



**Mateusz Guzikowski**

Szkoła Główna Handlowa w Warszawie  
Kolegium Zarządzania i Finansów  
Katedra Ekonomii Stosowanej  
mateusz.guzikowski@sgh.waw.pl

**Patrycja Guzikowska**

Szkoła Główna Handlowa w Warszawie  
Kolegium Zarządzania i Finansów  
Katedra Ekonomii Stosowanej  
guzikowska.patrycja@gmail.com

## ZAGADNIENIE RÓWNOWAGI MAKROEKONOMICZNEJ W WARUNKACH NADMIERNEJ EKSPLOATACJI ZASOBÓW ŚRODOWISKA NATURALNEGO

**Streszczenie:** Celem artykułu jest przedstawienie autorskiej koncepcji modelu wzrostu, który pokazywałby wpływ ograniczenia wytwórczości PKB w postaci skończonych (ograniczonych i co najmniej stopniowo odnawialnych) zasobów środowiska naturalnego na istnienie długookresowej równowagi i jej stabilność. Następnie zaproponowany model zostanie następnie poddany analizie wrażliwości istnienia stanu(-ów) równowagi w zależności od zmian parametrów. Wykazujemy, że nadmierna eksploatacja nieodnawialnych zasobów środowiska naturalnego może prowadzić do całkowitego zaniku gospodarki lub co najmniej utknięcia gospodarki w stabilnej równowadze, trwale niższej od równowagi możliwej do osiągnięcia w przypadku mniej intensywnej eksploatacji zasobów.

**Słowa kluczowe:** nadmierna eksploatacja środowiska, równowaga, wzrost gospodarczy.

**JEL Classification:** O44.

### Wprowadzenie

Rozwój teorii wzrostu zainspirowany został pracami przedstawicieli ekonomii klasycznej (A. Smitha, T. Malthusa i D. Ricardo). W czasach im współczesnych uważano, że ograniczona podaż ziemi (lub szerzej: zasobów przyrodniczych) stanowi jedną z najistotniejszych barier rozwoju gospodarki. W okresie, gdy rolnictwo miało bardzo duży (większy niż współcześnie) udział w wytwor-

rzonym produkcie, ograniczona podaż ziemi (czynnika nieodtworzalnego) mogła (i tak też się działo) ograniczać zdolności rozwojowe gospodarki<sup>1</sup>.

Współcześnie, mimo iż w teorii wzrostu rola ziemi jako czynnika produkcji została zmarginalizowana<sup>2</sup>, trudno wyobrazić sobie wytwarzanie PKB bez jej udziału. Z kolei w wielu niezamożnych krajach prymitywne rolnictwo wciąż odpowiada za znaczną część wytworzonego PKB. Problem ograniczonej podaży ziemi dotyka – lecz w inny sposób – również gospodarki krajów rozwiniętych. Wybudowanie nowej fabryki, centrum logistycznego czy portu intermodalnego – znacznie zwiększających wydajność produkcji – również wymaga dysponowania zasobem ziemi<sup>3</sup>. W ten sposób rzadkość ziemi może stanowić (istotną) barierę wzrostu, niezależnie od osiąganego przez dany kraj poziomu PKB<sup>4</sup>.

Coraz większą rolę współcześnie przywiązuje się jednak do każdej działalności człowieka, której następstwem jest szeroko rozumiana degradacja środowiska naturalnego [Janssen, Scheffer, 2004]. W ten sposób współczesną barierą wzrostu, w świecie międzynarodowych przepływów czynników produkcji, nie jest skończony ich zasób występujący na danym terytorium, lecz możliwość jego nadmiernej eksploatacji na poziomie światowym. Istotne jest przy tym dostrzeżenie współzależności gospodarek w oddziaływaniu na środowisko naturalne.

Dotychczasowe modele wzrostu jedynie w ograniczony sposób ujmowały istotę zagrożeń dla środowiska naturalnego płynących z nadmiernej eksploatacji zasobów. Ograniczały się raczej do uwzględniania bariery w postaci skończonych zasobów ropy naftowej czy ziemi, których zasoby traktowane były w sposób egzogeniczny dla gospodarki. Naszym zdaniem podejście to nie jest właściwe, dlatego proponujemy ujęcie zasobów środowiska w sposób endogeniczny. Dzięki temu podejście to wypełnia lukę w dostępnym stanie wiedzy. Główną przesłanką przemawiającą za takim ujęciem jest oddziaływanie gospodarki danego kraju (krajowych czynników produkcji) na zasoby środowiska, jakimi dysponuje. Innymi słowy – to od intensywności procesu wytwarzania PKB zależy poziom dostępnych (tj. pozostałych do wykorzystania<sup>5</sup>) czynników przyrodni-

<sup>1</sup> Próbą przełamania tej naturalnej bariery wzrostu była kolonizacja nowych ziem.

<sup>2</sup> Choćby na rzecz akumulacji kapitału, procesów tworzenia nowych technologii, w których upatruje się obecnie podstawowego źródła długookresowego wzrostu.

<sup>3</sup> Nabycie ziemi wymaga posiadania odpowiednich środków pieniężnych (kapitału w wąskim ujęciu) oraz odpowiednio skonstruowanego systemu instytucjonalnego (praw własności), który gwarantowałby usankcjonowanie prawne nabytej ziemi (tytuł prawa własności) oraz chronił przed jej utratą.

<sup>4</sup> Niektóre zamożne państwa lub terytoria (Singapur, ZEA, Hongkong) stać na krótkookresowe przełamanie tej bariery poprzez usypywanie sztucznych wysp.

<sup>5</sup> Pozostałe do wykorzystania czynniki produkcji mogą być całkowicie nieodnawialne (jak np. ropa naftowa) lub odnawiają się w długim horyzoncie czasowym (m.in. drzewostan). Nie podważa to jednak poprawności sformułowanej tezy.

czych. Dobrą ilustracją prezentowanego przez nas ujęcia jest przykład Wyspy Wielkanocnej, który przywołujemy w ostatniej części tekstu.

Celem artykułu jest przedstawienie autorskiej koncepcji modelu wzrostu, który pokazywałby wpływ ograniczenia wytwórczości PKB w postaci skończonych (ograniczonych i co najmniej stopniowo odnawialnych) zasobów środowiska naturalnego na istnienie długookresowej równowagi i jej stabilność. Następnie zaproponowany model zostanie następnie poddany analizie wrażliwości istnienia stanu(-ów) równowagi w zależności od zmian parametrów.

W tekście przyjmujemy, że środowiskową barierą wzrostu gospodarczego (*e*) jest ograniczona podaż dostępnych naturalnych czynników produkcji, która prowadzi do wystąpienia co najmniej jednego z dwóch zjawisk: nadmiernej eksploatacji (dostępnych zasobów naturalnych czynników produkcji), która ma miejsce w procesie tworzenia PKB; nadmiernego zanieczyszczenia dostępnych zasobów naturalnych czynników produkcji (bez ich eksploatacji) wynikającego z procesu tworzenia PKB, niekoniecznie wykorzystującego dostępne zasoby, oddziałującego na ich jakość. W ten sposób barierę w postaci ograniczoności środowiska naturalnego w prezentowanym modelu można traktować jako istotne ograniczenie ludzkiej działalności w długim okresie, a przez to można ją postrzegać jako istotny czynnik oddziałujący na długookresowe tempo wzrostu z perspektywy współczesnych zagrożeń klimatycznych i/lub nadmiernej (rabunkowej) eksploatacji dostępnych zasobów (degradacja i dewastacja środowiska naturalnego w wymiarze lokalnym, regionalnym, krajowym i międzynarodowym). W artykule wykorzystano następujące metody badawcze: metodę teoretyczną (formalizację) i metodę empiryczną (analiza wrażliwości).

## 1. Przegląd literatury

Wydaje się, że pierwszym ekonomistą, który zwrócił uwagę na rzadkość zasobów i jej następstwo w postaci zmniejszonego produktu, był Malthus. W swoim najśłynniejszym dziele [Malthus, 1798, s. 71-72, 224-225] stwierdził, że „natura rozrzuciła ziarna życia ręką wielce hojną i liberalną”, choć wskazał w innym miejscu, że „była jednocześnie dość skąpa, jeśli chodzi o przestrzeń i pożywienie niezbędne do ich utrzymania”.

Bez wątplenia jednak współcześnie najbardziej rzutującym na postrzeganie roli ograniczonych zasobów w tworzeniu zamożności społeczeństw jest raport Klubu Rzymskiego z 1972 r. *Granice wzrostu (Limits to Growth)* [Meadows i in., 1972]. Raport ten był na wielu płaszczyznach krytykowany za metodologię badań i katastroficzne wizje, stąd też wspominamy o nim jedynie jako o pewnym

głosie w toczącej się debacie o sposobie wykorzystania zasobów środowiska naturalnego. Bez wątplenia jednak w ciągu ostatnich blisko 50 lat od opublikowania raportu postęp techniczny pozwolił na bardziej wydajne wykorzystanie skończonych zasobów oraz odkrycie ich nowych źródeł, dzięki czemu „granice wzrostu” zostały przesunięte.

Formalizacja zagadnień, o których piszemy, miała miejsce w następstwie opublikowania rzeczowego raportu. Za najbardziej znaną uchodzi koncepcja Nordhaus [1992], w której autor przedstawił – niejako w odpowiedzi na argumentację członków Klubu Rzymskiego – sformalizowany model, w którym gospodarka przełamuje barierę zasobową, co wynika m.in. z właściwego gospodarowania ograniczonymi zasobami i postępu technicznego. Jego szacunki potwierdzają negatywny wpływ bariery środowiskowej na dynamikę wzrostu PKB *per capita*.

J.D. Sachs i A.M. Warner [1995] stwierdzili, że kraje, które są względnie bogatsze w zasoby naturalne, rozwijały się względnie wolniej niż kraje, które dysponowały mniejszymi złożami. Wynik ten, zdaniem autorów, jest zaskakujący o tyle, że tradycyjna (archaiczna, właściwa ekonomii klasycznej) teoria wzrostu upatrywała w obfitości zasobów środowiska naturalnego. Zdaniem autorów wyjaśnienie tego fenomenu znajduje się w czynnikach instytucjonalnych (m.in. otwartości handlowej, stopniu zbiurokratyzowania gospodarki i in.).

T. Gylfason [2001] sformułował z kolei cztery kanały oddziaływania surowców naturalnych na gospodarkę kraju zasobnego w surowce. Kraje dysponujące dużymi złożami surowców charakteryzują: niższy wolumen handlu zagranicznego, większa korupcja, mniejsze wydatki na edukację i niższy poziom krajowych inwestycji. Zmienne te są z kolei determinantami wysokiego tempa wzrostu. Warto jednak pamiętać, że praca Gylfasona – choć jakościowa – dotyczy zagadnienia stosunkowo często analizowanego w literaturze przedmiotu, jakim są dostęp do źródeł surowców naturalnych i ich wpływ na gospodarkę danego kraju<sup>6</sup>.

D. Chambers i J.T. Guo [2009] skonstruowali z kolei model endogenicznego wzrostu, w którym odnawialne surowce są zarówno czynnikiem produkcji, jak i miarą jakości środowiska. Autorzy pokazali, że na ścieżce zrównoważonego wzrostu obserwujemy zjawisko samopodtrzymującego się wzrostu, a równocześnie nie pogarszanie się stanu środowiska naturalnego. Co więcej, autorzy stwierdzają, że wykorzystanie środowiska naturalnego jest dodatnio związane z poziomem dynamiki wzrostu w stanie ustalonym.

---

<sup>6</sup> Wystarczy wspomnieć chociażby bogatą literaturę dotyczącą tzw. choroby holenderskiej.

Pomimo licznych prac teoretycznych i empirycznych, których przegląd znaleźć można m.in. w publikacji T. Havranka, R. Horvatha i A. Zeynalova [2016], w żadnej z dotychczas przedstawionych koncepcji nie ujęto środowiskowej bariery wzrostu gospodarczego jako luki między zasobami dostępnego środowiska naturalnego a aktualnym – i wzrastającym w czasie – poziomem kapitału fizycznego na jednostkę efektywnej pracy. Zasoby naturalne traktowane we wszystkich modelach jako czynnik produkcji charakteryzujący się, co do zasady, malejącą krańcową produktywnością. Nie brano jednak pod uwagę sytuacji, w której czynnik ten może się wyczerpać, przez co – nawet w przypadku postępu technicznego przełamującego malejące krańcowe produktywności, dojdzie do załamania i upadku gospodarki. Zasygnalizowany problem uzasadnia wypełnienie luki badawczej poprzez skonstruowanie nowego modelu wzrostu, który uwzględniłby omawiane zależności.

## 2. Model – założenia i postać formalna

Model, który proponujemy, jest neoklasycznym modelem wzrostu Solowa wzbogaconym o oddziaływanie środowiskowej bariery wzrostu<sup>7</sup> na proces wytwarzania produktu.

Przyjmijmy, że zbiór efektywnych metod wytwórczych opisuje odwzorowanie typu Cobba–Douglasa, spełniające wszystkie założenia neoklasycznej funkcji produkcji<sup>8</sup>, zaś gospodarka charakteryzowana jest standardowym zestawem równań (w czasie dyskretnym):

$$Y_t = F(K_t, A_t L_t) = K_t^\alpha (A_t L_t)^{1-\alpha} \quad (1)$$

$$Y_t = C_t + I_t \quad (2)$$

$$I_t = sY_t \quad (3)$$

$$L_{t+1} = (1 + n)L_t \quad (4)$$

$$K_{t+1} = sY_t + (1 - \delta)K_t \quad (5)$$

$$A_{t+1} = (1 + g)A_t \quad (6)$$

Parametry:  $s$  (stopa oszczędności),  $n$  (stopa przyrostu naturalnego),  $\delta$  (stopa deprecjacji kapitału),  $g$  (dynamika postępu technicznego) są dodatnie i zadane

<sup>7</sup> Dostępnych całkowicie nieodnawialnych (lub odnawialnych w dłuższym horyzoncie czasowym) zasobów środowiska naturalnego wykorzystywanych w procesie tworzenia PKB.

<sup>8</sup> W szczególności zaś malejące krańcowe przychody względem czynników wytwórczych oraz stałe korzyści skali.

egzogenicznie. Dodatkowo spełnione są następujące warunki:  $s \in (0,1)$ ,  $\delta \in (0,1)$ ; gospodarka dysponuje wyjściowo pewnym dodatnim poziomie technologii i kapitału.

Korzystając z faktu, że opisana funkcja produkcji<sup>9</sup> (1) jest jednorodna stopnia pierwszego, można wyrazić ją w jednostkach efektywnej pracy (skonstruować tzw. funkcję produkcji w postaci intensywnej):

$$y_t = \frac{Y_t}{A_t L_t} = F\left(\frac{K_t}{A_t L_t}, \frac{A_t L_t}{A_t L_t}\right) = k_t^\alpha \quad (7)$$

gdzie:  $k_t = \frac{K_t}{A_t L_t}$ .

Określając (5) w jednostkach efektywnej pracy przy wykorzystaniu (7), otrzymujemy standardowe równanie ruchu kapitału [Sørensen, Whitta-Jacobsen, 2010]:

$$k_{t+1} = \frac{K_{t+1}}{A_{t+1} L_{t+1}} = \frac{s}{(1+n)(1+g)} y_t + \frac{(1-\delta)}{(1+g)(1+n)} k_t \quad (8)$$

W gospodarce opisanej równaniami (1)-(8) istnieje dokładnie jeden niezerowy stan ustalony. Jest nim taki poziom  $k^*$ , dla którego dynamika zmian poziomu kapitału na jednostkę efektywnej pracy w czasie jest zerowa  $\Delta k_t = 0$ .

Z przekształceń algebraicznych równania (8) otrzymujemy równanie służące wyznaczeniu poziomu kapitału na jednostkę efektywnej pracy w stanie ustalonym ( $k^*$ ), które określa go jako funkcję egzogenicznych parametrów modelu:

$$k^* = \left(\frac{s}{n+g+\delta}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \quad (9)$$

Z równania (9) wnioskujemy, że wielkość kapitału (ale także produktu i konsumpcji) na jednostkę efektywnej pracy w stanie ustalonym jest stała w czasie. Oznacza to, że gdyby gospodarka znalazła się inicjalnie z poziomem  $k$  mniejszym (lub większym) od tego, który oszacowany jest dla stanu ustalonego, będzie do niego zmierzać (przez proces akumulacji [lub deakumulacji] kapitału). Kiedy dynamika ruchu kapitału ustanie (gospodarka znajdzie się w stanie ustalonym), gospodarka pozostanie w nim do momentu wystąpienia egzogenicznego szoku (zmieniającego parametry modelu).

Model Solowa sugeruje, że gospodarka znajduje się w stabilnej równowadze do momentu, aż nie zadziałają na nią egzogeniczne szoki zmieniające wielkość parametrów. Po okresie przejściowym gospodarka trafia do nowego stanu ustalonego i pozostaje w nim tak długo, aż nie wystąpi kolejny szok. Współcze-

<sup>9</sup> Postęp techniczny jest neutralny w sensie Harroda i wzrasta w stałym egzogenicznym tempie  $g$ .

sne gospodarki są jednak nieustannie wytrącane ze swoich stanów ustalonych przez szoki (egzo- i endogeniczne). Oznacza to zatem, że mamy do czynienia nie z jednym, lecz z wieloma stanami równowagi, które nieustannie zmieniają swoje położenie [Garbicz, 2005]. Gospodarka jest więc wytrącana przez nie z jednej trajektorii rozwoju, obierając inną i dążąc do innego stanu równowagi [Day, 1982]. Szoki zatem uniemożliwiają gospodarce dotarcie do długookresowej równowagi rozumianej jako stan stacjonarny.

Wprowadźmy do rozważanego modelu Solowa multiplikatywny człon pokazujący nam redukcję wydajności produkcji wynikającą z oddziaływania środowiskowej bariery wzrostu gospodarczego ( $e$ ). Traktujemy ją jako ograniczoną podaż dostępnych naturalnych czynników produkcji, która prowadzi do wystąpienia co najmniej jednego z dwóch zjawisk: nadmiernej eksploatacji (dostępnych zasobów naturalnych czynników produkcji), która ma miejsce w procesie tworzenia PKB; nadmiernego zanieczyszczenia dostępnych zasobów naturalnych czynników produkcji (bez ich eksploatacji) wynikającego z procesu tworzenia PKB niekoniecznie wykorzystującego dostępne zasoby, oddziałującego na ich jakość. Na środowiskową barierę wzrostu gospodarczego możemy również patrzeć szerzej – negatywne oddziaływanie środowiska może być związane np. z rosnącymi negatywnymi efektami zewnętrznymi związanymi ze wzmocnioną eksploatacją środowiska naturalnego (zanieczyszczenia). Parametr  $e$ , w szerszym kontekście, może być więc interpretowany jako miara zanieczyszczeń związanych z eksploatacją środowiska naturalnego. Przy wzroście gospodarczym gospodarka natrafiać zatem będzie na jego naturalne ograniczenie w postaci zasobów środowiska naturalnego (a dokładniej: granicznej wartości skali skażenia środowiska, której przekroczenie spowoduje jej upadek<sup>10</sup>):

$$y_t = \frac{Y_t}{A_t L_t} = k_t^\alpha (e - k_t)^\omega \quad (10)$$

Interpretacja członu wprowadzonego do równania PKB na jednostkę efektywnej pracy jest następująca: jeśli w gospodarce rozsądnie dysponuje się zasob-

<sup>10</sup> Można wyobrazić to sobie za pomocą następującego przykładu: ekstensywne wykorzystanie gleby poprzez jej nawożenie doprowadzi do skażenia wody. Zakładając, że zasób technologii (w tym oczyszczania wody) jest stały (lub zmienia się stosunkowo wolno), a gospodarka jest zamknięta (co wynika także z równań modelu), rosnące wykorzystanie ziemi będzie przejawiało się wzrostem skali nawożenia (aby utrzymać na jałowiejącej ziemi dany poziom plonów), a zatem wzrostem skażenia wody, której – przy danym postępie technicznym – nie będzie można skutecznie oczyszczać. Część populacji będzie musiała spożywać skażoną wodę i wyłącznie od skali jej skażenia i poziomu zdrowotności populacji zależeć będzie tempo śmiertelności. Zmniejszenie liczebności populacji wcale nie musi jednak prowadzić do wzrostu produktu *per capita*, co wynika również z prezentowanego modelu.

bami (tj. nie prowadzi się ich intensywnej [rabunkowej] eksploatacji), można uniknąć oddziaływania środowiskowej bariery wzrostu, jednak odbywać się to będzie zawsze kosztem zmniejszonego przyrostu produkcji. Parametr  $\omega$  możemy interpretować jako elastyczność produktu na jednostkę efektywnej pracy względem stopnia wykorzystania dostępnych zasobów środowiska naturalnego.

W równaniu (10) przyjmujemy początkowo, że  $e > k_t$ , co jest tożsame ze stwierdzeniem, że gospodarka nie osiągnęła jeszcze środowiskowej bariery wzrostu naturalnego. Innymi słowy, możliwa jest dalsza „bezkosztowa” eksploatacja środowiska, co przyczynia się do wzrostu produktu na jednostkę efektywnej pracy<sup>11</sup>. Przyjmujemy, że  $e$  i  $\omega$  są pewnymi dodatnimi parametrami.

Jeśli  $e = k_t$ , to osiągnęliśmy pewien krytyczny stan wykorzystania zasobów środowiska<sup>12</sup>, tak że jego dalsze zwiększanie wiąże się z powstaniem negatywnych efektów zewnętrznych związanych z eksploatacją środowiska naturalnego nad dodatnimi efektami związanymi ze wzrostem poziomu produktu (mierzonego PKB na jednostkę efektywnej pracy).

Jeśli z kolei przyjmujemy, że  $\omega$  jest bliska zeru, możemy zapisać, że zachodzi:

$$\lim_{\omega \rightarrow 0} (e - k_t)^\omega = 1 \quad (11)$$

co oznacza, że w miarę zmniejszania roli środowiska dla procesu produkcji nasza funkcja produkcji odpowiada – w zależności od tego, jak mała jest  $\omega$  – w przybliżeniu funkcji produkcji typowej dla modelu Solowa, którą opisaliśmy powyżej<sup>13</sup>.

Istotna w naszej analizie jest odpowiedź na następujące pytanie: czy dla tak wyspecyfikowanego modelu również będziemy mieć do czynienia ze stabilnym rozwiązaniem? Podstawiając nową formułę opisującą produkcję w tej gospodarce (10) do równania (8), otrzymujemy nowe równanie ruchu kapitału:

$$k_{t+1} = \frac{s}{(1+n)(1+g)} k_t^\alpha (e - k_t)^\omega + \frac{(1-\delta)}{(1+g)(1+n)} k_t \quad (12)$$

<sup>11</sup> Zatem, dla przykładu, wybudowanie kolejnej fabryki prowadzi do wzrostu, a nie do zmniejszenia produktu, co mogłoby nastąpić, gdyby w gospodarce stosowane były nieefektywne (tj. szkodliwe dla środowiska) metody wytwórcze, których skutkiem jest skażenie wody i/lub powietrza, przyczyniające się do zwiększonej zapadalności na choroby i/lub śmiertelności mieszkańców okolicznych miejscowości. W takiej gospodarce zwiększenie liczby fabryk (nakładów kapitału na jednostkę efektywnej pracy) prowadzić będzie zamiast do wzrostu – do spadku produktu.

<sup>12</sup> Innymi słowy gospodarka dotarła do krytycznego punktu zanieczyszczenia środowiska (lub zniszczenia jego elementów, np. poprzez rabunkową gospodarkę leśną), którego przekroczenie będzie prowadziło w długim okresie do całkowitej zapaści gospodarczej (produkcja spadnie do zera).

<sup>13</sup> Dla  $\omega = 0$  funkcja produkcji jest taka sama, jak w standardowym modelu Solowa.



Jako że wielkość  $\frac{s}{(1+n)(1+g)}$  jest stała w czasie (i dodatnia), można oznaczyć ją – dla uproszczenia – jako  $B$ , zaś relację  $\frac{(1-\delta)}{(1+g)(1+n)}$  (również stałą w czasie i dodatnią) jako  $C$ . Nowe równanie ruchu kapitału przyjmuje zatem następującą postać:

$$R(k) \equiv k_{t+1} = Bk_t^\alpha (e - k_t)^\omega + Ck_t \quad (13)$$

Aby znaleźć rozwiązania powyższego równania, obliczmy pierwszą pochodną i przyrównajmy ją do zera. Dla uproszczenia pomijamy subskrypty czasowe:

$$\begin{aligned} \frac{\partial R(k)}{\partial k} &= \alpha Bk^{\alpha-1}(e-k)^\omega - \omega Bk^\alpha(e-k)^{\omega-1} + C = 0 \\ k^{\alpha-1}(e-k)^\omega \left[ \alpha - \frac{\omega k}{e-k} \right] &= -\frac{C}{B} \end{aligned} \quad (14)$$

Aby równanie (14) miało jakiegokolwiek rozwiązanie, musi zachodzić:

$$(e - k) < 0 \text{ i } \left[ \alpha - \frac{\omega k}{e - k} \right] > 0$$

lub:

$$(e - k) > 0 \text{ i } \left[ \alpha - \frac{\omega k}{e - k} \right] < 0$$

Zgodnie z przyjętym uprzednio założeniem  $(e - k_t) > 0$  z powyższych dwóch warunków interesuje nas tylko drugi. Dzięki temu możemy stwierdzić, że aby istniało jakiegokolwiek rozwiązanie tego układu, spełnione musi być:

$$\bar{k} > \frac{\alpha e}{\alpha + \omega}$$

Powyższy zapis oznacza, że aby istniała długookresowa równowaga, poziom kapitału na jednostkę efektywnej pracy musi przekroczyć wartość  $\bar{k}$ . Zapis ten oznacza również, że poziom równowagi zależy dodatnio od środowiskowej bariery wzrostu – im większy jest poziom dostępnych zasobów środowiska, tym wyższy jest równowagowy poziom kapitału na jednostkę efektywnej pracy. Innymi słowy, im większymi zasobami środowiska dysponuje gospodarka, tym wyższy poziom PKB może osiągnąć, co wynika z wykorzystywania dostępnych zasobów. Historycznie pozwalało to gospodarkom względnie zasobniejszym w dobra naturalne rozwijać się szybciej, niż tym, które dysponowały mniejszymi zasobami środowiska. Warto jednak zauważyć, że sformułowany powyżej wniosek jest właściwy również współcześnie – większy zasób dóbr naturalnych pozwala na szybszy rozwój krajów za pomocą wykorzystania krajowych czynników produkcji (tj. do wydatnego ograniczenia importu surowców z zagranicy).

### 3. Wyniki symulacji

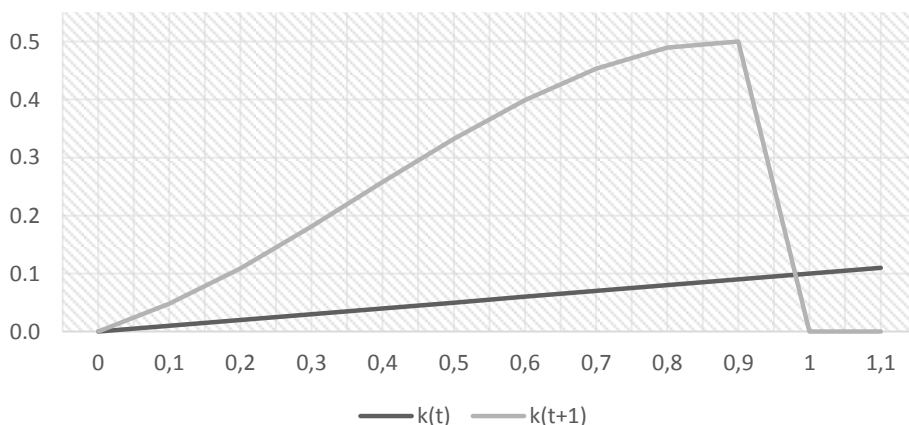
Poniżej przeprowadzamy symulację zachowania układu opisanego równaniem (13), tj.  $k_{t+1}$  jako funkcji  $k_t$ . Linia przeprowadzona pod kątem 45 stopni na każdym z wykresów jest jego przekątną, przyjmującą postać równania:

$$k_t = k_{t+1}$$

Rozważymy kilka wariantów zachowania gospodarki w zależności od zmian wybranych wielkości parametrów modelu, przy zachowaniu zasady *ceteris paribus*. Dobór parametrów jest tu podyktowany wyłącznie względami analitycznymi, tj. służy pokazaniu różnych wariantów modelu i skutków, jakie niesie to dla istnienia (lub braku) równowagi (równowag) i ich stabilności.

#### 3.1. Wariant I (podstawowy)

Przyjęliśmy następujące wartości parametrów:  $n = g = 0,01$ ,  $\alpha = 0,33$ ,  $e = 5$ ,  $\omega = 0,33$ ,  $\delta = 0,04$ ,  $s = 0,5$ . Stopy wzrostu liczby ludności, postępu technicznego, deprecjacji kapitału oraz elastyczności funkcji produkcji względem nakładów kapitału przyjęto za standardowym modelem Solowa. Stopę oszczędności, poziom środowiskowej bariery wzrostu i elastyczność funkcji produkcji względem dostępnych zasobów środowiska przyjęliśmy arbitralnie. Zachowanie gospodarki przedstawia rys. 1.



**Rys. 1.** Zależność  $k_{t+1}$  od  $k_t$  – symulacja zachowania gospodarki dla wariantu I – brak punktu równowagi

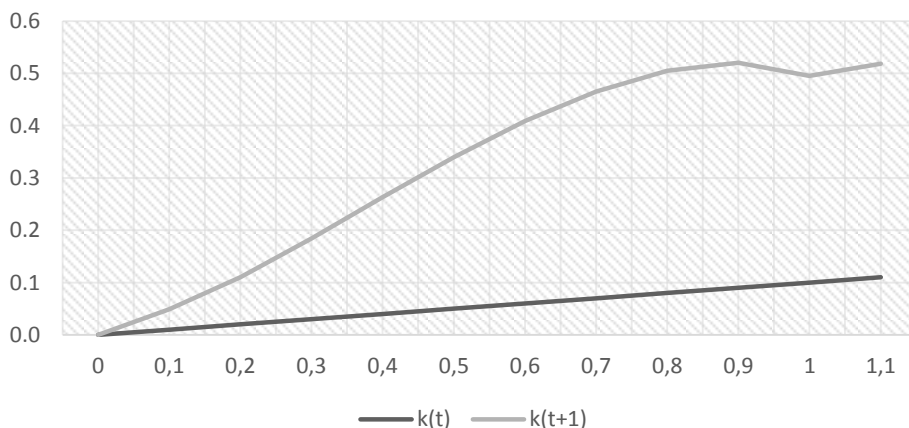
Źródło: Opracowanie własne.

Zauważmy, że dla tak przyjętych parametrów gospodarka doświadcza samopodtrzymującego się wzrostu – kapitał na jednostkę efektywnej pracy przyrasta bardzo szybko, jednak proces ten nie trwa – jak zakłada się w modelach endogenicznego wzrostu – nieustannie. Górną granicę wzrostu stanowi wielkość dostępnych zasobów naturalnych –  $e$ . Po przekroczeniu poziomu  $e = 5$  poziom kapitału na jednostkę efektywnej pracy spada do zera, a gospodarka przestaje istnieć. Zauważmy, że dla tak wybranych parametrów nie istnieje stabilna długookresowa równowaga. Nadmierna eksploatacja środowiska przy jego ograniczonej pojemności doprowadza do katastrofy gospodarczej, gdyż poziom kapitału na jednostkę efektywnej pracy po przekroczeniu  $e = 5$  spada natychmiast do zera.

Wariant ten jest bardzo ciekawy, ponieważ niezależnie od wyjściowego poziomu kapitału na jednostkę efektywnej pracy gospodarka poprzez nadmierną eksploatację środowiska nieuchronnie zmierza do zapaści – optymalny punkt długookresowej równowagi tożsamy jest z zaniechaniem produkcji. Można jednak pokusić się o nieco odmienne symulacje.

### 3.2. Wariant II – zmiana wielkości dostępnych zasobów środowiska $e$

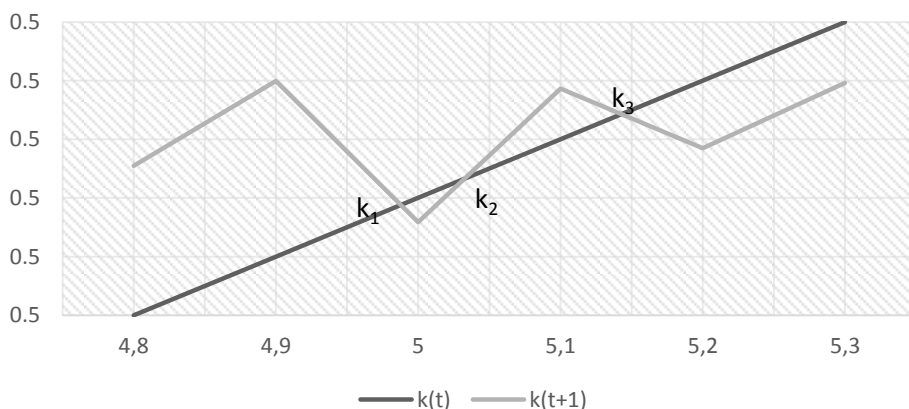
Oczywiście dla dowolnie wyższego poziomu  $e$  (osiągającego co najmniej 5,2) warunki funkcjonowania gospodarki ulegają zmianie. Nie ma jednak zagrożenia dla jej upadku, zaś model wykazuje pewną stabilność. Przedstawiamy to na rys. 2.



**Rys. 2.** Zależność  $k_{t+1}$  od  $k_t$  – symulacja zachowania gospodarki dla wariantu II – brak punktu równowagi w początkowej fazie wzrostu

Źródło: Opracowanie własne.

Przyjęliśmy ponownie następujące wartości parametrów:  $n = g = 0,01$ ,  $\alpha = 0,33$ ,  $\omega = 0,33$ ,  $\delta = 0,04$ ,  $s = 0,5$ . Zmianie uległa wartość  $e$  – zwiększyliśmy ją nieznacznie do poziomu  $e = 5,2$ . Istotę tej zmiany możemy interpretować jako pewne przełamanie bariery środowiskowej (co wynika ze zwiększenia dostępnych zasobów naturalnych) – akumulacja kapitału pozwala na dynamiczny początkowy wzrost, jednak z czasem poziom kapitału na jednostkę efektywnej pracy zaczyna oscylować wokół wartości 5,1, co pozwala na zidentyfikowanie trzech stanów równowagi (rys. 3).



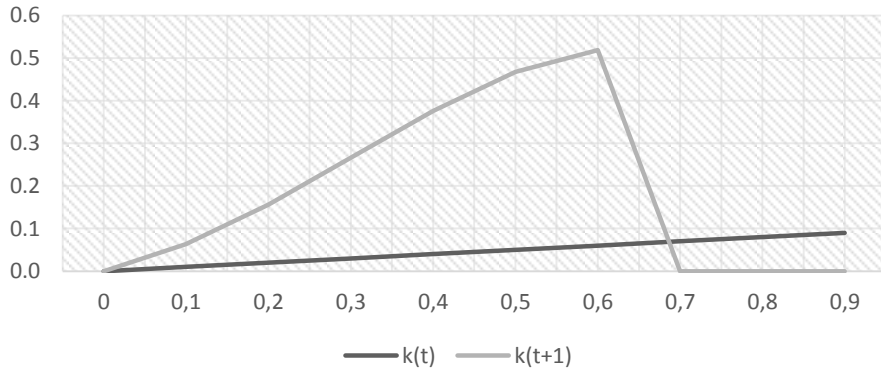
**Rys. 3.** Zależność  $k_{t+1}$  od  $k_t$  – symulacja zachowania gospodarki dla wariantu II – trzy punkty równowagi w końcowej fazie wzrostu

Źródło: Opracowanie własne.

Na rysunku 3 można zidentyfikować trzy punkty równowagi:  $k_1, k_2, k_3$ . Ich istnienie wynika z założeń dotyczących parametrów modelu, a dokładniej – ze zmiany poziomu środowiskowej bariery wzrostu. Spośród trzech wymienionych tylko  $k_2$  jest stabilnym rozwiązaniem systemu. Co ciekawe, oznacza to, że gospodarka – aby osiągnąć stabilną równowagę – nie powinna wykorzystywać w pełni zasobu dostępnych naturalnych czynników produkcji (środowiska naturalnego).

### 3.3. Wariant III – zmiana stopy oszczędności $s$

Nie operowaliśmy jeszcze poziomem stopy oszczędności. Przyjmijmy ponownie:  $n = g = 0,01$ ,  $\alpha = 0,33$ ,  $e = 5$ ,  $\omega = 0,33$ ,  $\delta = 0,04$ , zaś stopę oszczędności zwiększymy do  $s = 0,7$ . Odpowiadamy tym samym na pytanie: czy wyższa stopa oszczędności w kapitał fizyczny prowadzi do stabilnego rozwiązania?



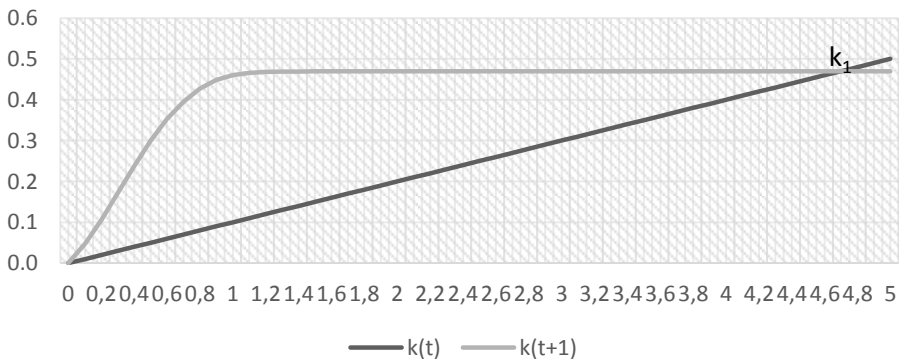
**Rys. 4.** Zależność  $k_{t+1}$  od  $k_t$  – symulacja zachowania gospodarki dla wariantu III – brak punktu równowagi

Źródło: Opracowanie własne.

Podobnie jak miało to miejsce w przypadku rys. 1 – gospodarka wskutek szybszej akumulacji kapitału stosunkowo szybciej natrafi na ograniczone rozmiary środowiska naturalnego. Pomimo tego, że dynamika wzrostu będzie szybsza, będzie się ona odbywać kosztem bardzo szybkiej eksploatacji skończonych zasobów środowiska. Wniosek dotyczący zachowania gospodarki jest w tym przypadku identyczny, jak w wariancie podstawowym – w następstwie nadmiernej eksploatacji środowiska system gospodarczy zaniknie.

### 3.4. Wariant IV – zmiana stopy deprecjacji kapitału $\delta$

Przyjmijmy ponownie:  $n = g = 0,01$ ,  $\alpha = 0,33$ ,  $e = 5$ ,  $\omega = 0,33$ ,  $s = 0,5$ , zaś stopę deprecjacji kapitału zwiększymy do  $\delta = 0,1$ .



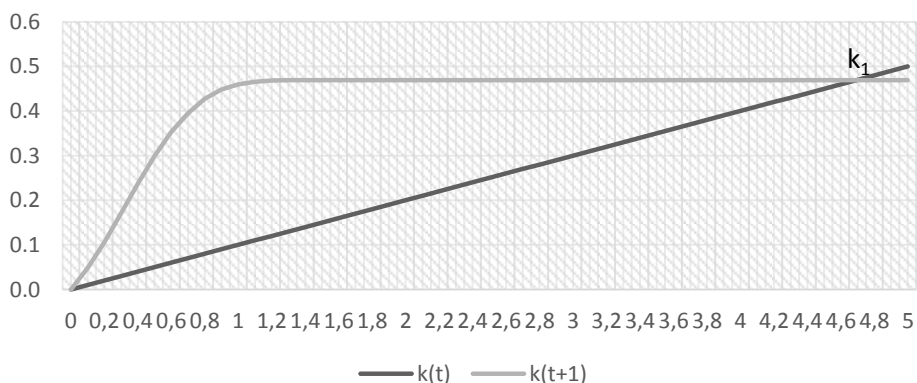
**Rys. 5.** Zależność  $k_{t+1}$  od  $k_t$  – symulacja zachowania gospodarki dla wariantu IV – jeden punkt równowagi

Źródło: Opracowanie własne.

Po wzroście stopy deprecjacji kapitału z  $\delta = 0,04$  do  $\delta = 0,1$  możemy założyć, że gospodarka wykazuje jeden punkt, który jest długookresową równowagą w tej gospodarce. Jest to równowaga stabilna, co oznacza, że gospodarka, rozpoczynając z poziomem kapitału na jednostkę efektywnej pracy poniżej poziomu  $k_1$ , będzie do niego zmierzać. Osiągając z kolei ten punkt, znajdzie się w stabilnej długookresowej równowadze i – przy braku egzogenicznych szoków – pozostanie w niej na trwałe.

### 3.5. Wariant V – zmiana stopy przyrostu naturalnego $n$ lub stopy postępu technicznego $g$

W tym wariantcie przyjmujemy, że  $g = 0,01$ ,  $\alpha = 0,33$ ,  $e = 5$ ,  $\omega = 0,33$ ,  $s = 0,5$ ,  $\delta = 0,04$ , zaś stopa wzrostu liczby ludności wzrasta z  $n = 0,01$  do  $n = 0,1$ .



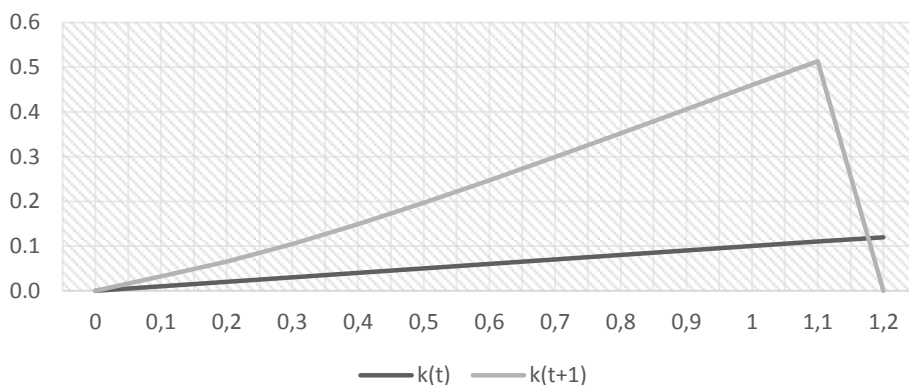
**Rys. 6.** Zależność  $k_{t+1}$  od  $k_t$  – symulacja zachowania gospodarki dla wariantu V – brak punktu równowagi

Źródło: Opracowanie własne.

Podobnie jak w przypadku zmiany stopy deprecjacji kapitału, zmiana stopy wzrostu liczby ludności (oraz nierozważany jako osobny przypadek, lecz oddziałujący w ten sam sposób wzrost stopy postępu technicznego) powoduje powstanie jednego dodatniego stanu ustalonego. Jest to stan stabilny.

### 3.6. Wariant VI – zmiana skali oddziaływania bariery środowiskowej na wzrost $\omega$

W tym wariantcie przyjmujemy, że  $n = g = 0,01$ ,  $\alpha = 0,33$ ,  $e = 5$ ,  $\omega = 0,1$ ,  $s = 0,5$ ,  $\delta = 0,04$ , zaś  $\omega$  maleje z  $\omega = 0,33$  do  $\omega = 0,01$ .



**Rys. 7.** Zależność  $k_{t+1}$  od  $k_t$  – symulacja zachowania gospodarki dla wariantu VI – brak punktu równowagi

Źródło: Opracowanie własne.

Interesujący dla nas jest parametr  $\omega$ , którym określamy miarę wpływu oddziaływania środowiskowej bariery wzrostu na wielkość produktu. Okazuje się, że – mimo wstępnych założeń, jakoby zmniejszanie parametru miało prowadzić do klasycznej funkcji produkcji typu Cobba–Douglasa, a zatem standardowego modelu Solowa ze stabilnym stanem ustalonym i trajekcją systemu zmierzającą do niego – zmniejszanie parametru (przy pozostałych parametrach niezmiennych) prowadzi do sytuacji, w której gospodarka nieuchronnie musi upaść. Widać zatem wyraźnie, że niższa wartość  $\omega$  powoduje rozpad systemu gospodarczego.

Dlaczego jednak parametr  $\omega$  miałby maleć? Wynika to naszym zdaniem z wystąpienia co najmniej jednego z następujących czynników:

- a) braku świadomości oddziaływania zmian w środowisku na gospodarkę w długim okresie – co tłumaczyłoby szybką i rabunkową gospodarkę surowcami naturalnymi w krótkim okresie;
- b) pozornie niskiej wagi przykładanej do stanu eksploatacji zasobów naturalnych w nadziei na przełamanie środowiskowej bariery wzrostu za pomocą szybszego postępu technicznego.

W ten sposób niska wartość parametru  $\omega$  zbliża nasz model do klasycznego modelu Solowa, za pomocą którego pierwotnie tłumaczono dynamiczny rozwój gospodarki kapitalistycznej. Wyrugowanie z modelu Solowa negatywnego wpływ środowiskowej bariery wzrostu było znacznym uproszczeniem, które w latach 50. XX w. zainicjowało gwałtowny rozwój teorii wzrostu. Wciąż jednak istnieją na świecie kraje, dla których zasoby środowiska naturalnego (ich ograniczoność i problem racjonalnego dysponowania) stanowią istotną barierę

rozwojową. Z tego względu wydaje się, że prezentowany przez nas model stanowi dobre narzędzie wyjaśniające konsekwencje ludzkiego gospodarowania wykorzystującego zasoby środowiska naturalnego, szczególnie w krajach gospodarczo zapóźnionych, próbujących wejść na ścieżkę trwałego wzrostu.

## Podsumowanie

Jak widzimy, podatność układu na zmiany parametrów jest wysoka, co odzwierciedla złożoność procesu wzrostu oraz silną zależność od środowiska naturalnego, którego miarę stanowi parametr  $e$ . Możliwość osiągnięcia przez gospodarkę wysokiego poziomu kapitału na jednostkę efektywnej pracy może skutkować upadkiem gospodarki<sup>14</sup>. Historycznie rzecz biorąc, wydaje się, że dobrą ilustracją takiej sytuacji może być przykład gospodarowania na Wyspie Wielkanocnej<sup>15</sup>.

Podsumowując, możemy stwierdzić, że przedstawiony model wskazuje na kilka istotnych wyróżników procesu wzrostu:

1. Wkomponowanie w funkcję produkcji warunku w postaci ograniczonych zasobów środowiska naturalnego człowieka nakłada na stabilność modelu istotne obostrzenia – nadmierna degradacja środowiska prowadzi do upadku

---

<sup>14</sup> Nie musi tak być zawsze – wystarczy, jeśli krajową środowiskową barierę wzrostu przełamię się za pomocą importu zasobów z zagranicy lub przez podbój nowych ziem.

<sup>15</sup> Obecnie uważa się, że przyczynami upadku cywilizacji na Wyspie w XVI w. były: 1) nadmierna deforestacja, 2) klęska głodu, za którą odpowiadały szczury oraz 3) walki międzyplemienne. Poświęćmy chwilę uwagi dwóm pierwszym przyczynom. Pierwsza z nich jest niezwykle istotna. Na Wyspie w czasie jej zaludniania występował szczególnie endemiczny rodzaj palmy (*Jubea Chilensis*), który prawdopodobnie nie występował ówczesnie nigdzie indziej na świecie poza tym niewielkim terytorium. Oznacza to, że jako jedyny gatunek palm mógł on rosnąć w chłodnym klimacie Wyspy. Na nieszczęście mieszkańców okres wzrostu tej specyficznej palmy wynosił 40-60 lat, podczas gdy na pozostałych wyspach Polinezji i Melanezji (gdzie powszechnie występowały normalne palmy kokosowe lub palmy fidżyjskie – *Pritchardia*), średnia długość okresu wzrostu palmy wynosiła 7-10 lat. Liczba ludności wzrosła z ok. 40 w ok. 300 r. n.e. do 10 tys. ok. 1300 r. Szybka wycinka tych powoli rosnących drzew doprowadziła do skrajnej degradacji środowiska (nadmierna wycinka nie szła w parze z odnawianiem tego zasobu, ponieważ potrzeba było czasu, aby palmy urosły do pożądanego rozmiarów i nadawały się do obróbki), która spotęgowana była erozją gleby, ponieważ drzewa te służyły jako naturalny system retencyjny. Drugi wspomniany czynnik to szczury, które zjadały zapasy ziarna Polinezyjczyków, przez co skutecznie ograniczały (potencjalne) plony. To z kolei przy szybkim wzroście ludności doprowadziło do klęski głodu i wzrostu śmiertelności. Klęska głodu miała jednak nie tylko „zbożowy” wymiar – karczowanie palm i brak ich rekultywacji doprowadziły do ograniczenia dostępności podstawowego surowca, jakim było drewno (służące do produkcji łodzi [połowy ryb]), jako budulec domostw, słynnych posągów (do których postawienia wykorzystywano kamień transportowany na drewnianych płozach) czy podstawowych narzędzi rolnych [Brander, Scott Taylor, 1998].



- gospodarki (stabilny punkt w postaci zerowej produkcji), co może znajdować potwierdzenie choćby w odniesieniu do historycznego przypadku cywilizacji Wyspy Wielkanocnej.
2. Stabilność modelu wykazuje silną podatność na zmiany jego parametrów, co z kolei prowadzi do wniosku, że proces wzrostu podlega silnym cyklicznym wahaniom, a jego stabilność (wokół długookresowego trendu) zależy m.in. od stopnia wykorzystania zasobów naturalnych.
  3. Zmienność parametrów nie jest jednak wyłączną determinantą (nie)stabilności układu. Nie bez znaczenia dla długookresowej (nie)stabilności systemu są warunki początkowe gospodarki. Może bowiem okazać się, że gospodarka, rozpoczynając z punktu powyżej poziomu nasycenia wyznaczonego przez zasoby środowiska, będzie zbiegać do długookresowego poziomu produktu równego zero, z czego wnioskujemy, że nie wszystkie przedsięwzięcia w tej gospodarce są równie atrakcyjne z punktu widzenia długookresowego wzrostu – szansę na rozwój mają gospodarki charakteryzowane przez określony początkowy poziom kapitału na jednostkę efektywnej pracy. Oznacza to, że istnieje zależność ścieżek wzrostu od parametrów strukturalnych modelu i warunków początkowych gospodarki.
  4. Stan gospodarki dzisiaj zależy zatem od jego stanów w przeszłości, choć historyczne uwarunkowania mające wpływ na stany gospodarki w przeszłości dziś mogą już nie funkcjonować. Zależność ta nosi miano *path dependence* [Page, 2006]. Oznacza to z kolei, że rozumowanie stojące za przedstawionym modelem stoi w sprzeczności z neoklasycznym ujęciem problemów wzrostu, w którym mówi się o stanach lub ścieżkach równowagi niezależnych od historii systemu.
  5. Można przyjąć, że na (nie)stabilność procesów wzrostu (makroekonomia) wpływ mają dwie siły napędowe, których źródeł należy dopatrywać się w działalności podmiotów gospodarczych (mikroekonomia). Pierwsza siła działa w krótkim okresie i prowadzi rynki (produktów i czynników wytwórczych) do stanu równowagi, które są stabilne wyłącznie w krótkim okresie. Druga siła działa w długim okresie i powoduje ruch systemów w kierunku krawędzi chaosu (stanów wyższej złożoności) – przechodzenie pomiędzy stanami równowagi połączone ze zmianami jakościowymi zachodzącymi w systemach. Z punktu widzenia długiego okresu krótkookresowe stany równowagi są zatem niestabilne [Jakimowicz, 2010].

## Literatura

- Brander J.A., Scott Taylor M. (1998), *The Simple Economics of Easter Island: A Ricardo–Malthus Model of Renewable Resource Use*, “The American Economic Review”, Vol. 88, No. 1, s. 119-138.
- Chambers D., Guo J.T. (2009), *Natural Resources and Economic Growth: Some Theory and Evidence*, “Annals of Economics and Finance”, Vol. 10(2), s. 367-389.
- Day R.H. (1982), *Irregular Growth Cycles*, “The American Economic Review”, Vol. 72, No. 3, s. 406-414.
- Garbicz M. (2005), *Niedorozwój a korzyści skali* [w:] W. Pacho (red.), *Szkice ze współczesnej teorii ekonomii*, Szkoła Główna Handlowa, Warszawa, s. 11-32.
- Gylfason T. (2001), *Natural Resources and Economic Growth: What is the Connection?*, CESifo Working Paper No. 530, August.
- Havranek T., Horvath R., Zeynalov A. (2016), *Natural Resources and Economic Growth: A Meta-Analysis*, IES Working Paper No. 03/2016, IES FSV, Charles University.
- Jakimowicz A. (2010), *Źródła niestabilności struktur rynkowych*, PWN, Warszawa.
- Janssen M.A., Scheffer M. (2004), *Overexploitation of Renewable Resources by Ancient Societies and the Role of Sunk-Cost Effects*, “Ecology and Society”, Vol. 9(1), No. 6, <https://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss1/art6/> (dostęp: 24.10.2019).
- Malthus T.R. (1798), *An Essay on the Principle of Population*, Penguin, New York.
- Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., Behrens W.W. (1972), *Limits to Growth*, Universe Books, New York.
- Nordhaus W.D. (1992), *Lethal Model 2: The Limits to Growth Revisited*, “Brookings Papers on Economic Activity”, Vol. 2, s. 1-59.
- Page S.E. (2006), *Path Dependence*, “Quarterly Journal of Political Science”, Vol. 1, No. 1, s. 87-115.
- Sachs J.D., Warner A.M. (1995), *Natural Resource Abundance and Economic Growth*, NBER Working Paper No. 5398, Cambridge.
- Sørensen P.B., Whitta-Jacobsen H.J. (2010), *Introducing Advanced Macroeconomics. Growth and Business Cycles*, 2nd ed., McGraw-Hill, Edinburgh, Berkshire.

### MACROECONOMIC EQUILIBRIUM IN A SIMPLE GROWTH MODEL WITH EXPLOITATION OF NATURAL RESOURCES

**Summary:** The aim of the article is to propose a simple theoretical model of economic growth, which will reflect the effect of scarce natural resources on the existence and stability of the long-run equilibrium. We present several scenarios based on changing

structural parameters. We show that overexploitation of natural resources may (in extreme case) lead even to a collapse of the economy.

**Keywords:** overexploitation of natural resources, equilibrium, economic growth.