowej generacji, charakteryzującym się niższą emisyjnością. Wychodząc z założenia, że nowe „czyste” technologie są bardziej kapitałochłonne, w celu utrzymania tempa wzrostu gospodarczego konieczne jest przejściowe zwiększenie stopy inwestycji. Podobnie jak w przypadku strategii modernizacyjnej, zwiększone środki na inwestycje związane z zastępowaniem kapitału starszej generacji kapitałem o mniejszej emisyjności mogą być uzyskane ze źródeł krajowych przez ograniczenie konsumpcji i/lub przez kredyt zagraniczny / deprecjację waluty krajowej.

Celem badań symulacyjnych z wykorzystaniem modelu jest uzyskanie odpowiedzi na pytanie o wybór najlepszej, w danych warunkach, strategii.

Konstruując model skupiono uwagę na związkach emisji zanieczyszczeń z produkcją i konsumpcją. Dlatego w niektórych rozwiązaniach modelowych przyjęto daleko idące założenia upraszczające. Przykładem takich uproszczeń jest potraktowanie zasobów siły roboczej. Zakłada się, że dostępność siły roboczej nie jest w żadnym okresie wąskim gardłem.

Niniejsza praca składa się z dwóch części. W części pierwszej przedstawiono model dwusektorowy, w którym proces emisji zanieczyszczeń przedstawiono jako efekt działania następujących czynników: produkcji w energetyce, produkcji w pozostałych działach gospodarki oraz konsumpcji. W części drugiej przedstawiono model jednosektorowy, w którym cała emisja jest przypisana wyłącznie produkcji globalnej całej gospodarki.

Model pierwszy jest bardziej złożony, przez co jego estymacja i eksperymenty symulacyjne wymagałyby znacznego wysiłku. Podjęcie prac nad tym modelem musi być poprzedzona dyskusją o jego założeniach.

Przedstawiony w części drugiej model jest znacznie prostszy, z czym wiążą się znane korzyści i wady małych modeli. Odpowiedzi, które uzyskuje się z przeprowadzenia eksperymentów symulacyjnych są szybsze, lecz – w następstwie daleko idących uproszczeń – pomijają wiele istotnych kwestii szczegółowych.

I. Model dwusektorowy

Model produkcji składa się z dwóch sektorów produkcyjnych: sektora *E* wytwarzającego energię oraz sektora *P* reprezentującego pozostałe działy produkcyjne. Przyjęty podział wynika z tego, że ponad 90% emisji CO₂ powstaje w energetyce³.

1. Popyt na produkcję

Sektor *E* wytwarza na potrzeby produkcyjne własne i sektora *P* oraz na cele konsumpcyjne. Podział produkcji wytworzonej w sektorze *E* oraz pochodzącej z importu energii przedstawiono za pomocą następującego równania:

$$Q_E(t) = X_{EE}(t) + X_{EP}(t) + C_E(t) + EX_E(t) - IM_E(t), \quad (1)$$

gdzie:

$X_{EE}(t)$ - zużycie energii w produkcji energii,

$X_{EP}(t)$ - zużycie energii w produkcji dóbr *P*

$C_E(t)$ - zużycie energii na cele konsumpcyjne

$EX_E(t)$ - eksport energii

$IM_E(t)$ - import energii.

² Nie rozważaną tu alternatywą jest ograniczenie produkcji do wysokości przyznanym limitów.

³ W modelu pominięto uwzględnione w bilansie pochłanianie gazów cieplarnianych.

Podział produkcji wytworzonej w sektorze P oraz importu dóbr P przedstawiono za pomocą następującego równania:

$$Q_P(t) = X_{PE}(t) + X_{PP}(t) + C_P(t) + I(t) + EX_P(t) - IM_E(t), \quad (2)$$

gdzie:

- $X_{PE}(t)$ - zużycie produktów P w produkcji energii,
- $X_{PP}(t)$ - zużycie produktów P w produkcji dóbr P ,
- $C_P(t)$ - zużycie produktów P na cele konsumpcyjne,
- $I(t)$ - zużycie produktów P na cele inwestycyjne,
- $EX_P(t)$ - eksport dóbr P ,
- $IM_P(t)$ - import dóbr P .

Współczynniki nakładów $a_{ij}(t)$, $i = E, P$; $j = E, P$, są definiowane jako zużycie nakładów i -tego dobra w produkcji j -tego dobra;

$$a_{ij}(t) = X_{ij}(t)/Q_j(t), \quad i = E, P; \quad j = E, P. \quad (3)$$

Współczynniki $a_{ij}(t)$, ze wzoru (3), są określone przez technologię wytwarzania i interpretowane są jako energochłonności (odpowiednio produkcji energii i pozostałych dóbr) lub P - materiałochłonności (odpowiednio produkcji energii i pozostałych dóbr). Korzystając z definicji (3) równania (1) i (2) można zapisać w postaci następującego układu równań:

$$\begin{aligned} Q_E(t) &= a_{EE}(t) Q_E(t) + a_{EP}(t) Q_P(t) + C_E(t) + EX_E(t) - IM_E(t) \\ Q_P(t) &= a_{PE}(t) Q_E(t) + a_{PP}(t) Q_P(t) + C_P(t) + I(t) + EX_P(t) - IM_P(t), \end{aligned}$$

lub w postaci równania macierzowego:

$$\begin{bmatrix} I - a_{EE}(t) & -a_{EP}(t) \\ -a_{PE}(t) & I - a_{PP}(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_E \\ Q_P \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_E(t) + EX_E(t) + EX_E(t) - IM_E(t) \\ C_P(t) + EX_P(t) + I(t) + EX_P(t) - IM_P(t) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

którego prawa strona to wektor, którego elementy to zrealizowany popyt na produkcję odpowiednio produktów E i P .

Przedstawiona za pomocą powyższych równań dwusektorowa gospodarka charakteryzowana jest również przez ograniczenia określające jej maksymalne zdolności produkcyjne. W obu sektorach, E i P , maksymalne zdolności produkcyjne są określane przez wielkość kapitału oraz maksymalną produktywność tego kapitału:

$$Q_j^{max} = PK_j^{max}(t) K_j(t), \quad j = E, P, \quad (5)$$

gdzie:

- $K_j(t)$ - wielkość kapitału w sektorze j w chwili t ,
- $PK_j^{max}(t)$ - maksymalna produktywność kapitału w sektorze j okresie t .

Równanie (4) pokazuje, jak popyt na dobra konsumpcyjne i inwestycyjne wraz z saldem handlu zagranicznego określają popyt na całkowitą wielkość produkcji w tych sektorach. Wektor popytu jest uzyskany przez przekształcenie równania (4):

$$\begin{bmatrix} Q_E^D \\ Q_P^D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - a_{EE}(t) & -a_{EP}(t) \\ -a_{PE}(t) & 1 - a_{PP}(t) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} C_E(t) + EX_E(t) + EX_E(t) - IM_E(t) \\ C_P(t) + EX_P(t) + I(t) + EX_P(t) - IM_P(t) \end{bmatrix} \quad (6)$$

Zrealizowana wielkość produkcji Q_j sektora $j, j = E, P$, jest określona jako minimum z popytu Q_j^D i maksymalnej podaży określonej przez maksymalną zdolność produkcyjną Q_j^{max} :

$$Q_j = \min [Q_j^D, Q_j^{max}], \quad j = E, P. \quad (7)$$

2. Popyt konsumpcyjny

Popyt konsumpcyjny $C(t)$ jest sumą popytu konsumpcyjnego na energię $C_E(t)$ oraz popytu na dobra P , $C_P(t)$ i import dóbr P na cele konsumpcyjne $IM_P^C(t)$:

$$C(t) = C_E(t) + C_P(t) + IM_P^C(t). \quad (8)$$

O wielkości $C_E(t)$ można założyć, że stanowi ona pewną egzogenicznie określoną część wydatków konsumpcyjnych $\alpha(t)$, $\alpha(t) = C_E(t) / C(t)$, która określa bezpośrednią energochłonność konsumpcji. Podobne założenie można przyjąć w odniesieniu do importu konsumpcyjnego dóbr P ; import tych dóbr stanowi egzogenicznie określoną część $\beta(t)$, $\beta(t) = IM_P^C(t) / C(t)$. Kształtowanie się wartości parametrów $\alpha(t)$ i $\beta(t)$ powinno być przedmiotem analiz związanych z opracowaniem scenariuszy symulacyjnych. Na ich podstawie popyt na wytwarzane w kraju dobra konsumpcyjne można przedstawić za pomocą następującej zależności:

$$C_P(t) = C(t) \{ 1 - [\alpha(t) + \beta(t)] \}. \quad (9)$$

Zależność (9) pokazuje, jaka część całkowitego popytu konsumpcyjnego kierowana jest na zakup dóbr konsumpcyjnych.

Wprowadzenie zależności określającej popyt na import konsumpcyjny wydaje się celowe, ponieważ w ten sposób stwarzana jest możliwość analizy następstw zmian struktury konsumpcji na emisję spowodowaną przez produkcję wytwarzaną w kraju.

Łączny popyt inwestycyjny jest sumą popytu inwestycyjnego w obu sektorach:

$$I(t) = I_P(t) + I_E(t).$$

3. Technologia produkcji, emisja zanieczyszczeń

Technologia $T_j(t)$, którą posługuje się sektor w produkcji jest wektorem składającym się z następujących składowych:

$$T_j(t) = T [a_{Ej}(t), a_{Pj}(t), PK_j^{max}(t), PL_j^{max}(t), \mu_j(t), \delta_j(t)], \quad j = E, P. \quad (10)$$

Pierwsze trzy składowe wektora $T_j(t)$ to wcześniej zdefiniowane odpowiednio: energochłonność, P - materiałochłonność produkcji oraz maksymalną wartość produktywności kapitału w j -tym sektorze.

Składowa czwarta wektora $T_j(t)$, $\mu_j^*(t)$, nazywana roboczo przeciętną emisyjogennością, określa wielkość emisji zanieczyszczeń przypadającą na jednostkę wytworzonej produkcji w sektorze $j, j = E, P$:

$$\mu_j(t) = M_j(t) / Q_j(t), \quad j = E, P; \quad (11)$$

gdzie $M_j(t)$ oznacza wielkość emisji zanieczyszczeń przez sektor j w okresie t .

Składowa ostatnia, $\delta(t)$, to dalej zdefiniowana stopa deprecjacji kapitału. Wyróżnia się dwie kategorie wartości parametrów technologicznych: krańcowe i przeciętne. Wielkości krańcowe opisują kapitał jednorodny, podczas gdy wielkości przeciętne opisują wartości tych parametrów odnoszące się do całego zasobu kapitału, który zazwyczaj składa się z niejednorodnego kapitału należącego do różnych jego generacji, charakteryzującego się różnymi wartościami parametrów technologicznych.

4. Kapitał, inwestycje, deprecjacja kapitału a zmiany techniczne

Rachunek kapitału prowadzony jest w cenach stałych.

Zasób kapitału w sektorze j jest w wielu modelach określany za pomocą następującej zależności:

$$K_j(t) = K_j(t-1) + I_j(t) - \delta(t)K_j(t-1) = K_j(t-1) [1 - \delta(t)] + I_j(t), \quad (12)$$

gdzie przez $\delta(t)$ oznaczono stopę deprecjacji kapitału w sektorze j w okresie t . Współczynnik $\delta(t)$ interpretuje się jako przepustowość określającą natężenie wypływu (strumienia zużytego kapitału) ze zbiornika jakim jest zasób kapitału. Gdy o współczynniku $\delta(t)$ zakłada się (najczęściej), że ma stałą wartość $\delta(t) = \delta$, jego ważną własnością jest to, że wyrażenie $\tau=1/\delta$ odpowiada przeciętnej długości życia kapitału w j -tym sektorze.

Równanie (12) jest często używanym w modelach ekonomicznych sposobem matematycznego opisu wpływu inwestycji na wielkość zasobu kapitału. Stosując to rozwiązanie modelowe należy mieć na uwadze własności tego rozwiązania. Jak wiadomo, zależność (12) można jednoznacznie przedstawić jako model opóźnienia rozłożonego opisującego zależność strumienia deprecjacji kapitału od przeszłych nakładów inwestycyjnych. Model ten ma rozkład opóźnienia będący rozkładem geometrycznym przesuniętym (opóźnionym) o jeden okres. Oznacza to, że największy udział w strumieniu deprecjacji kapitału ma kapitał zainstalowany w ostatnim okresie. Własność ta nie jest zgodna z rzeczywistością – w wielu działach gospodarki, na przykład w energetyce, okres eksploatacji środków trwałych określany jest w dziesiątkach lat i trudno zgodzić się, że największe zużycie przypada na pierwszy okres eksploatacji.

Alternatywą dla modelu (12) jest model, w którym jedno opóźnienie o rozkładzie geometrycznym jest zastępowane przez złożenie większej ich liczby, przy zachowaniu tej samej wartości przeciętnego okresu eksploatacji (średniej wartości opóźnienia)⁴.

Na rys. 1 przedstawiono natężenie strumienia deprecjacji kapitału w następstwie skokowego wzrostu inwestycji o 50%. Zakładamy, że system znajdował się w statycznym stanie ustalonym, tzn. zgodnie z definicją Solowa (2000) inwestycje były równe deprecjacji kapitału. Wzrost inwestycji powoduje nierównowagę, która ulega przywróceniu po pewnym czasie – następuje dostosowanie do nowego poziomu inwestycji. Nietrudno zauważyć, że w modelu (12) następuje natychmiastowy

⁴ Własności opóźnień omawiane są m. in. w Gadomski(1986)

Zastąpienie modelu (12) modelem (12a) miało na celu urealnienie opisu zjawisk rzeczywistych. Jednak wykorzystanie modelu bardziej złożonego wymaga znacznie więcej informacji. Po pierwsze, niezbędna jest znajomość warunków początkowych, tzn. struktury kapitału w chwili początkowej w poszczególnych fazach. Po drugie, przeciętny czas życia kapitału, będący wielkością technologiczną, powinien mieć tę samą wartość w obu modelach. Zatem

$$\tau_j = I/\delta_j = \sum_{l=1}^k \frac{I}{\delta_j^l} = \sum_{l=1}^k \tau_j^l.$$

W przypadku braku informacji o przeciętnych czasach przebywania kapitału w poszczególnych fazach, można przyjąć założenie o jednakowych wartościach współczynników, $\delta_j^l = \delta_j/k; l=1, \dots, k$.

Należy zwrócić uwagę, że parametr $\delta_j(t)$ ma dwoisty charakter. Z jednej strony jest to pewna wielkość technologiczna, charakteryzująca technologię. Z drugiej strony może to być wielkość decyzyjna; tak się może zdarzyć, jeśli zachodzi potrzeba szybszej, niż by to wynikało ze zwykłego zużycia, wymiany kapitału. Taki przypadek jest szczególnie ważny, gdy zachodzi konieczność dokonania szybkiej zmiany technologicznej ze względu na dostosowanie się do zmieniających się norm (na przykład emisji).

W celu ułatwienia opisu proponuje się nazywanie modelu (12) modelem jednofazowym a model (12a) modelem wielofazowym.

Inwestycje nie tylko wpływają w sposób ekstensywny na zdolności produkcyjne, lecz również stanowią nośnik zmian technologicznych. Rozważmy kształtowanie się przeciętnej produktywności kapitału $PK(t)$ w wybranym sektorze. Jeśli byśmy założyli, że stary kapitał charakteryzuje się określoną wartością tego parametru, a kapitał pochodzący z nowych inwestycji charakteryzuje inną wartość tego parametru, to przeciętna wartość tego parametru w całym zainstalowanym kapitale zależeć będzie od udziału nowego kapitału w zasobie całego kapitału.

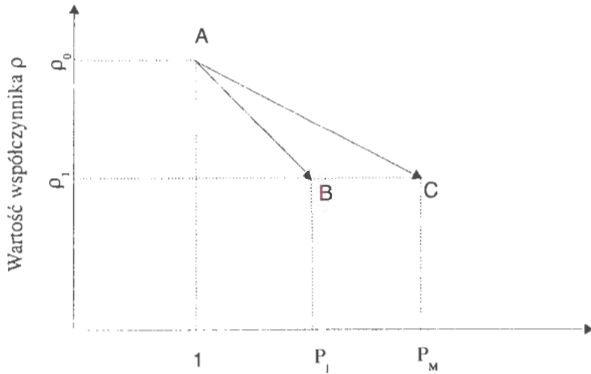
Nie bez znaczenia ma tu tempo wzrostu inwestycji; przy wzrastających inwestycjach udział kapitału młodszego jest wyższy niż w przypadku statycznego stanu ustalonego, co powoduje wyższe tempo zmiany wartości przeciętnej produktywności kapitału. Wynika stąd, że wyższe tempo inwestowania powoduje wyższe tempo zmian produktywności kapitału.

Przedstawiony mechanizm zmian produktywności kapitału w następstwie pojawienia się kapitału o nowej wartości krańcowej produktywności kapitału jest ściśle związany z procesem inwestowania. Uwzględnienie działania tego mechanizmu jest konieczne w analizie omówionej we wstępie strategii zmiany technologicznej.

Przedstawione dalej założenia mechanizmu inwestycyjnego oddziaływania na produktywność kapitału mają charakter na tyle ogólny, że można je stosować również w modelowaniu dynamiki zmian pozostałych parametrów technologicznych.

Opis mechanizmu zmian produktywności kapitału będzie w pierwszym przedstawiony na przykładzie jednofazowego modelu kapitału. Można wyróżnić dwa skrajne przypadki pozwalające na wyjaśnienie

przewodnictwa cieplnego, niż w przypadku ponoszenia dodatkowych nakładów związanych z tzw. docieplaniem budynków.



Rys.2. Zmniejszenie wartości współczynnika technologicznego, na przykład emisjogenności, w wyniku ponoszenia nakładów inwestycyjnych i modernizacyjnych

Na rys. 2 przedstawiono zależność między wartością współczynnika technologicznego a wysokością nakładów modernizacyjnych. Przedstawiony na rys.2 wykres ilustruje następujący problem. Stosowana do chwili początkowej technologia jest charakteryzowana przez wartość współczynnika technologicznego ρ_0 . Ponieważ rachunek kapitału jest prowadzony w cenach realnych, przyjmuje się, że cena jednostki kapitału wynosi 1. Niech dla przykładu współczynnikiem tym będzie współczynnik emisjogenności. W celu obniżenia wartości tego współczynnika do poziomu ρ_1 konieczny jest wybór strategii postępowania.

Czysta strategia zmiany technologicznej oznacza inwestowanie w nową generację kapitału, charakteryzującą się niższą wartością współczynnika ρ_1 . Należy założyć, że cena realna jednostki kapitału nowej generacji jest wyższa od jedności i wynosi P_I . Na podstawie analizy ilustrowanej przy pomocy rys.1 wiadomo, że przy statycznym stanie ustalonym, przeciętna wartość ρ_1 zostanie osiągnięta w przybliżeniu po upływie czasu odpowiadającego podwójnej wartości przeciętnego czasu życia kapitału. Czas osiągnięcia nowej wartości współczynnika ρ równej ρ_1 będzie tym krótszy, im wyższa będzie stopa wzrostu inwestycji. Wydatki inwestycyjne w roku t są równe:

$$I(t) P_I.$$

Warta teoretycznej analizy jest również szczególna odmiana strategii zmiany technologicznej, którą można by nazwać strategią przyspieszonej zmiany technologicznej. Strategia ta polega, z jednej strony, na inwestowaniu w nowe generacje kapitału, z drugiej zaś na przyspieszonej deprecjacji (wycofywaniu) kapitału starszej generacji przez zwiększenie wartości współczynników $\delta_j(t)$ (lub $\delta_j^l(t), \dots, \delta_j^k(t)$). Przy stosowaniu tej strategii zamierzona przeciętna wartość współczynnika ρ_1 osiągana

jest szybciej, lecz dokonuje się to kosztem obniżenia zdolności produkcyjnej określonej przez cały zasób kapitału.

Czysta strategia modernizacyjna wiąże się ponoszeniem nakładów mających na celu obniżenie wartości przeciętnej wartości współczynnika ρ do wartości ρ_1 . Wydaje się uzasadnione założenie, że kolejne zmiany wartości tego współczynnika mogą być uzyskiwane przy wyższych, w przeliczeniu na jednostkę kapitału, nakładach równych P_M (po uwzględnieniu pierwotnej ceny realnej równej 1). Ponadto, można założyć, że modernizacja nie może zapewnić „lepszych” wartości parametrów technologicznych, od parametrów charakteryzujących nową generację kapitału (punkt **B** na rys.2). Koszt modernizacji kapitału $K_f(t)$ wynosi zatem:

$$K_f(t) (P_M - I).$$

Podsumowując przedstawiono wyżej strategie czyste, można stwierdzić, że strategia modernizacyjna nie musi być bezwarunkowo lepsza, ponieważ jej realizacja wymaga dłuższego czasu. Czysta strategia modernizacyjna, chociaż wiąże się z koniecznością ponoszenia wyższych nakładów na jednostkę kapitału, daje, przy przyjętych założeniach, szybszy efekt.

II. Model jednosektorowy

Celem opracowania modelu jednosektorowego jest przeprowadzenie wstępnej analizy związku między produkcją, inwestycjami i emisją zanieczyszczeń. W porównaniu z konstrukcją modelu jednosektorowego, konstrukcja tego modelu jest znacznie uproszczona. Wszystkie działy gospodarcze są połączone w jeden agregat. Gospodarka jest interpretowana jak system produkujący tylko jedno dobro, którego efektem ubocznym jest emisja zanieczyszczeń.

Struktura kapitału ze względu na fazy jego zużycia jest uproszczona i ograniczona do modelu jednofazowego. Pociąga to za sobą również uproszczenie mechanizmu inwestycyjnego oddziaływania na parametry technologiczne (kapitału). Dynamika kapitału jest opisana przez równanie (12) dostosowane zapisem do modelu jednosektorowego i jednofazowego:

$$K(t) = K(t-1) [1 - \delta] + I(t),$$

gdzie $I(t)$ jest zmienną decyzyjną określającą wielkość inwestycji w nowy kapitał.

Zakłada się, że gospodarka jest otwarta, w związku z czym import netto (różnica między importem i eksportem) może przyjmować wartości dodatnie (przy ujemnym saldzie handlu zagranicznego) oraz ujemne (przy dodatnim saldzie handlu zagranicznego). Zakłada się ponadto, że import netto jest finansowany przez zaciąganie kredytu, podczas gdy nadwyżka w handlu zagranicznym jest równoważna udzieleniu zagranicy oprocentowanego kredytu.

Wielkość produkcji globalnej $Q(t)$ w roku t jest określona, podobnie jak w modelu jednosektorowym, przez następującą zależność:

$$Q(t) = PK^*(t) K(t), \tag{14}$$

gdzie: $PK^*(t)$ - przeciętna produktywność kapitału w okresie t . obliczana na podstawie dostosowanego wzoru (13):

$$PK^*(t+1) = PK^*(t) + [I(t)/K(t)] [PK(t) - PK^*(t)]$$

W modelu jednosektorowym zmianę produktywności kapitału osiąga się tylko przez zmiany inwestycyjne – inwestycje modernizacyjne w pierwszej wersji nie są analizowane.

Emisja $M(t)$ CO₂ w roku t jest określona, podobnie jak w modelu dwusektorowym, za pomocą następującego równania:

$$M(t) = \mu^*(t) Q(t), \quad (15)$$

gdzie $\mu^*(t)$ to tzw. współczynnik przeciętnej emisjogenności oznaczający przeciętną wielkość emisji przypadającą na jednostkę wytworzonej produkcji globalnej. O współczynniku $\mu^*(t)$ przyjmuje się założenia podobne do założeń modelu dwusektorowego, a jego dynamikę opisuje następujące, oparte na zależności (13), równanie:

$$\mu^*(t+1) = \mu^*(t) + [I(t)/K(t)] [\mu(t) - \mu^*(t)].$$

Podział produkcji na cele produkcyjne (zużycie pośrednie) oraz ostateczny na inwestycje i konsumpcję musi uwzględniać rozliczenia z zagranicą, na które składają się: import netto, spłata rat zadłużenia, obsługa zadłużenia oraz opłaty/przychody z tytułu przekroczenia /niewykorzystania limitu emisji.

Wyrażenie $[N(t) - \mu(t) Q(t)]$ oznacza przychód⁶ ze sprzedaży niewykorzystanego limitu emisji $N(t)$ (gdy $N(t) - \mu(t) Q(t) \geq 0$) po cenie p_e , lub opłatę⁷ za wykup zezwolenia na emisję ponad przyznaną normę (gdy $N(t) - \mu(t) Q(t) \leq 0$) również po cenie p_e .

Obsługa zadłużenia w roku t jest związana ze spłatą odsetek od długu według stanu na początku roku (końcu poprzedniego roku tj. $t-1$):

$$r(t) D(t-1), \quad (16)$$

gdzie przez $r(t)$ oznaczono średnią wartość stopy procentowej w roku t , a przez $D(t-1)$ stan zadłużenia na początku roku (końcu poprzedniego roku). Gdy kraj jest wierzycielem netto, obsługa długu, który ma wtedy wartość ujemną, stanowi nie obciążenie, a wpływ do bilansu płatniczego.

Spłaty zadłużenia odbywają się w ratach. Wysokość spłacanej w roku t raty jest określona za pomocą następującej zależności:

$$D(t-1)/T_D, \quad (17)$$

gdzie T_D oznacza przeciętny okres spłat zadłużenia. Podobnie jak w przypadku obsługi długu, gdy państwo jest wierzycielem netto, zależność (17) oznacza wpływ finansowy.

Uwzględniając (16) i (17) równanie zadłużenia (ew. wierzycielności) ma następującą postać:

$$D(t) = D(t-1) + IMP(t) - D(t-1)/T_D = IMP(t) + D(t-1)[1 - 1/T_D]. \quad (18)$$

Zadłużenie jest powiększane przez import $IMP(t)$ oraz zmniejszane przez spłaty rat. Import jest wielkością decyzyjną.

⁶ w okresie rozliczeniowym

⁷ w okresie rozliczeniowym

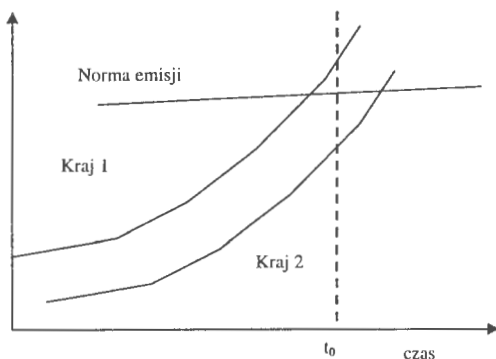
Część a produkcji globalnej $Q(t)$ jest zużywana na cele produkcyjne, zatem wielkość $Y(t)$ przeznaczona na cele krajowych konsumpcji i inwestycji, z uwzględnieniem salda wymiany międzynarodowej, jest równa:

$$Y(t) = [1 - a] Q(t) + IMP(t) + p_e [N(t) - \mu(t) Q(t)] - r(t)D(t-1) - D(t-1)/T_D = C(t) + I(t). \quad (19)$$

Z równania (19) wynika, że w ostatecznym podziale produktu wymiana międzynarodowa może odgrywać poważną rolę.

Ograniczenia

Z literatury na temat teorii wzrostu wiadomo, np. Solow(1960), że wzrost gospodarczy następuje, gdy stopa inwestycji (stosunek inwestycji $I(t)$ do produktu $Y(t)$) jest większa od stopy deprecjacji kapitału δ .



Rys.3 Sytuacja dwóch krajów: kraj 1 dotknięty przez limit emisji oraz kraj 2, niewykorzystujący limitów emisji

Zaostrzenie norm emisji CO_2 wymusza niekorzystną zmianę produktywności kapitału – spadek produktywności kapitału nowej generacji (wzrost kapitałochłonności). Wynika to stąd, że stosowanie technologii emitujących mniej CO_2 na jednostkę produkcji (co jest warunkiem koniecznym utrzymania wzrostu gospodarczego) jest droższe w kategoriach realnych, zatem utrzymanie tempa wzrostu gospodarczego mogłoby być w pewnych granicach możliwe pod warunkiem ograniczenia konsumpcji i /lub wzrostu zadłużenia zagranicznego. W pewnym sensie mamy tu do czynienia ze zjawiskiem „ujemnego” postępu technicznego.

W uproszczony sposób problem zilustrowano na rys.3, na którym przedstawiono ścieżki wzrostu emisji dwóch krajów stosujących „starą” technologię, z których pierwszy natrafia na barierę emisji, natomiast drugi uzyskuje w okresie t_0 niewykorzystane nadwyżki (w stosunku do wspólnej normy emisji).

W przypadku kraju 1 generalnym następstwem przestrzegania norm emisji musi być istotne spowolnienie wzrostu gospodarczego. Wynika to stąd, że kraj 1 musi wybrać którąś z dwóch wyżej wymienionych strategii czystych, bądź mieszkankę tych strategii.

W przypadku kraju 2, mającego w okresie t_0 niewykorzystane limity emisji, może dojść do utrzymania przewagi, a nawet jej zwiększenia. Mogłoby się tak stać, gdyby środki uzyskane ze sprzedaży nadwyżek emisji zostały wykorzystane jako dodatkowe nakłady na wymianę kapitału, które nie tylko poprawiłyby ich wskaźniki emisji, ale również nie stanowiłyby obciążenia ani dla bilansu płatniczego, ani dla dynamiki konsumpcji.

Funkcja celu

Powyższe uwagi prowadzą do sformułowania następujących alternatywnych funkcji celu:

$$\max \sum_{t=1}^T C(t)(1+s)^{-t}, \quad (22a)$$

$$\max \sum_{t=1}^T Y(t)(1+s)^{-t}. \quad (22b)$$

Symbol s w funkcji celu (22) oznacza stopę dyskontującą, której wartości dodatnie nadawałyby większą wagę zmiennym z początku okresu, a wartości ujemne przykładałyby większą wagę do zmiennych z końca okresu.

Funkcja (22a) ma tę zaletę, że ujmuje ostateczny cel polityki makroekonomicznej: maksymalizację konsumpcji. jej niedogodność wiąże się z niebezpieczeństwem tego, że optymalna wielkość pod koniec okresu może być uzyskiwana kosztem spadku inwestycji. Dlatego stosowanie funkcji (22a) wymaga analizy mającej na celu zbadanie, czy niedogodność związana z tą funkcją może być zneutralizowana przez wydłużenie horyzontu optymalizacji lub wprowadzenie dodatkowego ograniczenia zabezpieczającego przed nadmiernym spadkiem stopy inwestycji. Z powodu wymienionych problemów związanych z wykorzystaniem funkcji celu (22a) warte rozważenia jest stosowanie funkcji celu (22b).

Niezależnie od wyboru funkcji celu w zadaniu optymalizacji powinny być uwzględnione ograniczenia nakładane na politykę gospodarczą. Ograniczenia te wiążą się z koniecznością respektowania pewnych, nieujętych w modelu reguł gospodarczych takich, jak zachowanie równowagi zewnętrznej, niedopuszczenie do nadmiernego spadku konsumpcji itp.

Zadłużenie zagraniczne: końcowy dług lub należność nie powinny przekraczać ustalonej wielkości D' (np. $D' = \frac{1}{2}Y(t)$):

$$|D(t)| \leq D'.$$

Literatura:

Gadomski J.(1986); Modele opóźnienia rozłożonego ze zmiennymi współczynnikami wagowymi, Prace IBS PAN, Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa 1986.

Meadows D. (1974): *Limits to Growth in the Finite World*, Cambridge, Massachusetts, 1974.

Leontief V. (1986): *Input-Output Economics*, Oxford University Press, New York, 2nd edition.

Plich M.(1998), Model ekonomiczno-ekologiczny dla gospodarki Polski. Część I, Problemy i metody, Broker Info, Łódź 1998.

Solow R. (1960): *Investment and Technical Progress*, w: *Mathematical Methods in the Social Sciences*, Stanford University Press.

